

ЛІТЕРАТУРА:

1. Борщев В.Я. «Температура» зернистой среды и физические эффекты взаимодействия частиц при быстром сдвиговом течении зернистых материалов / В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2007. – Т. 50, вып. 8. – С. 78-82.
2. Науменко Ю.В. Вплив розподілу зон та обертності руху зернистого завантаження на робочі процеси барабанних машин / Ю.В. Науменко, В.М. Ярмолюк // Вісн. НУВГП: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 2 (70). Техн. науки. – С. 133-142.
3. Науменко Ю.В. Вплив псевдотемператури зсувного шару зернистого завантаження на робочі процеси барабанних машин / Ю.В. Науменко, О.В. Манелюк // Вісн. НУВГП: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 2 (70). Техн. науки. – С. 51-59.
4. Исламов М.Ш. Печи химической промышленности / М.Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1975. – 432 с.
5. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 430 с.
6. ГОСТ 27120-86. Печи химических производств с вращающимися барабанами общего назначения. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 17 с.
7. ГОСТ 11875-86. Аппараты теплообменные с вращающимися барабанами общего назначения. Холодильники. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.
8. ГОСТ 27340-86. Аппараты сушильные с вращающимися барабанами. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 2 с.
9. Науменко Ю.В. Теоретичні основи робочих процесів машин барабанного типу: Монографія / Ю.В. Науменко, К.Ю. Дейнека. – Рівне: НУВГП, 2014. – 531 с.

УДК 621.926.5:539.215:531.36

Дейнека К.Ю., Науменко Ю.В., Сич А.Л., Бабич Я.О.

*Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне)*

**ВПЛИВ СТРУКТУРИ ВНУТРІШНЬОКАМЕРНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ НА АВТОКОЛИВНІ ПРОЦЕСИ ПОДРІБНЕННЯ В БАРАБАННИХ МЛИНАХ**

**Процеси багатотоннажного** тонкого подрібнення в барабанних млинах характеризуються високою питомою енергоємністю та порівняно низькою енергетичною ефективністю. Тому доволі перспективним для практичного застосування видається удосконалення таких процесів на основі застосування динамічного ефекту самозбудження автоколивань внутрішньокамерного завантаження барабанного млина, що активізують циркуляцію молольних тіл. Зазначене може бути реалізовано на базі традиційних конструктивних рішень млинів із поверхнею камери без додаткових виступаючих елементів, що зазнають прискореного абразивного зношування з боку робочого середовища.

Нестійкі режими роботи барабанних млинів досліджувались низкою авторів. Було розроблено моделі вимушених коливань у приводі завантаженого барабана [1], фрикційних коливань при проковзуванні всього завантаження відносно поверхні камери [2], фрикційних коливань при проковзуванні

всього завантаження відносно поверхні камери та пружних коливаннях приводу [3], фрикційних коливань при проковзуванні центральної малорухливої частини відносно решти завантаження [4] та фрикційних коливань внутрішніх шарів завантаження [5]. Однак застосування таких спрощених моделей фрикційних крутильних коливань зумовлює розбіжність одержуваних розрахункових результатів із експериментальними даними, оскільки проковзування завантаження відносно поверхні камери практично не виникає.

Внаслідок складності режимів руху внутрішньомлинного завантаження, отримані останнім часом на основі аналітичних та чисельних моделей результати розрахунків режимів його руху [6-9] лише за якісними характеристиками та зовнішніми ознаками наближаються до реальних проявів автоколивань, а за кількісними показниками суттєво розбігаються з ними.

В [10] було експериментально встановлено технологічний ефект різкого підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення в барабанному млині за умови самозбудження автоколивань завантаження в обертовій камері. Проте зареєстрована якісна закономірність суттєвого зростання ефективності автоколивного процесу помелу, зі зниженням ступеня заповнення камери та вмісту у ньому подрібнюваного матеріалу, передбачає подальше кількісне уточнення чинників та меж прояву такого ефекту.

За мету досліджень було прийнято уточнення інтенсивності та характеру прояву технологічного ефекту автоколивного процесу подрібнення в барабанному млині, зокрема впливу на такий ефект структури внутрішньокамерного завантаження.

Дослідження проводились на дослідному зразку лабораторного барабанного млина за апробованою методикою [10].

Продуктивність помелу цементного клінкеру оцінювалась за значеннями просіву через контрольне сито № 008. Енергетична ефективність процесу оцінювалась за питомою витратою енергії при отриманні цього просіву.

Досліджувалась ефективність запропо-

нованого робочого процесу подрібнення в барабанних млинах із автоколивним рухом завантаження камери порівняно із традиційним робочим процесом без його коливань.

Порівняно із попередніми дослідженнями, для уточнення прояву технологічного ефекту, було звужено діапазони зміни ступеня заповнення камери завантаженням та вмісту у ньому частинок подрібнюваного матеріалу. Заповнення камери завантаженням  $k$  становила 0,25, 0,3 та 0,35, а заповнення завантаженням матеріалом  $k_{мз}$  – 0,05, 0,125 та 0,2.

Тривалість процесу подрібнення становила 30 хв.

Результати досліджень наведено у табл. 1, де  $\psi_{\omega}$  – відносна кутова швидкість барабана;  $k$  – ступінь заповнення камери завантаженням;  $k_{м}$  – ступінь заповнення завантаження частинками подрібнюваного матеріалу;  $Z$  – залишок на ситі 0,08 мм (%);  $P$  – відносна продуктивність помелу (%);  $P_{м}/P_{т}$  – відношення продуктивностей модернізованого та традиційного режимів роботи барабанного млина;  $E_{м}/E_{т}$  – відношення питомих енергоємностей модернізованого та традиційного режимів роботи.

Графічні результати зображено на рис. 1-8.

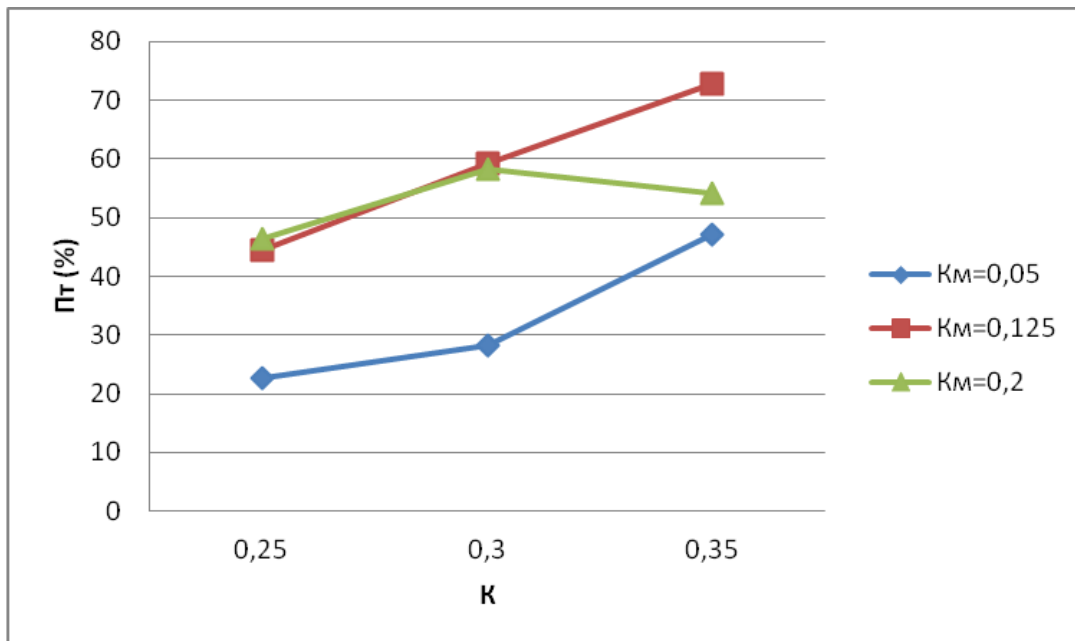


Рис. 1. Залежності продуктивності традиційного режиму роботи  $P_t$  від ступеня заповнення камери завантаженням  $k$  при значенні ступеня заповнення завантаженням подрібнюваним матеріалом  $k_{м}=0,05, 0,125$  та  $0,2$ .

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень

| № з/п | Режим роботи   | $\psi_{\omega}$ | $\kappa$ | $\kappa_m$ | $З$ (%) | $П$ (%) | $\frac{П_M}{П_T}$ | $\frac{E_M}{E_T}$ |
|-------|----------------|-----------------|----------|------------|---------|---------|-------------------|-------------------|
| 1     | Традиційний    | 0,75            | 0,25     | 0,05       | 77,3    | 22,7    | 2,89              | 0,346             |
| 2     | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,25     | 0,05       | 34,4    | 65,6    |                   |                   |
| 3     | Традиційний    | 0,75            | 0,25     | 0,125      | 55,5    | 44,5    | 1,48              | 0,676             |
| 4     | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,25     | 0,125      | 34,2    | 65,8    |                   |                   |
| 5     | Традиційний    | 0,75            | 0,25     | 0,2        | 53,5    | 46,5    | 1,15              | 0,868             |
| 6     | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,25     | 0,2        | 46,4    | 53,6    |                   |                   |
| 7     | Традиційний    | 0,75            | 0,3      | 0,05       | 71,7    | 28,3    | 1,9               | 0,527             |
| 8     | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,3      | 0,05       | 46,3    | 53,7    |                   |                   |
| 9     | Традиційний    | 0,75            | 0,3      | 0,125      | 40,8    | 59,2    | 1,05              | 0,95              |
| 10    | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,3      | 0,125      | 37,7    | 62,3    |                   |                   |
| 11    | Традиційний    | 0,75            | 0,3      | 0,2        | 41,9    | 58,1    | 1,04              | 0,959             |
| 12    | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,3      | 0,2        | 39,4    | 60,6    |                   |                   |
| 13    | Традиційний    | 0,75            | 0,35     | 0,05       | 52,9    | 47,1    | 1,62              | 0,617             |
| 14    | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,35     | 0,05       | 23,8    | 76,3    |                   |                   |
| 15    | Традиційний    | 0,75            | 0,35     | 0,125      | 27,1    | 72,9    | 1,003             | 0,997             |
| 16    | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,35     | 0,125      | 26,9    | 73,1    |                   |                   |
| 17    | Традиційний    | 0,75            | 0,35     | 0,2        | 45,9    | 54,1    | 0,937             | 1,07              |
| 18    | Модернізований | 0,85-1,15       | 0,35     | 0,2        | 49,3    | 50,7    |                   |                   |

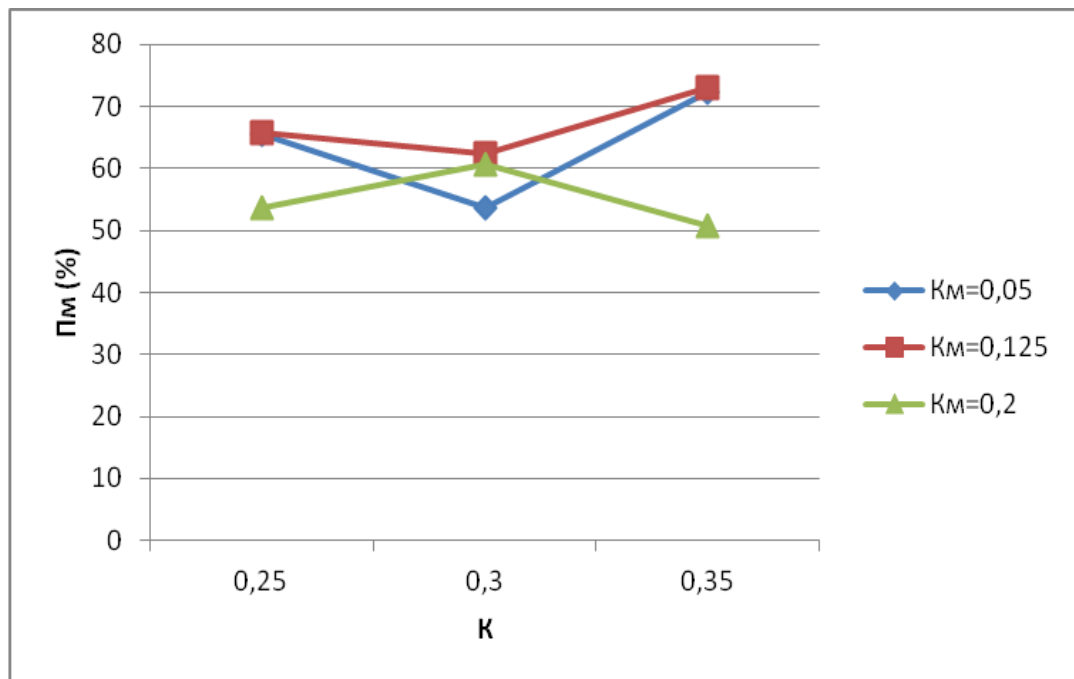


Рис. 2. Залежності продуктивності модернізованого режиму роботи  $П_M$  від  $\kappa$  при  $\kappa_m=0,05$ ,  $0,125$  та  $0,2$ .

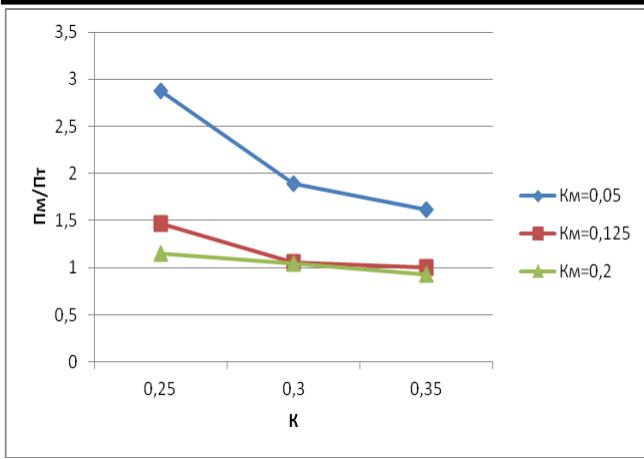


Рис. 3. Залежності відношення продуктивностей модернізованого та традиційного режимів роботи  $P_M/P_T$  від  $k$  при  $\kappa_M=0,05, 0,125$  та

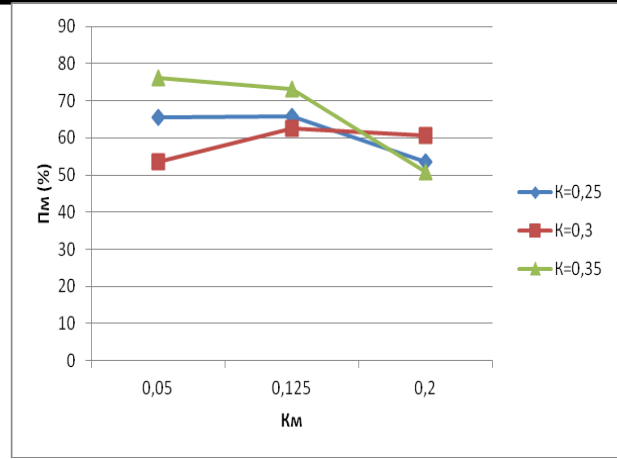
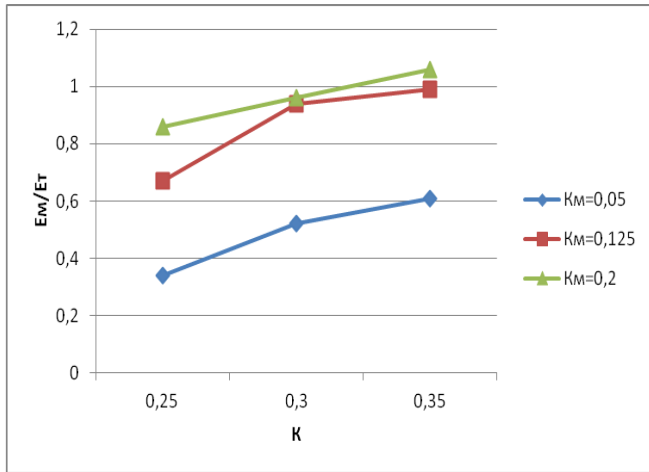


Рис. 6. Залежності  $P_M$  від  $\kappa_M$  при  $\kappa=0,25, 0,3$  та  $0,35$ .



0,2.

Рис. 4. Залежності відношення питомих витрат енергії модернізованого та традиційного режимів роботи  $E_M/E_T$  від  $k$  при  $\kappa_M=0,05,$

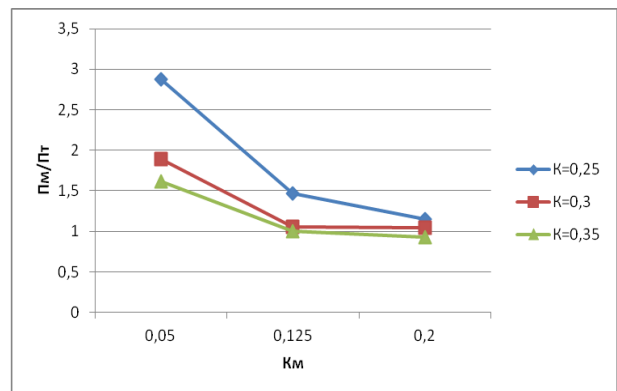


Рис. 7. Залежності  $P_M/P_T$  від  $\kappa_M$  при  $\kappa=0,25, 0,3$  та  $0,35$ .

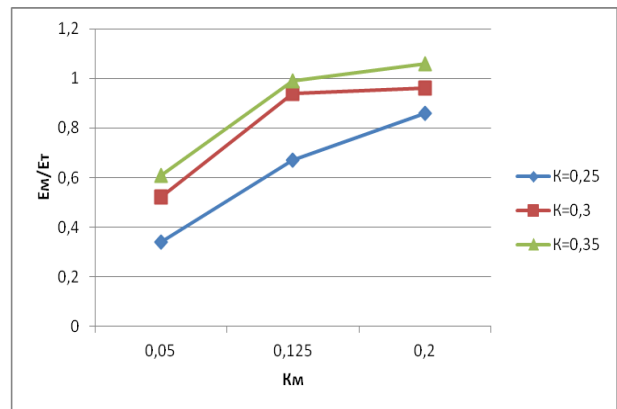
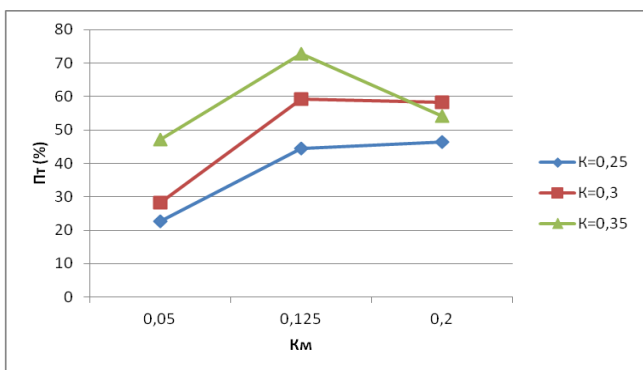


Рис. 8. Залежності  $E_M/E_T$  від  $\kappa_M$  при  $\kappa=0,25, 0,3$  та  $0,35$ .



0,125 та 0,2.

Рис. 5. Залежності  $P_T$  від  $\kappa_M$  при  $\kappa=0,25, 0,3$  та  $0,35$ .

Аналіз отриманих залежностей засвідчив таке:

Із рис. 1. випливає, що відносна продуктивність традиційного режиму роботи млина  $P_T$  змінюється у межах від 22,7 % до 72,9 %. Зі збільшенням ступеня заповнення камери завантаженням  $k$  продуктивність  $P_T$  зростає.

Рис. 2. показує, що відносна продуктивність модернізованого режиму роботи млина  $P_M$  не суттєво залежить від ступеня заповнення камери  $\kappa$  і змінюється у межах від 50,7 % до 76,3 %. Із рис. 3. впливає, що відношення продуктивності модернізованого режиму роботи до продуктивності традиційного режиму  $P_M/P_T$  зростає, зі зменшенням ступеня заповнення камери  $\kappa$ , у діапазоні від 0,937 до 2,89.

Рис. 4. показує, що відношення питомої енергоємності модернізованого режиму роботи до енергоємності традиційного режиму  $E_M/E_T$  зменшується, зі зменшенням ступеня заповнення камери  $\kappa$ , у діапазоні від 1,07 до 0,346.

Із рис. 5. впливає, що відносна продуктивність традиційного режиму роботи млина  $P_T$ , зі збільшенням ступеня заповнення завантаження подрібнюваним матеріалом  $\kappa_m$ , переважно зростає. Рис. 6. показує, що відносна продуктивність модернізованого режиму роботи млина  $P_M$ , зі збільшенням вмісту матеріалу в завантаженні  $\kappa_m$ , переважно спадає.

Із рис. 7. впливає, що відношення продуктивностей  $P_M/P_T$  зростає зі зменшенням вмісту матеріалу  $\kappa_m$ . Рис. 8. показує, що відношення питомих енергоємностей  $E_M/E_T$  спадає зі зменшенням вмісту матеріалу  $\kappa_m$ .

Виявилось, що звуження діапазонів зміни ступеня заповнення камери завантаження та вмісту у ньому частинок подрібнюваного матеріалу, а також підвищення точності вимірювань, порівняно із попередніми дослідженнями [10], експериментально засвідчило подальше підвищення продуктивності процесу зі 140 до 189 % та зниження питомої витрати енергії з 58 до 65 %. При цьому, зі зменшенням заповнення камери завантаженням та зменшенням вмісту матеріалу у завантаженні, ефективність нового процесу за продуктивністю та енергоємністю також послідовно зростала.

**Висновки:** 1. Застосоване звуження діапазонів зміни ступеня заповнення камери завантаженням та вмісту у ньому частинок подрібнюваного матеріалу експериментально підтвердило стійкий прояв технологічного ефекту різкого підвищення продуктивності та зниження енергоємності автоколивного процесу подрібнення в барабанному млині.

2. Використання автоколивного процесу

подрібнення, порівняно із традиційним режимом роботи барабанного млина, дозволяє підвищити продуктивність помелу, гранично аж на 189 %, та знизити його питому енергоємність, гранично аж на 65 %.

3. Ефективність нового процесу за продуктивністю та енергоємністю послідовно зростає зі зменшенням заповнення камери завантаженням та вмісту у ньому матеріалу.

4. Подальшого з'ясування потребують параметричні умови максимальної реалізації технологічного ефекту автоколивного процесу подрібнення в барабанних млинах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Виноградов Б.В. Динаміка барабанних млинів: Монографія / Б.В. Виноградов. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 127 с.
2. Сланевский А.В. Челночное движение сыпучей среды во вращающихся печах и мельницах / А.В. Сланевский, И.И. Лобунина, Л.Г. Берштейн, А.А. Сланевский // Цемент. – 1992. – № 4. – С. 55-61.
3. Крюков Д.К. Усовершенствование размольного оборудования горнообогатительных предприятий / Д.К. Крюков. – М.: Недра, 1966. – 174 с.
4. Марюта А.Н. Управление фрикционными колебаниями нагрузки барабанных мельниц с целью интенсификации измельчения трением / А.Н. Марюта // Пробл. трения и изнашивания. – 1988. – Вып. 34. – С. 18-28.
5. Новицкий И.В. Автоматическая оптимизация процессов самоизмельчения руд в барабанных мельницах / И.В. Новицкий. – Днепропетровск: Системные технологии, 2000. – 195 с.
6. Воробьев Н.Д. Геометрия и кинематика мелющей загрузки в барабанных мельницах / Н.Д. Воробьев, М.Ю. Ельцов, В.С. Богданов, К.А. Юдин // Цемент. – 1990. – № 12. – С. 4-7.
7. Poschel T. Complex flow of granular material in a rotating cylinder / T. Poschel, V. Buchholtz // Chalos, Solition and Fractals. – 1995. – V. 5. – P. 1901-1912.
8. Fried E. Wave patterns in a thin layer of sand within a rotating horizontal cylinder / E. Fried, A.Q. Shen, S.T. Thoroddsen // Physics of Fluids. – 1998. – V. 10, №1. – P. 10-12.
9. Shen A.Q. Granular finger formation in a rotating cylinder / A.Q. Shen // Proc. R. Soc. Lond. A. – 2003. – V. 459. – P. 891-909.
10. Дейнека К.Ю. Эффективность автоколивных процессов подрібнення в барабанних млинах / К.Ю. Дейнека, Ю.В. Науменко, С.О. Пухкий // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА. – 2016. – № 1(83). – С. 219-224.