

Дейнека К. Ю., магістр, Науменко Ю. В., д.т.н., доцент, Скрипник О. Г., к.т.н., доцент, Рачок Т. О., магістрант МЕФ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ САМОЗБУДЖЕННЯ ПУЛЬСАЦІЙ ВНУТРІШНЬОКАМЕРНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ БАРАБАННОГО МЛИНА

Запропоновано нові робочі процеси барабанних млинів при виникненні коливного руху внутрішньокамерного завантаження. Розглянуто режими роботи млинів зі самозбудженням пульсацій завантаження. З'ясовано вплив структури завантаження на продуктивність та енергетичну ефективність процесу помелу.

Ключові слова: барабанні млини, завантаження, пульсації.

Предложены новые рабочие процессы барабанных мельниц при возникновении колебательного движения внутрикамерной загрузки. Рассмотрены режимы работы мельниц с самовозбуждением пульсаций загрузки. Выяснено влияние структуры загрузки на производительность и энергетическую эффективность процесса.

Ключевые слова: барабанные мельницы, загрузка, пульсации.

The new ball-tube mills operating process, when intrachamber filling fluctuation, were developed. The pulsing filling flow self-excitation mills operating conditions are considered. The effect of the filling structure variation on a ball-tube milling grinding capacity and energy efficiency is established.

Keywords: ball-tube mills, filling, pulsations.

Відносно низька енергетична ефективність робочого процесу барабанних млинів спричинена обмеженістю циркуляції молоткового завантаження.

Було показано, що реальним усталеним режимом руху завантаження є трифазний [1, 2]. Було також одержано стійкості обертання барабанного млина [3] та зсувного потоку завантаження камери обертового барабана [4].

Однак явище підвищення ефективності подрібнення за рахунок зміни режимів руху завантаження є ще недостатньо вивченим, зокрема відсутність інформації щодо питомої поверхні продукту подрібнення [5] спричинює суттєве обмеження точності оцінювання ефективності процесу, а рекомендації щодо вибору раціональних параметрів барабанних млинів – неоднозначними.

Метою досліджень було визначення впливу ступеня заповнення камери та вмісту матеріалу у завантаженні на зростання продуктивності та зниження енергоємності процесу при самозбудженні пульсацій завантаження.

Було використано барабан із камерою без виступів радіусом $R=106$ мм та

довжиною 100 мм. Як молольні тіла використовувались сталі кулі діаметром 5,5 мм. Як подрібнюваний матеріал – цементний клінкер.

Продуктивність помелу оцінювалась за значеннями просіву через контрольне сито № 008. Продуктивність у відносних одиницях, відсотках, визначалась за виразом $П=1-3$ (частка одиниці), де 3 – залишок на ситі № 008 (частка одиниці). Енергетична ефективність процесу оцінювалась за питомою витратою енергії при отриманні цього просіву $E=N/П$, де N – потужність приводу обертання завантаженого барабана. Вважалося, що при $0,75 < \psi_{\omega} < 1,15$ потужність приводу практично не змінювалась.

Чисельне значення зміни продуктивності різних режимів роботи млина оцінювалось співвідношенням $П_M/П_T$, де $П_M$ та $П_T$ – продуктивності помелу для модернізованого та традиційного режимів. Зміна питомої витрати енергії оцінювалась співвідношенням $E_M/E_T=(N_M/П_M)/(N_T/П_T)$, де E_M та E_T – питомі витрати енергії для модернізованого та традиційного режимів, N_M та N_T – потужність приводу для модернізованого та традиційного режимів. Оскільки вважалося, що $N_M \approx N_T$, було прийнято $E_M/E_T \approx П_T/П_M$.

Визначення питомої поверхні продукту подрібнення проводилось шляхом вимірювання опору, який чинить шар досліджуваного матеріалу повітрю, що проходить через цей шар. Питома поверхня визначалась за допомогою повітряноміру типу ПСХ-2 у відповідності з [6-8].

Досліджувалась ефективність запропонованого процесу подрібнення порівняно із традиційним. Досліди виконувались попарно для традиційного та запропонованого режимів роботи млинів. Для зручності порівняння результатів змінювалось значення відносної швидкості обертання $\psi_{\omega} = \omega/\omega_{кр}$, де ω – кутова швидкість, $\omega_{кр} = \sqrt{g/R}$ – критична кутова швидкість, g – гравітаційне прискорення. Для традиційного режиму приймалося $\psi_{\omega}=0,75$.

Тривалість процесу подрібнення становила 30 хв.

Експериментальні дослідження проводились у вигляді двох серій.

Відомо, що найбільша тонина помелу отримується при мінімальному вмісті частинок подрібнюваного матеріалу у внутрішньокамерному завантаженні. Тому під час першої серії експериментів визначався вплив, на ефективність процесу подрібнення, ступеня заповнення камери завантаженням при мінімальному вмісті матеріалу, а під час другої серії – вмісту матеріалу у завантаженні при раціональному ступені заповнення камери.

Для першої серії досліджень ступінь заповнення камери завантаженням становила $\kappa=0,25, 0,3, 0,35, 0,4$ та $0,45$. Ступінь заповнення внутрішньокамерного завантаження частинками подрібнюваного матеріалу $\kappa_{мз}$ була мінімальною і становила $0,05$, що відповідало ступеню заповнення цими частинками проміжків між молольними тілами $\kappa_{мт}$ на $0,125$.

Отримані результати досліджень традиційних та запропонованих модернізованих робочих процесів помелу, при варіації ступеня заповнення камери

завантаженням, за умови мінімального заповнення завантаження подрібнюваним матеріалом зведено у табл. 1 та зображено на рис. 1-5.

Таблиця 1

Характеристики барабаних млинів із пульсаційним рухом завантаження, в залежності від ступеня заповнення камери, при мінімальному ступені заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом ($\kappa_{мз}=0,05$ та $\kappa_{мл}=0,125$)

№ з/п	Тип режиму	ψ_{ω}	κ	$З$	$П$	$\frac{P_M}{P_T}$	$\frac{S}{(cm^2/z)}$	$\frac{S_M}{S_T}$	$\frac{E_M}{E_T}$
1	традиційний	0,75	0,25	0,844	0,156	2,4	319	7,70	0,41
2	модернізований	0,85-1,15	0,25	0,626	0,374		2459		
3	традиційний	0,75	0,3	0,556	0,444	1,23	2833	1,06	0,81
4	модернізований	0,85-1,15	0,3	0,455	0,545		2998		
5	традиційний	0,75	0,35	0,547	0,453	1,48	2718	1,3	0,68
6	модернізований	0,85-1,15	0,35	0,329	0,671		3534		
7	традиційний	0,75	0,4	0,482	0,518	1,24	2896	1,1	0,80
8	модернізований	0,85-1,15	0,4	0,357	0,643		3191		
9	традиційний	0,75	0,45	0,501	0,499	1,47	2971	1,25	0,68
10	модернізований	0,85-1,15	0,45	0,267	0,733		3732		

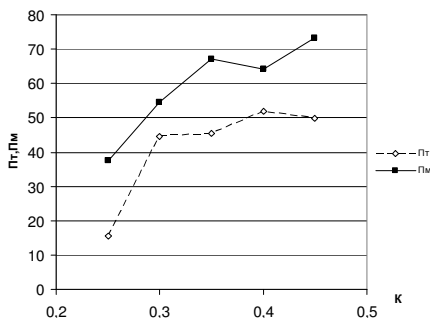


Рис. 1. Залежності продуктивностей P_T та P_M (%) від ступеня заповнення камери κ при мінімальному заповнення завантаження подрібнюваним матеріалом

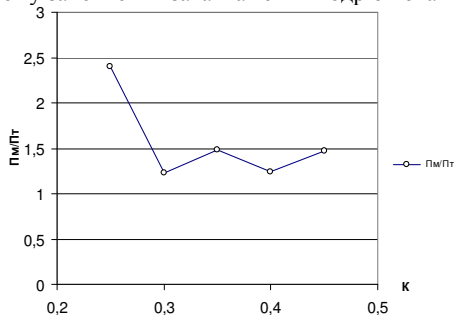


Рис. 2. Залежність відношення продуктивностей P_M/P_T від ступеня заповнення камери κ при мінімальному заповнення завантаження подрібнюваним матеріалом

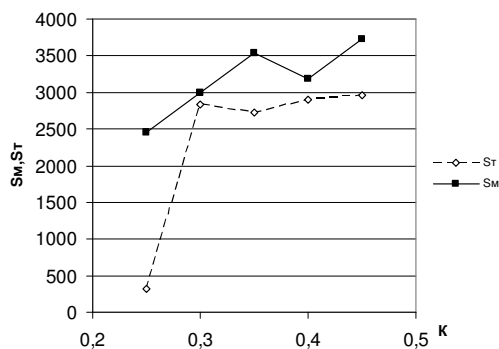


Рис. 3. Залежності питомих поверхонь продукту подрібнення S_T та S_M (cm^2/g) від ступеня заповнення камери κ при мінімальному заповненні завантаження подрібнюваним матеріалом

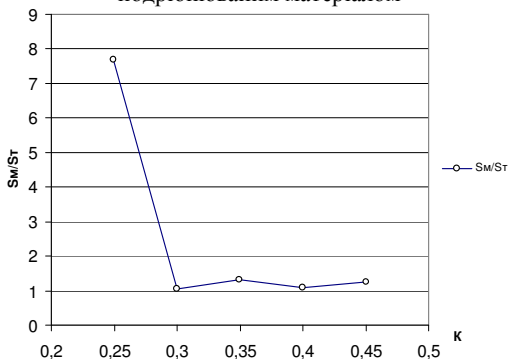


Рис. 4. Залежності відношення питомих поверхонь S_M/S_T від ступеня заповнення камери κ при мінімальному заповненні завантаження подрібнюваним матеріалом

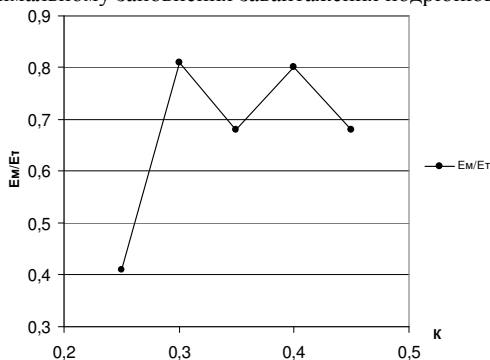


Рис. 5. Залежність відношення питомих витрати енергії E_M/E_T від ступеня заповнення камери κ при мінімальному заповненні завантаження подрібнюваним матеріалом

Із рис. 1 випливає, що продуктивність модернізованого способу роботи млина із пульсаціями завантаження перевищує продуктивність традиційного способу. Зі збільшенням ступеня заповнення камери завантаження продуктивність зростає. Рис. 2 показує, що продуктивність модернізованого способу перевищує продуктивність традиційного способу на 23-48%. Зі зменшенням заповнення камери завантаження ефективність процесу помелу по продуктивності зростає. Із рис. 3 випливає, що абсолютна питома поверхня продукту подрібнення модернізованого способу перевищує питому поверхню традиційного способу. Зі збільшенням заповнення камери питома поверхня зростає. Рис. 4 показує, що питома поверхня модернізованого способу нижче питомої поверхні традиційного способу на 6-30%. Зі зменшенням заповнення камери завантаження ефективність процесу помелу по питомій поверхні зростає. Із рис. 5 випливає, що питомі витрати енергії модернізованого способу нижче витрат традиційного способу на 19-32%. Зі зменшенням заповнення камери завантаження ефективність процесу помелу по енергоємності зростає.

Для другої серії досліджень ступінь заповнення камери завантаженням відповідає встановленому у першій серії дослідів раціональному значенню і складала $\kappa=0,25$. Ступінь заповнення завантаження частинками подрібнюваного матеріалу змінювалась у межах $\kappa_{мз}=0,05-0,4$ із кроком 0,05, що відповідало ступеню заповнення цими частинками проміжків між молольними тілами $\kappa_{мл}=0,125-1$ із кроком 0,125

Отримані результати досліджень традиційних та запропонованих робочих процесів, при варіації ступеня заповнення завантаження подрібнюваним матеріалом, за умови мінімального заповнення камери завантаженням зведено у табл. 2 та зображено на рис. 6-10.

Таблиця 2

Характеристики барабанних млинів із пульсаційним рухом завантаження, залежно від ступеня заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом, при мінімальному ступені заповнення камери завантаженням ($\kappa=0,25$)

№ з/п	Тип режиму	ψ_{ω}	$\kappa_{мз}$	$\kappa_{мл}$	$З$	Π	$\frac{\Pi_M}{\Pi_T}$	$\frac{S}{(cm^2/\varepsilon)}$	$\frac{S_M}{S_T}$	$\frac{E_M}{E_T}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	традиційний	0,75	0,05	0,125	0,844	0,156	2,4	319	7,70	0,41
2	модернізований	0,85-1,15	0,05	0,125	0,626	0,374		2459		
3	традиційний	0,75	0,1	0,25	0,677	0,323	1,25	1551	1,57	0,79
4	модернізований	0,85-1,15	0,1	0,25	0,595	0,405		2434		
5	традиційний	0,75	0,15	0,375	0,652	0,348	1,51	1738	1,51	0,66
6	модернізований	0,85-1,15	0,15	0,375	0,473	0,527		2623		
7	традиційний	0,75	0,2	0,5	0,643	0,357	1,3	1525	1,38	0,77
8	модернізований	0,85-1,15	0,2	0,5	0,535	0,465		2106		

продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	традиційний	0,75	0,25	0,625	0,643	0,357	1,46	1492	1,41	0,68
10	модернізований	0,85-1,15	0,25	0,625	0,477	0,523		2100		
11	традиційний	0,75	0,3	0,75	0,623	0,377	1,25	1130	1,34	0,8
12	модернізований	0,85-1,15	0,3	0,75	0,529	0,471		1514		
13	традиційний	0,75	0,35	0,875	0,657	0,343	1,32	1017	1,43	0,76
14	модернізований	0,85-1,15	0,35	0,875	0,546	0,454		1459		
15	традиційний	0,75	0,4	1	0,677	0,323	1,46	851	1,71	0,68
16	модернізований	0,85-1,15	0,4	1	0,528	0,472		1456		

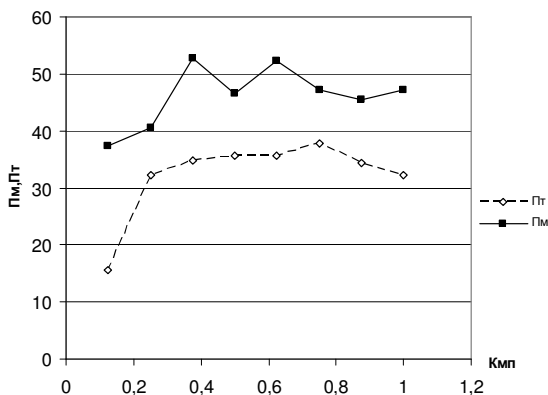


Рис. 6. Залежності продуктивностей P_M та P_T (%) від ступеня заповнення проміжків між молотильними тілами подрібнюваним матеріалом κ_{mt} при мінімальному заповненні камери завантаженням

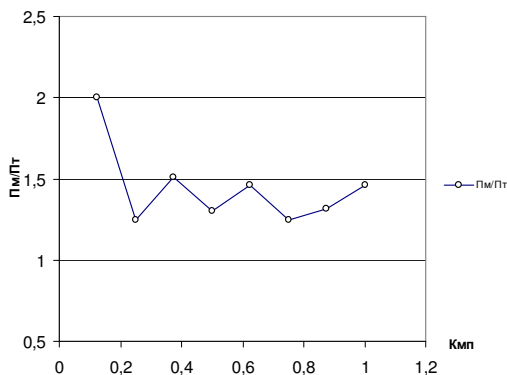


Рис. 7. Залежність відношення продуктивностей P_M/P_T від ступеня заповнення проміжків між молотильними тілами подрібнюваним матеріалом κ_{mt} при мінімальному заповненні камери завантаженням

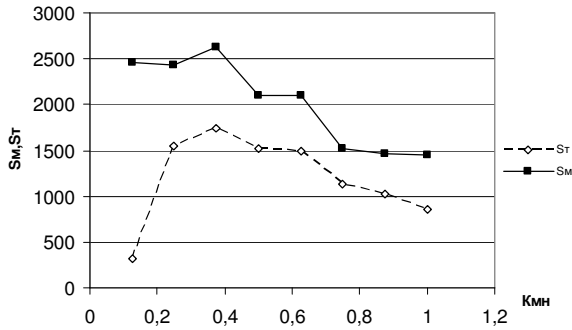


Рис. 8. Залежності питомих поверхонь продукту подрібнення S_T та S_M (см²/г) від ступеня заповнення проміжків між молотковими тілами подрібнюваним матеріалом κ_{mn} при мінімальному заповненні камери завантаженням

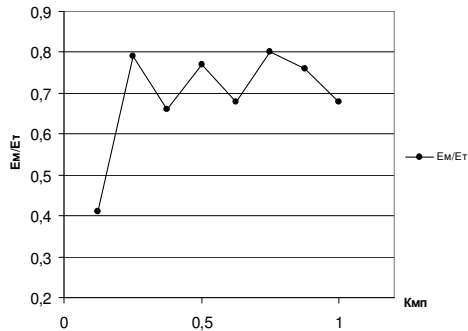


Рис. 9. Залежності відношення питомих поверхонь S_M/S_T від ступеня заповнення проміжків між молотковими тілами подрібнюваним матеріалом κ_{mn} при мінімальному заповненні камери завантаженням

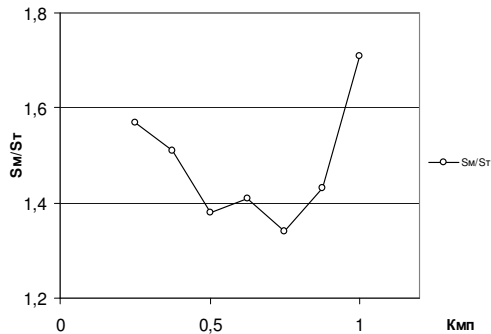


Рис. 10. Залежність відношення питомих витрати енергії E_M/E_T від ступеня заповнення проміжків між молотковими тілами подрібнюваним матеріалом κ_{mn} при мінімальному заповненні камери завантаженням

Рис. 6 показує, що продуктивність модернізованого способу роботи млина перевищує продуктивність традиційного способу. Зі збільшенням ступеня заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом продуктивність переважно зростає. Із рис. 7 випливає, що продуктивність модернізованого способу перевищує продуктивність традиційного способу на 25-51%. Зі зменшенням ступеня заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом ефективність процесу помелу по продуктивності зростає. Рис. 8 показує, що абсолютна питома поверхня продукту подрібнення модернізованого способу перевищує питому поверхню традиційного способу. Зі зменшенням ступеня заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом питома поверхня переважно зростає. Із рис. 9 випливає, що питома поверхня модернізованого способу нижче питомої поверхні традиційного способу на 34-71%. Зі зменшенням заповнення камери завантаженням ефективність процесу помелу по питомій поверхні зростає. Рис. 10 показує, що питомі витрати енергії модернізованого способу нижче витрат традиційного способу на 20-34%. Зі зменшенням ступеня заповнення проміжків між молольними тілами подрібнюваним матеріалом ефективність процесу помелу по енергоємності переважно зростає.

Таким чином, застосування запропонованого режиму роботи млина із пульсаціями завантаження, порівняно із традиційним процесом, підвищує продуктивність на 23-51% та питому поверхню продукту подрібнення на 6-71%, а також знижує питомі витрати енергії на 19-34%. При цьому зі зменшенням ступеня заповнення камери завантаженням та зменшенням вмісту подрібнюваного матеріалу у завантаженні, ефективність процесу по продуктивності, питомій поверхні продукту та енергоємності зростає.

1. Науменко Ю. В. Основи теорії режимів роботи барабаних млинів : монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне : Видавництво СПД Зелент О. І., 2009. – 282 с. **2.** Науменко Ю. В. Рекомендації до розрахунку, проектування та експлуатації барабаних млинів багатостадійного подрібнення / Ю. В. Науменко. – Рівне : Видавництво СПД Зелент О. І., 2009. – 88 с. **3.** Науменко К. Ю. Нестійкі режими обертання барабаних млинів / К. Ю. Науменко // Вісн. НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2006. – Вип. 2(34). – Ч. 2. – С. 111-119. **4.** Дейнека К. Ю. Стійкість руху внутрішньокамерного завантаження барабанного млина / К. Ю. Дейнека // Вісн. НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2008. – Вип. 3(43). – С. 250-257. **5.** Дейнека К. Ю. Створення енергозберігаючих усталених та перехідних режимів роботи барабаних млинів / К. Ю. Дейнека, Ю. В. Науменко, О. М. Романенко, В. П. Ткачук // Вісн. НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2010. – Вип. 4(52). – С. 90-97. **6.** Скрипник І. Г. Фізико-хімічні методи досліджень будівельних матеріалів: Лабораторний практикум / І. Г. Скрипник. – Рівне: НУВГП, 2011. **7.** Хигерович М. И. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов / М. И. Хигерович, А. П. Меркин. – М. : Высш. шк., 1968. **8.** Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных вылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л. : Химия, 1987.

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