



Науменко Ю. В.
д.т.н., доцент

*Національний
університет водного
господарства та
природокористування*

Дейнека К. Ю.
к.т.н., викладач вищої категорії

*Технічний коледж
Національного
університету водного
господарства та
природокористування*

УДК 621.926.5:539.215:531.36

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ЗАПОВНЕННЯ ОБЕРТОВОЇ КАМЕРИ НА АВТОКОЛИВАННЯ ЗЕРНИСТОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

Розглянуто автоколивання завантаження обертової камери машини барабанного типу. Застосовано метод візуального аналізу картин перехідного пульсаційного руху зернистого середовища у поперечному перерізі камери. З'ясовано вплив ступеня заповнення камери на амплітуду та частоту автоколивань.

Ключові слова: автоколивання, зернисте завантаження, обертова камера, машина барабанного типу, метод візуалізації, перехідний рух, пульсації, ступінь заповнення камери, дилатансія, амплітуда, частота.

Традиційні машини барабанного типу залишаються основним обладнанням багатотоннажної переробки зернистих матеріалів у багатьох галузях виробництва [1-3]. Широке застосування такого обладнання зумовлено можливістю високої одиничної продуктивності, простотою конструкції, надійністю роботи, зручністю експлуатації, універсальністю та економічністю. Однак підвищена енергоємність барабанних машин, внаслідок фрикційної дисипації в робочій зоні, суттєво звужує можливу сферу їх застосування. Це спричинено низькою інтенсивністю циркуляції завантаження в обертовій камері, оскільки значна його частка є пасивною малорушливою і не бере участі у робочому процесі.

Новим технологічним напрямом суттєвого підвищення порівняно низької енергетичної ефективності машин барабанного типу є активізація циркуляції завантаження шляхом створення коливних рухів у камері. Це дозволяє привести в рух пасивну частину завантаження та суттєво посилити інтенсивність взаємодії його елементів. У зв'язку із зазначеним доволі перспективним видається використання ефекту самозбудження автоколивань завантаження при нестійких режимах руху механічної системи машинного агрегату. Такий підхід базується на традиційних конструктивних рішеннях

обладнання із камерою без додаткових виступаючих елементів, що зазнають пришвидшеного зношування.

Усталений стійкий циркуляційний рух зернистого завантаження обертової камери має коливальний характер і характеризується оборотністю заповнення [4].

На параметри перехідного автоколивального руху завантаження суттєво впливає швидкість обертання камери [5].

Проте характер впливу вмісту внутрішньокамерного завантаження на самозбудження його автоколивання залишається до сих пір не з'ясованим.

Метою дослідження було встановлення закономірностей впливу ступеня заповнення камери завантаженням на амплітуду та частоту його автоколивань.

Як метод досліджень було застосовано візуальний аналіз отриманих за допомогою відеозйомки, із наступним виділенням окремих картин, перехідного режиму автоколивного руху завантаження у поперечному перерізі стаціонарно обертової навколо горизонтальної осі циліндричної камери із прозорою торцевою стінкою. Було застосовано барабан із циліндричною поверхнею камери без виступів радіусом $R=0,106$ м.

Як робочий використовувався незв'язний зернистий матеріал із близькою до сферичної формою частинок. Середній абсолютний розмір



елемента заповнення камери становив $d=0,0022$ м, при відносному розмірі $d/(2R)=0,0104$.

Як геометричний критерій подібності руху завантаження в обертовій камері було прийнято ступінь її заповнення κ :

$$\kappa = \frac{w}{\pi \cdot R^2 \cdot L},$$

де w – об'єм завантаження, L – довжина камери.

Значення ступеня заповнення камери завантаженням змінювалось у межах найпоширенішого діапазону $\kappa=0,15-0,5$ із кроком $0,05$. При $\kappa < 0,15$ автоколивання не виникали внаслідок проковзування зернистого завантаження по циліндричній поверхні камери, через недостатню фрикційну взаємодію.

Швидкості обертання камери оцінювались за величиною відносної швидкості

$$\psi_{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{кр}},$$

де $\omega_{кр} = \sqrt{g/R}$ значення критичної кутової швидкості, при якій відцентрове прискорення на циліндричній поверхні камери дорівнює гравітаційному; g – гравітаційне прискорення.

Ефект самозбудження автоколивань проявлявся у вигляді виникнення пульсацій завантаження у поперечному перерізі обертової камери, що ускладнювали стаціонарування швидкості її обертання. Під час такого пульсаційного руху значна частка завантаження у верхній частині камери відокремлювалась від поверхні і здійснювала падіння зі взаємодією елементів між собою. Це спричинювало істотне зменшення частки пасивної малорухливої зони у поперечному перерізі камери та значну інтенсифікацію циркуляції завантаження.

Перерозподіл маси заповнення в камері, під час пульсацій, викликав зміну інерційних параметрів завантаження. Значення осьового і відцентрового моменту інерції та положення центра внутрішньокамерного завантаження змінювалось протягом періоду автоколивань.

Для чисельного оцінювання характеристик пульсацій було використано дилатансію зернистого завантаження у поперечному перерізі обертової камери. Значення дилатансії було прийнято як параметр зміщення при автоколиваннях.

Розглядалась зсувна додатна дилатансія при збільшенні об'єму зернистого матеріалу внаслідок переміщення частинок у напрямку, що є нормальний до напрямку зсування. Величина приросту дилатансії Δu для певної картини руху завантаження, що визначалась за допомогою методу візуалізації, обчислювалась за виразом

$$\Delta u = \frac{S_{зк}}{\pi \cdot R_{к}^2 \cdot \kappa} - 1,$$

де $S_{зк}$ – площа поперечного перерізу розпорошеного завантаження на картині руху, $R_{к}$ – радіус камери на картині.

Амплітуда автоколивань оцінювалась за розмахом коливань дилатансії завантаження обертової камери

$$R_v = \frac{\Delta u_{max} + 1}{\Delta u_{min} + 1} - 1,$$

де Δu_{max} та Δu_{min} – максимальне та мінімальне значення приросту дилатансії завантаження протягом одного періоду пульсацій.

На рис. 1, для порівняння, наведено отримані послідовні картини виникнення автоколивного режиму руху зернистого завантаження із максимальною амплітудою під час одного періоду пульсацій, для восьми ступенів заповнення камери $\kappa=0,15-0,5$. Амплітуда автоколивань досягала максимального значення у межах відносних біфуркаційних швидкостей обертання камери $\psi_{\omega}=0,85-1,1$. Власна частота автоколивань завантаження слабо залежала від швидкості обертання камери. Частота пульсацій заповнення становила біля 2 Гц і в 1,24-1,68 рази перевищувала частоту обертання камери, що складала 1,3-1,76 Гц.

На рис. 2 зображено отриманий графік залежностей максимального Δu_{max} та мінімального Δu_{min} значення приросту відносної дилатансії завантаження обертової камери протягом одного періоду пульсацій від зміни κ .

Залежності на рис. 2 свідчать про інтенсивне зростання Δu_{max} та деяке спадання Δu_{min} зі зменшенням заповнення камери.

На рис. 3 показано одержаний графік залежності розмаху коливань дилатансії завантаження обертової камери від зміни κ .

Залежність за рис. 3 засвідчує суттєве підвищення R_v зі зменшенням κ .

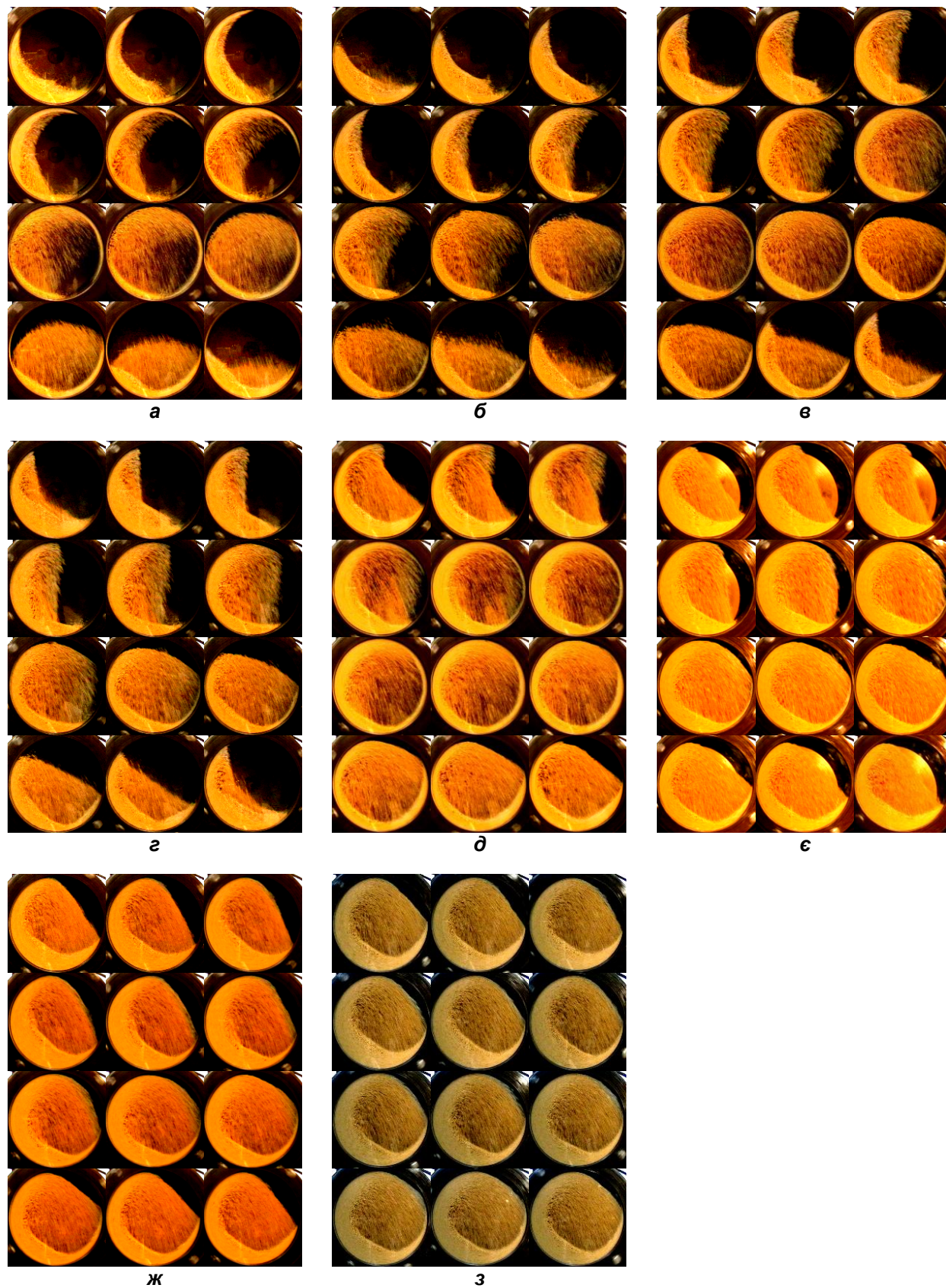
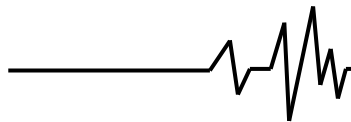
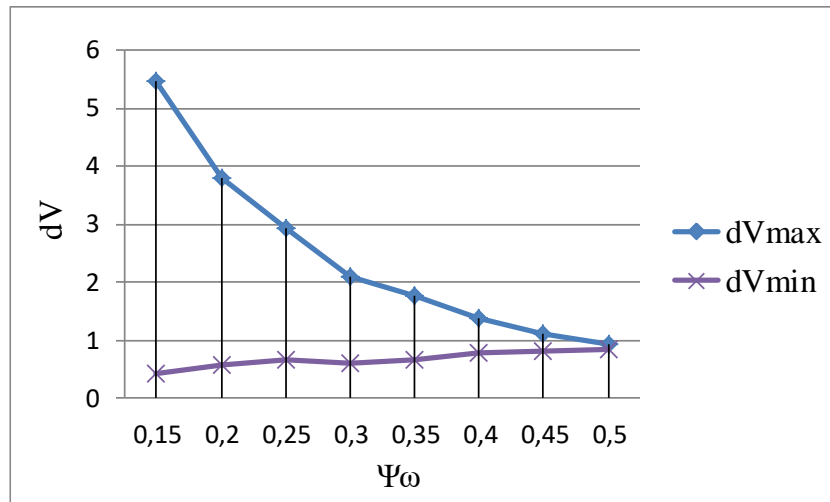
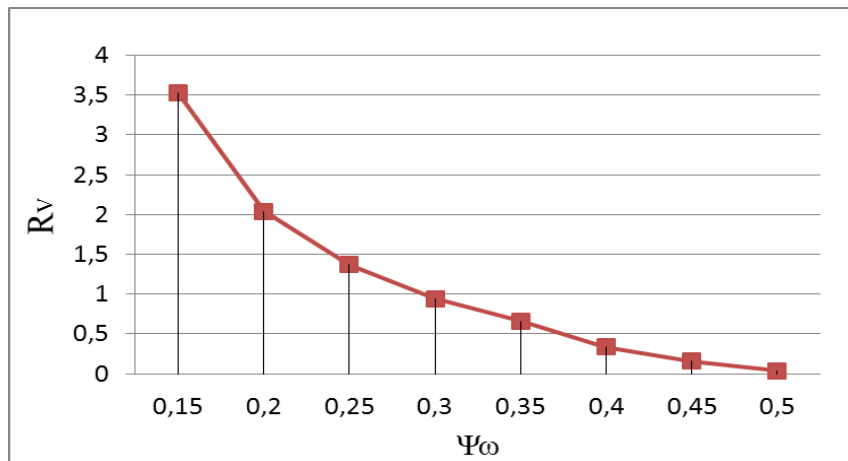


Рис. 1. Послідовні картини руху зернистого завантаження в обертовій камері для одного періоду автоколивань при $d/(2R)=0,0104$: а – $\kappa=0,15$; б – $\kappa=0,2$; в – $\kappa=0,25$; г – $\kappa=0,3$; д – $\kappa=0,35$; е – $\kappa=0,4$; ж – $\kappa=0,45$; з – $\kappa=0,5$

Рис. 2. Залежності Δu_{max} та Δu_{min} від κ Рис. 3. Залежність R_v від κ

Отримані результати дозволяють сформулювати такі висновки:

1. Для підвищення інтенсивності процесу переробки зернистих матеріалів в машинах барабанного типу, із традиційними конструктивними рішеннями, доцільно застосовувати ефект самозбудження автоколивань завантаження обертової камери з максимальною амплітудою пульсацій.

2. Параметри автоколивань зручно чисельно оцінювати за значенням відносної дилатансії зернистого завантаження у поперечному перерізі обертової камери.

3. Амплітуда автоколивань завантаження інтенсивно зростає зі зниженням ступеня заповнення камери.

4. Власна частота пульсацій завантаження із максимальною амплітудою автоколивань слабо залежить від ступеня заповнення камери.

5. При ступені заповнення камери меншим за 0,15 автоколивання не виникають внаслідок проковзування зернистого завантаження по поверхні камери, через

недостатнє зчеплення.

6. Параметри автоколивань зернистого завантаження обертової камери визначаються властивостями самої системи і не залежать від кінцевої зміни початкових умов.

7. Подальшого з'ясування потребує вплив фазної структури завантаження на параметри його автоколивань.

Список використаних джерел

1. Науменко Ю. В. Параметри приводу горизонтальних барабанних машин частково заповнених оброблюваним матеріалом / Ю. В. Науменко // Хім. пром-сть України. – 2001. – № 1. – С. 50-56.

2. Науменко Ю. В. Определение рациональных скоростей вращения горизонтальных барабанных машин / Ю. В. Науменко // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2000. – № 5. – С. 89-92.

3. Науменко Ю. В. Скорость вращения формы горизонтальной машины для центробежного литья / Ю. В. Науменко // Процессы литья. – 2000. – № 3. – С. 65-69.



4. Науменко Ю. В. Оборотно́сть зернистого внутрішньокамерного завантаження машини барабанного типу / Ю. В. Науменко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 3(83). – С. 181-188.

5. Дейнека К. Ю. Параметри автоколиваний внутрішньокамерного завантаження барабанного млина / К. Ю. Дейнека, Ю. В. Науменко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 3(83). – С. 29-34.

Список джерел в транслітерації

1. Naumenko Yu. V. Parametry pryvodu horizontalnykh barabannykh mashyn chastkovo zapovnenykh obroblivanyim materialom / Yu. V. Naumenko // Khim. prom-st Ukrainy. – 2001. – № 1. – S. 50-56.

2. Naumenko Yu. V. Opredelenye ratsyonalnykh skorostei vrashcheniya horizontalnykh barabannykh mashyn / Yu. V. Naumenko // Metallurh. y hornorud. prom-st. – 2000. – № 5. – S. 89-92.

3. Naumenko Yu. V. Skorost vrashcheniya formy horizontalnoi mashyny dlia tsentrobezhnoho lytia / Yu. V. Naumenko // Protsessy lytia. – 2000. – № 3. – S. 65-69.

4. Науменко Ю. В. Оборотно́сть зернистого внутрішньокамерного завантаження машини барабанного типу / Ю. В. Науменко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 3(83). – С. 181-188.

5. Дейнека К. Ю. Параметри автocolиваний внутрішньокамерного завантаження барабанного млина / К. Ю. Дейнека, Ю. В. Науменко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 3(83). – С. 29-34.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАМЕРЫ НА АВТОКОЛЕБАНИЯ ЗЕРНИСТОЙ ЗАГРУЗКИ

Аннотация. Рассмотрены автоколебания загрузки вращающейся камеры машины барабанного типа. Применен метод визуального анализа картин переходного пульсационного движения зернистой среды в поперечном сечении камеры. Выяснено влияние степени заполнения камеры на амплитуду и частоту автоколебаний.

Ключевые слова: автоколебания, зернистая загрузка, вращающаяся камера, машина барабанного типа, метод визуализации, переходное движение, пульсации, степень заполнения камеры, дилатансия, амплитуда, частота.

THE ROTATING CHAMBER DEGREE OF FILLING EFFECT ON GRANULAR FILL SELF- OSCILLATION

Annotation. The drum type machine rotating chamber fill self-oscillation is considered. The camera cross-section granular medium fluctuation transient flow patterns visual analysis method was used. The effect of the chamber degree of filling on amplitude and frequency of the self-oscillations is discovered.

Key words: self-oscillation, granular fill, rotating chamber, drum type machine, visualization method, transient flow, fluctuations, chamber degree of filling, dilatation, amplitude, frequency.

Відомості про авторів

Науменко Юрій Васильович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: informal9m@i.ua).

Дейнека Катерина Юріївна – кандидат технічних наук, викладач вищої категорії Технічного коледжу Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Орлова, 35, м. Рівне, Україна, 33027, e-mail: deineka-kateryna@ukr.net).

Науменко Юрій Васильевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных, дорожных, мелиоративных, сельскохозяйственных машин и оборудования Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: informal9m@i.ua).

Дейнека Екатерина Юрьевна – кандидат технических наук, преподаватель высшей категории Технического колледжа Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Орлова, 35, г. Ровно, Украина, 33027, e-mail: deineka-kateryna@ukr.net).

Naumenko Yuriy – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of construction, road, reclamation, agricultural machines and equipment of the National University of Water and Environmental Engineering (St. Soborna, 11, Rivne, Ukraine, 33028, e-mail: informal9m@i.ua).

Deineka Katerina – Candidate of Technical Sciences, lecturer of the highest category of the Technical College of the National University of Water and Environmental Engineering (St. Orlova, 35, Rivne, Ukraine, 33027, e-mail: deineka-kateryna@ukr.net).