ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РОБОТИ

Іван Назаренко, Сергій Орищенко, Богдан Мацюк

Київський національний університет будівництва і архітектури,
03680, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, chieftain1609@bigmir.net

THE VIBRATING SCREEN WORKING OPTIONS SURFACE INCLINED ANGLE'S INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF ITS PERFORMANCE

Ivan Nazarenko, Sergey Orischenko, Bogdan Matsiuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
03680, Povitroflotsky av., 31, Kyiv, Ukraine, chieftain1609@bigmir.net

АНОТАЦІЯ. Досліджено вплив кута нахилу сит грохота на ефективність його роботи. Здійснено оцінку параметрів машини та аналіз руху матеріалу по поверхні сита вібраційного грохота. Розроблена математична модель та отримані аналітичні залежності для визначення параметрів грохота для різних положень його поверхні.
Ключові слова: *математична модель, робоча поверхня, конструктивні параметри*.

АННОТАЦИЯ. Исследовано влияние угла наклона сит грохота на эффективность его работы. Осуществлена оценка параметров машины и анализ движения материала по поверхности сита вибрационного грохота. Определена математическая модель и получены аналитические зависимости для определения параметров грохота для различных положений его поверхностей.
Ключевые слова: *математическая модель, рабочая поверхность, конструктивные параметры.*

ABSTRACT. ***Parameters*** *studied the impact angle of inclination on vibrating screens and effectiveness of its work.* ***Purpose.*** *The estimation of the parameters of the machine and motion analysis of the material on the surface of the sieve shaker. Defined mathematical model and the analytical dependence for the parameters screens for different modes of its surface.*
Key words: *the arithmetical model, working surface, constructive parameters.*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вібраційні грохоти широко використовуються в різних галузях народного господарства. Особливе значення вони мають при виробництві будівельних матеріалів, тому що якість готового виробу в значній мірі визначається гранулометричним складом заповнювачів.

У зв'язку з цим актуальною проблемою є забезпечення необхідного гранулометричного складу заповнювача, який досягається шляхом вибору параметрів вібраційного грохота до яких відносяться і кут його нахилу. В роботі визначено вплив параметрів грохота на вибір числових значень кута нахил грохота.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженню параметрів та конструкцій грохотів присвячена низка робіт. Так, в роботі [1] наведено теорію вібраційних машин із урахуванням впливу матеріалу на динаміку його роботи, в роботі [2] наведені конструкції вібраційних грохотів та методика визначення їх основних параметрів, в роботах [3…8] здійснена оцінка технологічних параметрів вібраційних грохотів.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у визначенні оптимального кута нахилу сита вібраційного грохота та швидкості руху матеріалу по поверхні робочого органа.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для здійснення процесу грохочення необхідний відносний рух частинок по ситу. Без урахування впливу сусідніх зерен і нерівностей сита швидкість, яка забезпечує проходження всіх частинок крізь отвори горизонтального сита, можна визначити наступним чином.

Рух зерен діаметром d (рис.1) по ситу з розмірами отвору D під дією швидкості v і сил тяжіння G можна виразити рівняннями

$$x = vt;\ y = \frac{gt^2}{2}. \qquad (1)$$

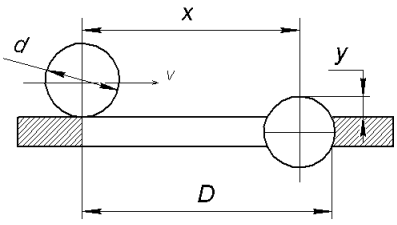

Рис.1 Схема для визначення швидкості руху матеріалу по ситу

Fig. 1. Scheme for determining the velocity of the material on the site

Оскільки $x = D - \frac{d}{2}$ і $y = \frac{d}{2}$ то, розв'язавши рівняння (1), визначимо відносну швидкість руху зерен по ситу

$$v = (D - \frac{d}{2})\sqrt{\frac{g}{d}} \quad . \qquad (2)$$

Щоб зерно рухалося ситом, йому слід надати прискорення, яке створює силу інерції, що перевищує сили опору переміщенню матеріалу.

У вібраційних грохотах з спрямованими коливаннями робоча поверхня здійснює певні гармонічні коливання за законом

$$x = X_0 \sin \omega t$$

де X_0 - амплітуда коливань; ω – частота коливань.

Напрям коливань утворює з площиною кут $\beta \angle \frac{\pi}{2}$ (рис.2).

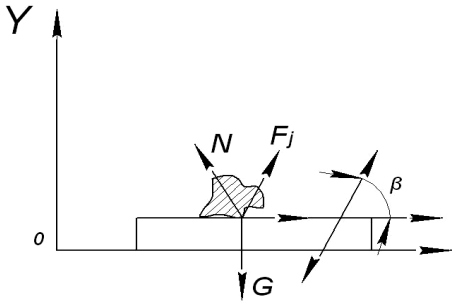

Рис.2 Схема руху частинок по горизонтальній вібраційній площині

Fig. 2. Scheme of particle motion in the horizontal plane of vibration

За динамікою відносного руху для вивчення руху маси матеріалу m відносно вібруючої площини до діючих на масу сил (ваги G, тертя F_T та нормальної реакції N) слід додати силу інерції F_i , що дорівнює добутку m на прискорення площини $\ddot{x} = -X_0 \omega^2 \sin \omega t$ і спрямована під кутом β до горизонталі.

Тоді рівняння відносного руху маси m у проекціях на осі координат XOY, пов'язані з вібруючою поверхнею, матимуть такий вигляд:

$$m\ddot{x} = mX_0\omega^2 \cos\beta \sin\omega t + F_T;$$
$$m\ddot{y} = m X_0 \omega^2 \sin\beta \sin\omega t - mg + N, \qquad (3)$$

де F_T — сила тертя, зв'язана при русі частинки по площині (y = 0) з нормальною реакцією N співвідношенням

$$F_T = -fN, \text{ якщо } \dot{x} > 0; \quad F_T = fN, \text{ якщо } \dot{x} < 0, \qquad (4)$$

де f — коефіцієнт тертя ковзання.

При цьому нормальну реакцію можна визначити з другого рівняння (3)

$$N = N(t) = mg - mX_0\omega^2 \sin\beta \sin\omega t.$$

Переміщення матеріалу площиною ($\dot{x} > 0$) забезпечується при умові

$$mX_0\omega^2 \cos\beta \sin\omega t \geq F_T.$$

З урахуванням сил тертя F_T та нормальної реакції маємо

$$mX_0\omega^2 \cos\beta \sin\omega t \geq mgf - mX_0\omega^2 \sin\omega t \sin\beta f$$

.

З останнього виразу визначаємо кутову швидкість, необхідну для переміщення матеріалу по ситу,

$$\omega = \sqrt{\frac{gf}{X_0 \cos\beta \sin\omega t(1+f)}} \quad . \qquad (5)$$

Імовірно, що мінімальні значення кутової швидкості відповідають положенню дебалансів віброзбуджувача, за якого $\omega t = \frac{\pi}{2}$. Тоді кутова швидкість

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{gf}{X_0 \cos\beta(1+f)}} \quad . \qquad (6)$$

Для очищення сит від застряглих зерен і кращого розділення матеріалу необхідне підкидання матеріалу над ситом. Умови польоту частинок над площиною випливають з рівнянь (3) при $F_T = = N = 0$:

$$m\ddot{x} = mX_0\omega^2 \cos\beta sin\omega t;$$

$$m\ddot{y} = mX_0\omega^2 \sin\beta \sin\omega t - mg.$$

Звідси умови підкидання частинок над площиною сита

$$\frac{X_0\omega^2 \sin\beta \sin\omega t}{g} \geq 1 \, . \qquad (7)$$

Мінімальна кутова швидкість, необхідна для забезпечення підкидання частинок над ситом,

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{X_0 \sin\beta}} \quad . \qquad (8)$$

В інерційних грохотах з коловими коливаннями напрям сили інерції визначається кутом повороту $\varphi = \omega t$ дебалансів, а сумарне значення сили інерції за один оберт дебалансів дорівнює нулю. Тому поверхню грохота слід виконувати похилою, щоб з'явилася додаткова сила $Q = G\sin\alpha$ (рис. 3).

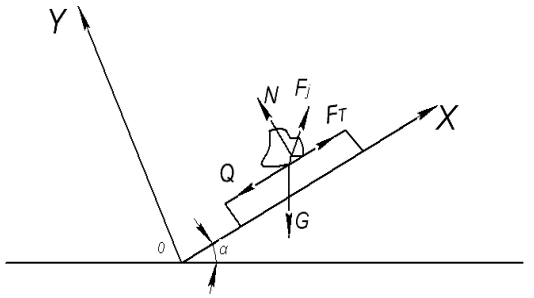

Рис.3. Схема руху частинок по похилій вібруючій поверхні.

Fig. 3. Scheme of particle motion on an inclined vibrating surface

Рівняння відносного руху частинок у цьому разі матиме вигляд

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= mX_0\omega^2 \cos\omega t \ + \mathrm{Q} \pm fmg; \\ m\ddot{y} &= mX_0\omega^2 \sin\omega t - Gcos\alpha + N. \end{aligned} \qquad (9)$$

У праву частину першого рівняння (9) вже підставлено вираз для сил тертя ковзання: знак «плюс» відповідає ковзанню вперед
($\dot{x} > 0$), а «мінус» – ковзанню назад ($\dot{x} < 0$).

Матеріал по ситу переміщатиметься донизу, якщо сума сили Q і сили інерції P перевищить сили опору. При цьому сила Q сприяє руху частинок по ситу і перешкоджає їх руху у зворотному напрямі.

Мінімальну кутову швидкість, необхідну для переміщення матеріалу по ситу і яка відповідає умові $\varphi = \omega t = 0$, визначають з рівняння (9):

$$\omega = \sqrt{\frac{g(f - \sin\alpha)}{X_0}} \quad . \qquad (10)$$

Максимальна підкидаюча сила буде за умови $\varphi = \omega t = \frac{\pi}{2}$.

Мінімальна кутова швидкість, необхідна для підкидання частинок,

$$\omega = \sqrt{\frac{g\cos\alpha}{X_0}} \quad . \qquad (11)$$

У реальних умовах рух суміші зерен на робочій поверхні грохота відрізняється від ідеальних умов внаслідок впливу сусідніх зерен, зерен неправильної форми тощо. Тому значення швидкостей, що забезпечують переміщення та підкидання матеріалу, беруться трохи завищеними.

Параметри коливань грохотів призначаються такими, щоб запобігти перенавантаженню в елементах конструкції. При цьому амплітуди коливань коробів приймають: для інерційних грохотів 2,5...4,0 мм, для самобалансних 4,0...5,0 мм.

Навантаженість і режим роботи грохота оцінюються динамічним коефіцієнтом K_g, який становить відношення амплітуди прискорення коливань короба грохота $X_0\omega^2$ до прискорення сил ваги, взяте у площині, перпендикулярній до площини сита:

$$K_g = \frac{X_0\omega^2 \sin\beta}{g\cos\alpha} \quad , \qquad (12)$$

де β — кут між площиною сит і напрямком

коливань (для горизонтальних грохотів з спрямованими коливаннями β = 35...45°, а для похилих з коловими коливаннями β = 90°); α — кут нахилу сит до горизонталі (для грохотів з спрямованими коливаннями α = 0...6°, для грохотів з коловими коливаннями α = 10...30°).

З цього виразу можна знайти амплітуду коливань грохота:

$$X_0 = \frac{K_g g \cos\alpha}{\omega^2 \sin\beta} \quad . \qquad (13)$$

Динамічний коефіцієнт визначають за емпіричною формулою

$$K_g = \frac{4}{\sqrt[3]{d_{мр.}}} + \frac{K_2^2 + K_1}{K_1 K_2}, \qquad (14)$$

де $d_{мр.}$ — межа розподілу матеріалу, мм; K_1, K_2 — коефіцієнти, що враховують гранулометричний склад матеріалу (табл.).

Ефективність грохочення визначається за формулою [1]:

$$E = eK_1K_2K_3, \qquad (15)$$

де е- еталонна ефективність сортування матеріалу для середніх умов; K_3 – коефіцієнт, що враховує процентний вміст у нижньому класі зерен розміром, меншим за половину розміру отвору сита.

Рис.4. Експериментальна установка

Fig. 4. Experimental installation

Для оцінки числових значень параметрів сортування матеріалу була спроектована та виготовлена експериментальна установка (рис. 4), в якій було передбачено зміну кута нахилу грохота і можливість регулювання частоти та амплітуди коливань.

Проведена серія дослідів, результати яких які зведені до табл. Встановлено, що в межах проведених дослідів оптимальний кут нахилу складає 15…20° і залежить від фракційного складу матеріалу та динамічних параметрів вібраційного грохота. Розбіжність між експериментальними і розрахунковими даними знаходиться в межах 12…14%.

Таблиця. Числові значення коефіцієнтів грохота

Table. Numerical coefficients sifter

Розмір квадратного отвору сита на світлі, мм	q	Кут нахилу сита, град	K_1,	Вміст зерен нижнього класу ,%	K_2,	Вміст у нижньому класі зерен менші за розмір	K_3
5	12	9	0,45	10	0,58	10	0,63
7	16	10	0,5	20	0,66	20	0,72
10	23	11	0,56	30	0,76	30	0,82
14	32	12	0,61	40	0,84	40	0,91
16	37	13	0,67	50	0,92	50	1,0
18	40	14	0,7	60	1,0	60	1,09
20	43	15	0,8	70	1,08	70	1,18
25	46	16	0,8	80	1,17	80	1,28
35	56	17	0,9	90	1,25	90	1,37
37	60	18	1,0				
40	62	19	1,0				
42	64	20	1,1				
60	80	21	1,2				
70	82	22	1,3				

ВИСНОВКИ

1. Отримано аналітичні залежності для визначення параметрів вібраційного грохота та визначено вплив кута нахилу грохота на ефективність процесу сортування.

2. Здійснені експериментальні дослідження на виготовленому грохоті із регульованими параметрами підтвердили достовірність аналітичних залежностей для визначення оптимального кута нахилу.

3. Виконані дослідження є передумовою для розробки алгоритму та методики розрахунку вібраційних грохотів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Назаренко І.І.* Машини для виробництва будівельних матеріалів: підручник / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА. – 1999. – 544 с.
2. *Вебер Г.Э.* Дополнительные главы механики для горных инженеров / Г.Э. Вебер С.А. Ляпцев .- Свердловск : УрГУ, 1989. – 389с.
3. *Волков Е.Б.* Теоретический анализ технологических параметров вибрационных грохотов. Современные проблемы науки и образования. / Е.Б. Волков И.А. Глухих - 2013.- № 6 (приложение «Технические науки»).
4. *Бауман В.А*. Вибрационные грохоты / В.А. Бауман. М. – Л.: Наркомпромтяж, 1983. – 80с.
5. *Мацюк Б.В*. Підвищення ефективності робочих параметрів вібраційної сепарації будівельних матеріалів / Техніка будівництва – 2015. №34. – С. 34-37.
6. *Орищенко С.В*. Дослідження впливу маси матеріалу на ситі вібраційного грохота. / Техніка будівництва. – 2008. – №21. – С.157-160.
7. *Гурський В*. Порівняльна оцінка ефективності функціонування імпульсних резонансних вібраційних машин / В. Гурський, О. Ланець, Я. Шпак. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2015. – №85. – С. 51-58.
8. *Човнюк Ю*. Застосування методу гармонічного балансу для аналізу маятникових коливань вантажу в процесах пуску/гальмування мостових кранів / Ю. Човнюк, К. Почка, М. Діктерук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2011. – №80. – С. 8-13.

REFERENCES

1. *Nazarenko I.I., 1999.* Machines for the production of building materials: the textbook. Kyiv, KNUCA Publ., 544. – (in Ukrainian).
2. *Weber H.E., Lyaptsev S.A., 1989.* Additional chapter heads mechanics for engineers. Sverdlovsk, Ural State University, 389. – (in Russian).
3. *Volkov E.B., Gluhiv I.A., 2013.* Theoretically analysis parameters tehnologycal vibration screne. [Modern problems of science and education, No.6, [Annex "Technical science"], 254. – (in Ukrainian).
4. *Bauman V.A., 1983.* Vybration Screens, Narkompromtyazh, 80. – (in Russian).
5. *Matsiuk B.V., 2015.* Pidvischeniya efektivnosti robochih parametriv vibraciynoi bydivelnih materialiv [Improved operating parameters of vibration separation building materials]. Tehnika budivnictva [Engineering building], No.34, 34-37. – (in Ukrainian).
6. *Oryschenko S.V., 2008.* The influence of the mass of material fed to the vibrating screen. [Engineering building], No.21, 157-160. – (in Ukrainian).
7. *Gursky V., Lanets O., Shpak Y., 2015.* Comparative evaluation of the effecienty of impulsive resonance vibratory machines. Mining, construction, road, meliorative machines and equipment, No.85, 51-58. – (in Ukrainian).
8. *Chovnjuk Ju., Pochka K., Dikteruk M., 2011.* Zastosuvannja metodu garmonich-nogo balansu dlja analizu majatnikovih kolivan' vantazhu v procesah pusku/gal'muvannja mostovih kraniv [Application of harmonic balance analysis pendulum oscillation load in the process of starting/braking overhead crane]. Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road, meliorative machines and equipment], No.80, 8-13. – (in Ukrainian).