



Ловейкін В. С.

Човнюк Ю. В.

Дитюк А. І.

Національний
університет
біоресурсів і
природокористування
України

УДК 62:534(031)

ВІБРОРЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ПРИ ЇХ ВІБРАЦІЙНОМУ ПЕРЕМІЩЕННІ У КОНУСНИХ БУНКЕРАХ

В работе рассмотрен характер измененный виброреологических характеристик твёрдых минеральных удобрений при их вибрационном перемещении в конусных бункерах.

Nature of the change vibroreological features of the hard mineral fertilizers is considered in work under their vibratory displacement in cone bunker.

Постановка проблеми. Відомий агрегат для внесення твердих мінеральних добрив МВД-0,5, який має бункер з похилими стінками, ворушилку, дозатор з двома отворами, дволотковий туконапрявляч, конусний дводисковий розкидальний механізм, на дисках якого закріплені лопатки та механізм приводу. Недоліком цього розкидача є те, що подача гранул твердих мінеральних добрив з бункера до туконапрявляча здійснюється за допомогою ворушили. Як результат значна частина гранул добрив руйнується, а це негативно впливає на якість розсіювання добрив по поверхні поля. Тому автори запропонували вдосконалення конусного розкидача [1]. Замість ворушили назовні похилої стінки бункера встановили електричний вібратор. Завдяки цьому під дією вібрації, створеної вібратором, частинки мінеральних добрив приводяться в коливальний рух, який зменшує тертя між ними, що й забезпечує безперервне подання гранул мінеральних добрив до висівних отворів дозатора, унеможливаючи їх руйнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уявна зміна коефіцієнту тертя (сухого або кулонівського) при дії вібрації представляє собою найпростіший прояв віброрелогічних закономірностей, які встановлені дослідженнями [2 - 6].

Мета роботи полягає у визначенні віброрелогічних характеристик твердих мінеральних добрив при їх вібраційному переміщенні у конусних бункерах для забезпечення постійної подачі гранул добрив дводисковим розкидачам.

Виклад основного матеріалу по темі дослідження. Розглянемо частинку твердих мінеральних добрив, котра притиснута до шорсткої площини деякою силою \bar{N} і на котру діє сила \bar{S} , спрямована вдовж площини (рис. 1). Нехай на часточку твердих мінеральних добрив (у подальшому викладі – на тіло) діє також повздовжня гармонічна сила $\bar{\varnothing} = \varnothing_0 \sin \omega t$. Тоді для того, щоб тіло почало рухатись вздовж площини, необхідна не $\bar{S}^1 = \bar{S}_0 = f_1 \bar{N}$ (як при відсутності сили $\bar{\varnothing}$), де f_1 – коефіцієнт сухого тертя, а лише сила $\bar{S}^{(*)} = f_1 \bar{N} - \bar{\varnothing}_0$. Тому спостерігачу, який «не бачить» швидкої сили $\bar{\varnothing}$, буде здаватись, що коефіцієнт сухого тертя по відношенню до повільної сили \bar{S} зменшився, приймаючи значення:

$$f_1^{(*)} = \frac{S^{(*)}}{N} = f_1 \left(1 - \frac{\varnothing_0}{f_1 N} \right). \quad (1)$$

Аналогічно при дії сили $\bar{\varnothing}$ перпендикулярно площині:

$$f_1^{(1)} = f_1 \left(1 - \frac{\varnothing_0}{N} \right). \quad (2)$$

Якщо сила $\bar{\varnothing}$ паралельна площині і спрямована перпендикулярно силі \bar{S} , тоді:



$$f_1^{(*)} = f_1 \sqrt{1 - \left(\frac{\varnothing_0}{f_1 N}\right)^2} \quad (3)$$

Оскільки $(f_1^{(*)}, f_1^{(1)}, f_1^{(*)}) > 0$, то для $0 < \frac{\varnothing_0}{f_1 N} < 1$ найменшого значення набуває перший коефіцієнт $f_1^{(*)}$ (1).

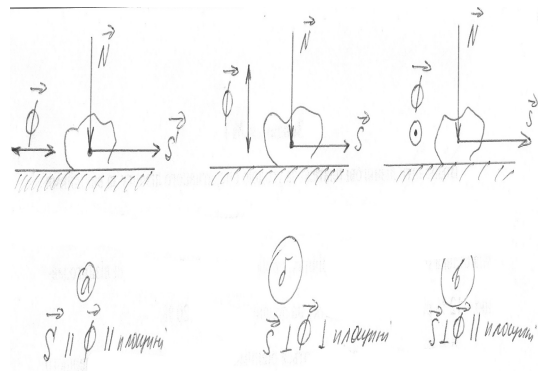


Рис. 1.

Коли сила $\bar{\varnothing}$ відсутня, але сама площина здійснює гармонічні коливання у відповідних напрямках, величину \varnothing_0 у формулах (1) – (3) слід замінити величиною $m A \omega^2$, де m - маса тіла; A - амплітуда; ω - кругова частота вібрації. Зрозуміло, що ці формули мають сенс до ти пір, поки ефективні коефіцієнти тертя $f_1^{(*)}, f_1^{(1)}, f_1^{(*)}$ додатні; більшим значенням \varnothing_0 (або $m A \omega^2$) відповідають нульові значення вказаних коефіцієнтів.

Рух часточки твердих мінеральних добрив вдовж похилої шорсткої поверхні, яка здійснює поступальні прямолінійні гармонічні коливання паралельно площині найбільшого скочування.

Будемо розглядати часточку мінеральних добрив як матеріальну точку [7] (плоску неперекидну часточку), що рухається по шорсткій похилій площині, яка коливається (рис.2). Кут нахилу коливної площини до горизонту – α ; кут нахилу траєкторії коливань площини – β ; амплітуда прямолінійних гармонічних коливань площини – A ; кругова частота коливань площини – ω ; маса часточки твердих мінеральних добрив – m ; прискорення

вільного падіння – g ; площа здійснює прямолінійні гармонічні коливання у вертикальній площині по закону – $A \sin \omega t$; t – час; коефіцієнт тертя ковзання часточки вповдовж площини – f ; коефіцієнт тертя спокою часточки, яка лежить на площині – f_1 ; кут тертя ковзання часточки вповдовж площини $\varphi = \arctg f$; кут тертя спокою часточки, котра лежить на площині $\varphi_1 = \arctg f_1$. Прямолінійні гармонічні коливання площини співпадають з площиною її найбільшого скочування.

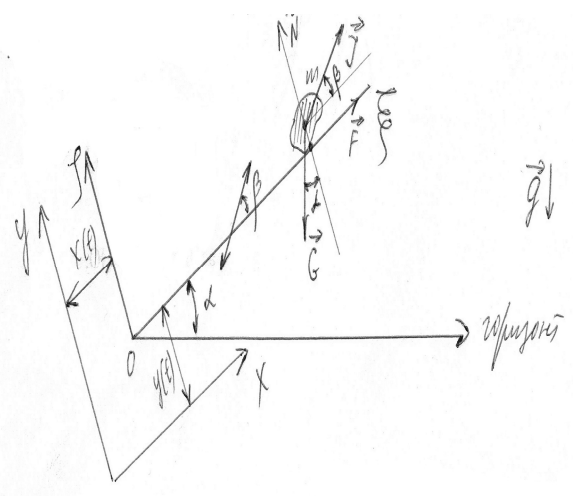
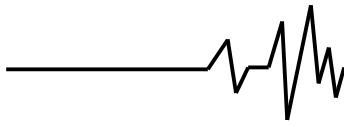


Рис. 2. До визначення параметрів переміщення часточки твердих мінеральних добрив, яка не перекидається вповдовж похилої площини, площина коливань котрої співпадає з площиною найбільшого скочування

До визначення параметрів переміщення часточки твердих міндобрив, яка не перекидається, вповдовж похилої площини, площина коливань котрої співпадає з площиною найбільшого скочування.

Приймаємо наступні системи координат: $O_1 x y$ - нерухома система координат; $O \xi \zeta$ - рухома система координат, яка нерозривно зв'язана з робочим органом (площиною).

У проміжках часу безвідривного відносного руху на часточку твердих міндобрив діють наступні сили: G - сила тяжіння; \bar{N} - нормальна реакція опори; \bar{F} - сила (сухого/кулонівського) тертя; \bar{I} - сила інерції переносного руху. Оскільки, переносний рух лише поступальний, то коріолісова сила інерції поворотного руху відсутня (дорівнює нулю).



Рівняння відносного руху часточки у проєкціях на вісі рухомої системи координат записуємо у такому виді:

$$m\ddot{\xi} = G_{\xi} + F + I_{\xi}; \quad (4)$$

$$m\ddot{\zeta} = G_{\zeta} + N + I_{\zeta}, \quad (5)$$

де прийняті наступні позначення: G_{ξ} , G_{ζ} - проєкції сили тяжіння на вісі рухомої системи координат:

$$\begin{cases} G_{\xi} = -G \sin \alpha = -mg \sin \alpha, \\ G_{\zeta} = -G \cos \alpha = -mg \cos \alpha; \end{cases} \quad (6)$$

I_{ξ} , I_{ζ} - проєкції переносної сили інерції на вісі рухомої системи координат:

$$\begin{cases} I_{\xi} = -m\ddot{x} = -m(A \cos \beta \sin \omega t)^{**} = mA\omega^2 \cos \beta \sin \omega t; \\ I_{\zeta} = -m\ddot{y} = -m(A \sin \beta \sin \omega t)^{**} = mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t. \end{cases} \quad (7)$$

Із врахуванням (6) та (7) диференціальні рівняння (4) та (5) можна записати у такому вигляді:

$$m\ddot{\xi} = mA\omega^2 \sin \omega t \cos \beta - mg \sin \alpha + F; \quad (8)$$

$$m\ddot{\zeta} = mA\omega^2 \sin \omega t \sin \beta - mg \cos \alpha + N. \quad (9)$$

При русі часточки твердих мінеральних добрив без відриву від віброуючої площини $\dot{\xi} \neq 0, \zeta \equiv 0$, а сила сухого тертя визначається співвідношеннями:

$$F = \begin{cases} -fN\dot{\xi} > 0 \\ +fN\dot{\xi} < 0, \end{cases} \quad (10)$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання.

Нормальна реакція N у цьому випадку визначається з (9) за формулою:

$$N(t) = mg \cos \alpha - mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t. \quad (11)$$

Для безвідривного режиму руху реакція $N(t)$ повинна бути додатною протягом усього періоду коливань площини, у т.ч. тоді, коли другий член правої частини приймає максимальне значення: $\omega t = \frac{\pi}{2}$, а $\sin \omega t = 1$.

Тоді умовою безвідривного руху твердих часточок мінеральних добрив віброуючої похилої площини буде нерівність:

$$N(t) > 0, \quad (12)$$

або із врахуванням (11) можна записати останню умову так:

$$W = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g \cos \alpha} \leq 1. \quad (13)$$

Параметр W , який дорівнює відношенню амплітуди поперечної складової переносної сили інерції $mA\omega^2 \sin \beta$ до поперечної складової сили тяжіння $mg \cos \alpha$, називають (6) параметром перевантаження.

При відносному спокої часточки твердих мінеральних добрив на поверхні ($\xi = 0, \zeta = 0$) сила сухого тертя $F = F^{(0)}$ не визначається з (10), а знаходиться (8):

$$F^{(0)} = F^{(0)}(t) = mg \sin \alpha - mA\omega^2 \cos \beta \sin \omega t. \quad (14)$$

Стан відносного спокою при цьому зберігається до тих пір, поки виконується умова:

$$-f_1 N(t) < F^{(0)}(t) < f_1 N(t), \quad (15)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя спокою.

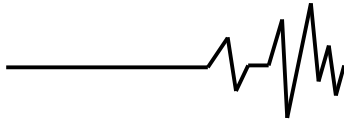
Підставляючи вираз для сили тертя (10) у рівняння (8), можна отримати рівняння переміщення часточки твердих мінеральних добрив вповодж площини ($\zeta \equiv 0$):

$$\ddot{\xi} = -g \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos \varphi} + A\omega^2 \frac{\cos(\beta \mp \varphi)}{\cos \varphi} \sin \omega t. \quad (16)$$

Верхні знаки у дужках рівняння (16) відповідають ковзанню «вперед» ($\xi > 0$), а нижні - «назад» ($\xi < 0$).

При виконанні умови (13) часточка твердих мінеральних добрив, яка опинилась на віброуючій площині з нульовою поперечною складовою швидкості ($\dot{\zeta} = 0$), у подальшому залишається на площині $\zeta = 0$.

Висновки. В результаті проведених досліджень визначені ефективні коефіцієнти тертя мінеральних добрив по похилій поверхні бункера при дії на нього гармонічних коливань у різних напрямках (окремо, паралельно та перпендикулярно площині переміщення, а також сумісної дії в цих напрямках). Встановлені умови руху частинки твердих мінеральних добрив вздовж похилої шорсткої поверхні, яка здійснює поступальні прямолінійні



гармонійні коливання паралельно площині найбільшого скочування.

Література

1. Конусний дводисковий розкидач твердих мінеральних добрив. Патент на корисну модель № 37497 А 01 С 15/00.

Автори: Дитюк А.І., Ловейкін В.С., Сердюченко Ю.Ю., опубл. 25.11.2008 р. – Бюл. №5.

2. Блехман И.И. Действие вибрации на механические системы// Вибротехника. – Вильнюс: Минтис, 1973. – № 3(20). – С.369 – 374/

3. Блехман И.И., Гортинский В.В., Птушкина Г.Б. Движение частицы в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения (К теории вибрационного разделения сыпучих смесей)//

Известия АН СССР. Серия «Общетехнические науки». – 1973. – № 4. – С. 31 –41.

4. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 412 с.

5. Блехман И.И., Моласян С.А. Об эффективных коэффициентах трения при взаимодействии упругого тела с вибрирующей плоскостью// Известия АН СССР. Серия «Механика твёрдого тела». – 1970. – № 4. – С. 4 – 10.

6. Липовский М.И. Об одном виде вибрационного перемещения сыпучей среды// Известия АН СССР. Серия «Механика твёрдого тела». – 1969. – № 3. – С. 3 – 9.

7. Заика П.М. Вибрационное перемещение твёрдых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. – Киев: Изд-во УСХА, 1998. – 626 с.