

В статье предложена многомассовая математическая модель для определения динамических нагрузок в приводе и тяговом органе скребкового конвейера. Определено влияние диссипативных сил на характер колебаний, которые возникают в тяговом органе конвейера. Результаты теоретического исследования динамики движения скребкового конвейера представлено в виде графических зависимостей.

Многомассовая математическая модель, динамическая модель, коэффициент диссипации, динамические нагрузки, дифференциальное уравнение движения.

In paper multimass mathematical model for definition of dynamic loadings in drive and traction body of scraper conveyor is offered. Influence of dissipative forces on character of fluctuations which arise in traction body of conveyor is defined. Results of theoretical research of dynamics of movement of scraper conveyor are presented in form of graphic dependences.

Multimass mathematical model, dynamic model, dissipation factor, dynamic loads, differential equation of motion.

УДК 534.031

УТОЧНЕНИЙ КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ НАСІННЯ ВІБРАЦІЙНИМ ЛОТКОМ

**В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю.В. Човнюк, кандидат технічних наук
Н.В. Матухно, інженер**

Проведений всебічний кінематичний аналіз процесу подачі насіння вібраційним лотком, який використовується у механізмах точного землеробства. Отримані основні режимні параметри лотка: шлях та швидкість переміщення, прискорення, кут нахилу й число коливань.

Аналіз, вібрація, процес, подача, лоток.

Постановка проблеми. Дослідженнями встановлено, що застосування вібрації при висіві значно покращує поздовжнє розміщення насінин у бороні. Найпростішим механізмом для вібраційної подачі насінин є лоток, який здійснює поздовжні

коливання, кут між стінами котрої приблизно дорівнює 45° , а радіус дна дещо більший середнього розміру однієї зернини ($r = B + b \approx 3$ мм).

Відомо, що розвиток сучасного вітчизняного сільськогосподарського виробництва та підвищення якості продовольства пов'язані з комплексною механізацією й автоматизацією виробничих процесів на базі науково обґрунтованої системи машин (це стосується й точного землеробства). Підвищення продуктивності їх функціонування, зростаючи вимоги щодо точності роботи окремих вузлів та агрегатів вказаної техніки примушують проводити дослідження її основних кінематично-силових параметрів в уточненій постановці, оскільки тільки такий підхід дає змогу створювати вітчизняні машини для точного землеробства, котрі є конкурентоздатними на світових ринках сільськогосподарських машин.

Аналіз останніх досліджень. Кінематичний аналіз процесу подачі насіння вібраційним лотком здійснений у роботі [1] у спрощеній постановці. При цьому використані підходи щодо моделювання роботи подібних машин автора [2], які потім були узагальнені у [3]. Проте, на думку авторів даного дослідження, точність отриманих у [1] результатів вимагає свого підвищення, оскільки використання вібраційних лотків для подачі насіння у системах машин, які використовуються для потреб точного землеробства, базується на аналітичних розрахунках, заснованих на формулах і співвідношеннях, що відповідають високому класу точності. Саме такий підхід дозволить суттєво підвищити й ефективність функціонування самих вібраційних лотків у складі відповідних систем машин точного землеробства.

Мета досліджень полягає у встановленні основних кінематичних характеристик вібраційних лотків, які використовуються для подачі насіння у системах точного землеробства.

Результати досліджень. Загальне рівняння руху кінця лотка має наступний вигляд (рис.1) [1]:

$$x = l + r - \overline{oc} = l + r - r \cdot \cos\alpha - l \cdot \cos\beta. \quad (1)$$

При $l = \lambda \cdot r$ горизонтальне переміщення лотка:

$$x = r \cdot (\lambda + 1 - \cos\alpha - \lambda \cdot \cos\beta). \quad (2)$$

З $\triangle OVK$ й $\triangle VKC$ знаходимо, що $l \cdot \sin\beta = r \cdot \sin\alpha$, звідки:

$$\sin\beta = \frac{r}{l} \sin\alpha = \frac{1}{\lambda} \cdot \sin\alpha, \quad (3)$$

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2\beta} = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2\alpha} = \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2\alpha\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

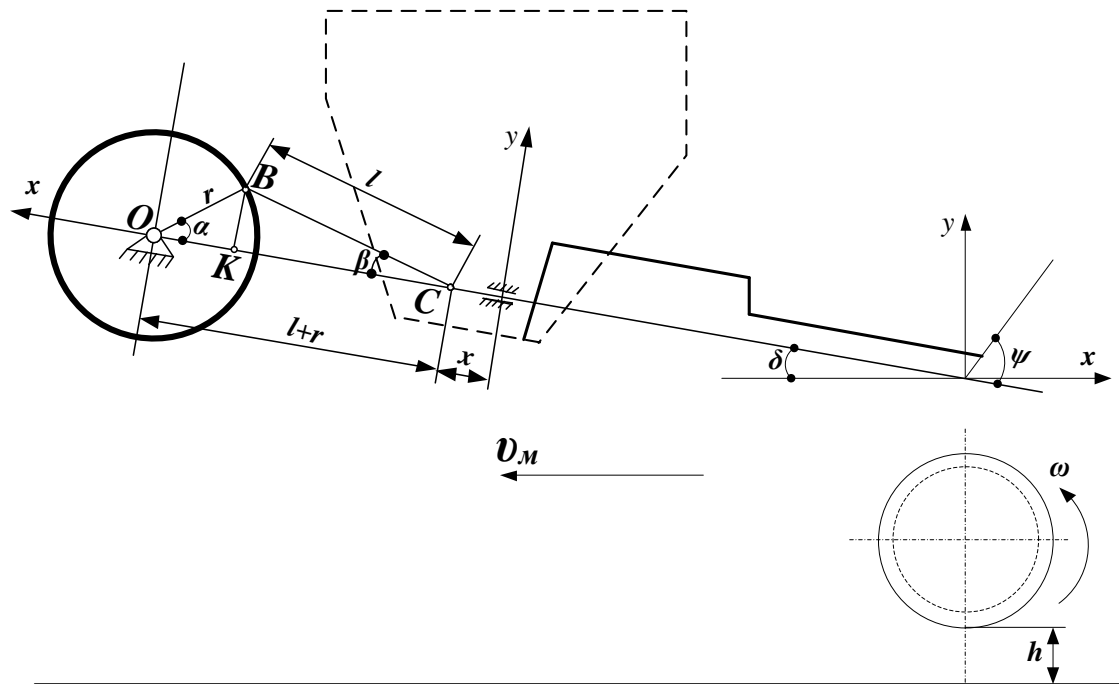


Рис. 1. Розрахункова схема вібраційного лотка.

Точний вираз для x набуває вигляду:

$$x = r \cdot \left(\lambda + 1 - \cos\alpha - \lambda \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \right). \quad (5)$$

Якщо покласти: $\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2\alpha \ll 1$, тоді з (5) отримаємо наближене значення x , наведене у роботі [1]:

$$x = r \cdot \left(1 - \cos\alpha + \frac{1}{4\lambda} - \frac{\cos 2\alpha}{4\lambda} \right). \quad (6)$$

Саме цей вираз автори [1] у подальшому використовують у своєму кінематичному аналізі функціонування вібраційного лотка для подачі насіння. Проте слід зазначити, що для опису систем точного землеробства й кінематичного аналізу їх функціонування не можна деяку функцію спочатку розкласти у ряд, а потім диференціювати. Необхідно виконати всі диференціювання точно, а потім лише отримані результати розкласти у ряди за певним, введеним у задачі малим параметром $\left(\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2\alpha \right)$ [3]. Саме цій процедурі й присвячений подальший аналіз даного дослідження.

Перша похідна переміщення лотка по часу t дає швидкість у довільній точці x_i :

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega r \cdot \left[\sin\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2\lambda \left[1 - \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2\alpha \right]^{\frac{1}{2}}} \right], \quad (7)$$

де ω – кутова швидкість ($\omega = const, [\omega] = \text{рад/с}$).

За умови $\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha \ll 1$ з (7) отримаємо:

$$\vartheta \approx \omega r \cdot \left[\sin \alpha + \frac{1}{2\lambda} \cdot \sin 2\alpha \right], \quad (8)$$

До речі, у роботі [1] допущена помилка, оскільки у другому члені стоїть знак «мінус».

Прискорення визначається диференціюванням виразу (7):

$$W = \frac{d\vartheta}{dt} = \omega^2 r \cdot \left[\cos \alpha + \frac{1}{2\lambda} \cdot \frac{\left\{ 2\cos 2\alpha \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2\lambda^2} \cdot \sin^2 2\alpha \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha\right)^{-\frac{1}{2}} \right\}}{\left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha\right)} \right]. \quad (9)$$

При $\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha \ll 1$ з (9) отримаємо:

$$W \approx \omega^2 r \cdot \left[\cos \alpha + \frac{1}{\lambda} \cdot \cos 2\alpha \right]. \quad (10)$$

Цей наближений результат отриманий у [1]. Проте, якщо вказане наближення отримувати більш послідовним шляхом, розкладаючи у ряд за малим параметром $\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha$ всі вирази (9), отримаємо:

$$W \approx \omega^2 r \cdot \left(\cos \alpha + \frac{1}{2\lambda} \cdot \left[2\cos 2\alpha + \frac{1}{2\lambda^2} \cdot \sin^2 2\alpha \right] \right). \quad (11)$$

Екстремальне значення швидкості вібраційного лотка можна знайти, як у [1], прирівнюючи до нуля вираз у круглих дужках формули (11). Тоді отримаємо:

$$\cos \alpha + \frac{1}{\lambda} \cdot \cos 2\alpha + \frac{1}{4\lambda^3} \cdot \sin^2 2\alpha = 0. \quad (12)$$

За умови $\frac{1}{\lambda^2} \cdot \sin^2 \alpha \ll 1$ з (12) отримаємо рівняння, яке наведене у [1]:

$$\cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{1}{2} = 0. \quad (13)$$

$$\text{Розв'язок цього рівняння має вид: } \cos \alpha = \frac{-\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 + 8}}{4}. \quad (14)$$

Для гострих кутів α ($\alpha \in [0; \frac{\pi}{2}]$) обираємо корінь зі знаком «+» у

$$(14). \text{ Тоді: } \alpha = \arccos \left\{ \frac{\sqrt{\lambda^2 + 8} - \lambda}{4} \right\}. \quad (15)$$

Зазначимо, що $\alpha > 2\varphi$, де φ – кут тертя зернини зі стінками й дном лотка. Знаючи α з (15) й підставляючи його у співвідношення (8), знайдемо швидкість ϑ_{max} :

$$\begin{aligned} \vartheta_{max} &\approx \left[\sin \alpha + \frac{1}{2\lambda} \cdot \sin 2\alpha \right] = \omega r \cdot \left\{ \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} + \frac{1}{2\lambda} \cdot 2\sin \alpha \cdot \cos \alpha \right\} = \\ &= \omega r \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \cdot \left[1 + \frac{\cos \alpha}{\lambda} \right] = \end{aligned}$$

$$= \omega r \left\{ 1 - \frac{(\sqrt{\lambda^2 + 8} - \lambda)^2}{16} \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 + \frac{(\sqrt{\lambda^2 + 8} - \lambda)}{4\lambda} \right]. \quad (16)$$

Слід зазначити, що асимптотичні значення α при зміні λ набувають наступних величин:

$$\begin{cases} \alpha \rightarrow \frac{\pi}{2} (90^\circ), & \text{при } \lambda \rightarrow \infty; \\ \alpha \rightarrow \frac{\pi}{4} (45^\circ), & \text{при } \lambda \rightarrow 0; \end{cases} \quad (17)$$

Вираз для ϑ (8) можна подати у наступному вигляді:

$$\vartheta \approx \omega r \cdot \sin\beta \cdot \left[\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 + 8} - \lambda}{4} \right]. \quad (18)$$

Звідси випливає, що ϑ_{max} досягається за $\beta = 90^\circ \left(\frac{\pi}{2}\right)$, тобто при куті між кривошипом й шатуном вібратора біля 90° (вираз (18) наближений). Крім того, ϑ залежить від λ .

Максимальні значення x набуває при $\alpha = \frac{\pi}{2} (90^\circ)$:

$$x_{max} = r \cdot \left(1 + \frac{1}{2\lambda} \right). \quad (19)$$

На рис. 2 показані графіки зміни переміщень, швидкостей та прискорень вібраційного лотка. Якщо переміщення лотка за кута повороту кривошипа $\alpha_2 - \alpha_1$ дорівнює розміру зернини, тоді всі насінини, отримують однаковий імпульс сили, що сприяє утворенню рівномірного потоку на лотку. Якщо переміщення x лотка більше розміру зернин, тоді у межах кута α насінини отримують різні швидкості й прискорення, що порушує режим потоку. Отже, необхідно притримуватись умови:

$$\frac{d}{x} \geq 1, \quad (20)$$

де d – діаметр зернини.

Звідси випливає обов'язковість функціонування лотка у певних швидкісному й частотному режимах. Якщо при заданих нормі висіву й швидкості ходу агрегату необхідно висівати n насінин у секунду, а переміщення зернини розміром d необхідне число коливань $\theta' = \frac{d}{x}$, тоді загальне число коливань віброкотка складає:

$$\theta = n \cdot \theta' = \frac{n \cdot d}{x}. \quad (21)$$

З нерівності (20) із врахуванням (21) випливає, що:

$$\theta \geq n, \quad (22)$$

Тобто число коливань вібратора завжди повинно бути більше, чи дорівнювати частоті падіння зернин у лунку чи безпосередньо борону.

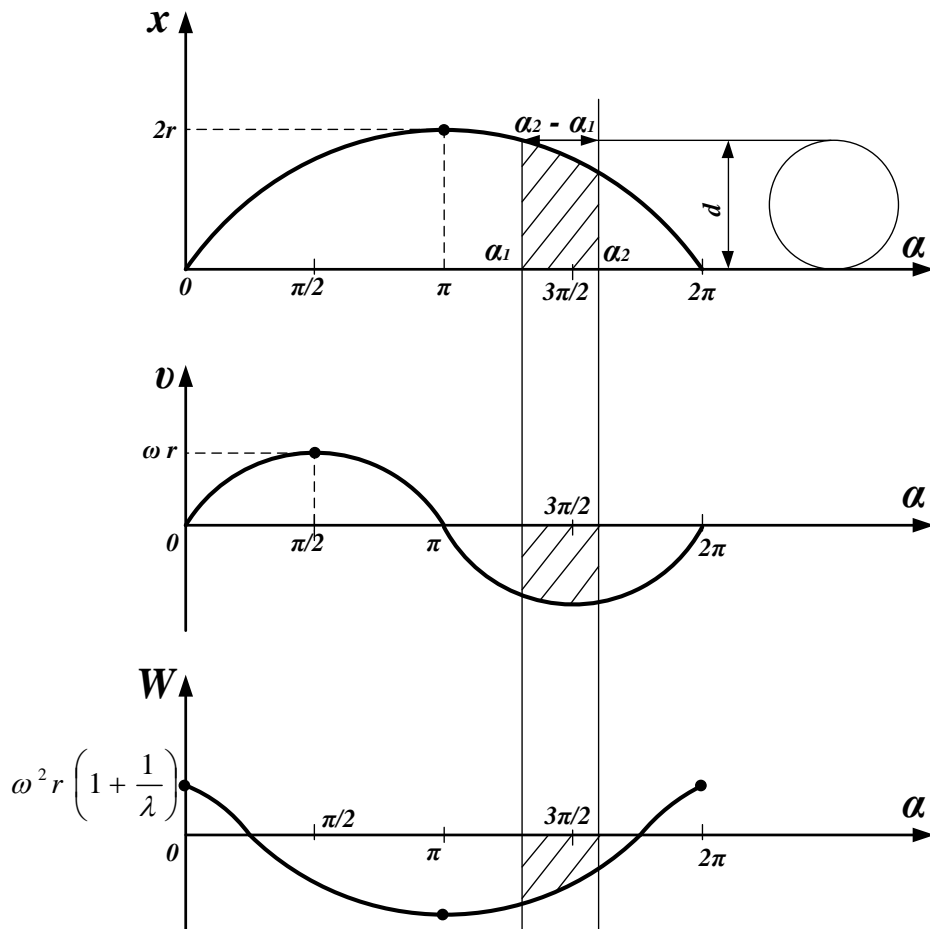


Рис. 2. Графіки зміни переміщення швидкості й прискорення вібраційного лотка.

Висновки

1. Вібраційний лоток, встановлений під певним кутом, який реалізує поздовжні коливання, може створювати режим подачі насінин у порядку черговості, з рівними інтервалами, що дозволяє суттєво покращити поздовжню рівномірність висіву. Доцільно для створення такого режиму функціонування лотка використовувати кроковий двигун.

2. Отримані уточнені залежності, які дозволяють визначити режимні параметри лотка: швидкість, шлях переміщення, прискорення, кут нахилу й число коливань.

3. Результати даного дослідження можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку подібних систем, що використовуються у точному землеробстві, як на стадії їх проектування, так і у режимах реальної експлуатації.

Список літератури

1. Белая А.Е. Подача семян вибрационным лотком. / А.Е. Белая, В.Я. Котельников, А.Н. Семенов // Конструирование сельскохозяйственных машин. – 1977. – №7. – С. 22–25.

2. Рагульскис К.М. Механизмы на вибрирующем основании / К.М. Рагульскис. – Каунас: Изд-во Ин-та энергетике и электротехники АН Лит ССР. – 1963. – 232 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979. – Т.2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. – 1979. – 351 с.

Проведен всесторонний кинематический анализ процесса подачи семян вибрационным лотком, который используется в механизмах точного земледелия. Получены основные режимные параметры лотка: путь и скорость перемещения, ускорение, угол наклона и число колебаний.

Анализ, вибрация, процесс, подача, лоток.

Kinematic analysis of comprehensive process of seed supply vibratory tray that is used in mechanisms of precision farming. The basic operational parameters tray: path and speed of movement, acceleration, angle and number of oscillations.

Analys, vibration, process, supply, tray.

УДК 631. 362

КІНЕМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РУХУ ПРОШАРКУ ЗЕРНА НА ПЛОСКІЙ ПОХИЛІЙ ПОВЕРХНІ САМОСКІДНОГО ВІБРО-БУНКЕРА КОМБАЙНА

**В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю.В. Човнюк, кандидат технічних наук
Л.С. Шимко, магістр**

Отриманні аналітичні залежності для розрахунку основних кінематичних параметрів руху прошарку зерна вдовж поверхні (платої та похилої) самоскидного вібраційного бункера зернозбирального комбайна.

Зерно, рух, похиле площина, вібро-бункер, комбайн.

Постановка проблеми. Розрахунок та вибір раціональних режимів руху зерна зі самоскидного бункера комбайна призводить до зменшення пошкодження зерна та підвищення продуктивності збирання зернових в цілому. Існують досить розвинені математичні моделі, які описують рух окремої зернини на віброючій поверхні без врахування впливу на неї сусідніх зернонок. Обчислені за такою