

УДК 631.354:633.1

**С.М. Кухарець, доц., д-р техн. наук, А.А. Пінкін, доц., канд. техн. наук, Я.Д. Ярош, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м.Житомир, Україна,  
E-mail: Kotov\_Kalinichenko*

## Рух сільськогосподарських матеріалів нахиленою робочою поверхнею

В статті знайдено рівняння руху частинки сільськогосподарського матеріалу нахиленою робочою поверхнею із врахуванням коефіцієнтів опору, що відчуває частинка при русі. Подальші дослідження необхідно спрямувати на встановлення коефіцієнту опору для різних видів сільськогосподарських матеріалів та обґрунтування динаміки зміни коефіцієнту тертя експериментальним чи теоретичним шляхом.

**частинка, сировина, рух, тертя, опір, поверхня**

**С.Н. Кухарец, доц., д-р техн. наук, А.А. Пинкин, доц., канд. техн. наук, Я.Д. Ярош, доц., канд. техн. наук**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина*

**Движение сельскохозяйственных материалов по наклонной рабочей поверхности**

В статье найдено уравнение движения частицы сельскохозяйственного материала по наклоненной рабочей поверхности с учетом коэффициентов сопротивления частице при движении. Дальнейшие исследования необходимо направить на установку коэффициента сопротивления для различных видов сельскохозяйственных материалов и обоснование динамики изменения коэффициента трения экспериментальным или теоретическим путем.

**частица, сырье, движение, трение, сопротивление, поверхность**

**Постановка проблеми.** Ефективність функціонування аграрного виробництва в сучасних умовах залежить від якісного та енергоефективного функціонування відповідних машин, ліній та іншого обладнання. А математичні моделі руху частинок сільськогосподарської сировини (наприклад зернівок) робочими поверхнями відіграють важливу роль у проектуванні та визначенні параметрів робочого процесу багатьох сільськогосподарських машин [1,2,3,4,5].

Тому, формалізація процесів механічного руху сільськогосподарських матеріалів робочими поверхнями є важливим фактором, як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових.

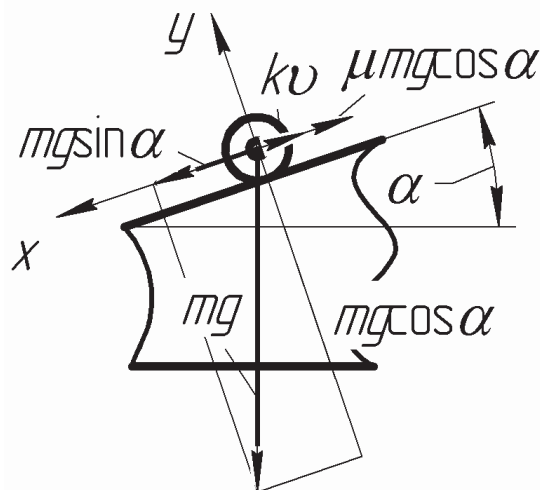
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі дослідження, що обґрунтовують ефективність внесення туків [6,7] де обґрунтовується характер розсіювання гранульованих добрив робочими органами відповідних машин. Важливу роль на характер розсіювання має взаємодія частинок добрив із тукопроводами та іншими робочими поверхнями. Відомі, також результати досліджень процесів дозування і живлення пневмовідцентрових і вібровідцентрових решітних робочих органів сепараторів зерна з вертикальним розміщенням осей обертання [8] де обґрунтовано процес ефективного живлення і конструкційну схему дозуючо-живильного пристрою. В дослідження [9] вказано що опір при зачерпуванні зерна ківшами приводить до виникнення випадкових навантажень при роботі норій. В роботі [10] зазначено, що важливу роль в травмуванні насіння зернових культур грає характер його руху робочими поверхнями.

© С.М. Кухарець, А.А. Пінкін, Я.Д. Ярош, 2016

Проаналізовані дослідження [1-10] свідчать про складність встановлення характеру адекватної взаємодії між частинками сільськогосподарської сировини при русі робочими поверхнями сільськогосподарських машин через неоднорідність самого матеріалу та постійну зміну фізико-технологічних параметрів сировини.

**Постановка завдання.** З огляду на аналіз попередніх досліджень, необхідно знайти рівняння руху частинки сільськогосподарської сировини нахиленою робочою поверхнею із врахуванням коефіцієнтів опору, що відчуває частинка при русі.

**Виклад основного матеріалу.** З урахуванням сили тяжіння та сил опору, які діють на частинку сільськогосподарської сировини, що рухається похилою поверхнею (рис. 1) рівняння руху можна записати так:



$m$  – маса частинки, кг;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні, град;  $g$  – прискорення земного тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;  
 $\mu$  – коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею, відн. од.;  $k$  – коефіцієнт опору, що відчуває частинка,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}$ ;  $v$  – швидкість руху частинки похилою поверхнею,  $\text{м/с}$

Рисунок 1 – Схема сил, які діють на частинку сільськогосподарської сировини що рухається похилою поверхнею

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - kv; \quad (1)$$

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - kv, \quad (2)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;  
 $\alpha$  – кут нахилу поверхні сушіння, град;  
 $g$  – прискорення земного тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;  
 $t$  – час руху частинки похилою поверхнею, с;  
 $v$  – швидкість руху частинки похилою поверхнею,  $\text{м/с}$ ;  
 $x$  – відстань, що проходить частинка похилою поверхнею, м;  
 $\mu$  – коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею, відн. од.;  
 $k$  – коефіцієнт опору, що відчуває частинка,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}$ .

Приймемо, що  $\beta = \frac{k}{m}$ , тоді рівняння (2) набуде вигляду:

$$\frac{dv}{dt} + \beta v + g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = 0. \quad (3)$$

Представимо  $\mu^* = (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ , тоді рівняння (3) буде таким:

$$\frac{dv}{dt} = g\mu^* - \beta v; \quad (4)$$

$$\frac{dv}{dt} = \beta \left( \frac{g\mu^*}{\beta} - v \right). \quad (5)$$

Розмірність величини  $\frac{g\mu^*}{\beta}$  – м/с, тому  $v_1 = \frac{g\mu^*}{\beta}$ , тоді рівняння (5) матиме вигляд:

$$\frac{dv}{dt} = \beta(v_1 - v). \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) такий:

$$v(t) = v_1 + (v_0 - v_1)e^{-\beta t}, \quad (7)$$

або

$$\frac{dx}{dt} = v_1 + (v_0 - v_1)e^{-\beta t}. \quad (8)$$

Інтегруючи рівняння (8), отримаємо шлях частинки сільськогосподарської сировини в залежності від часу:

$$x = v_1 t + \frac{v_0 - v_1}{\beta} (1 - e^{-\beta t}). \quad (9)$$

Представимо  $v_1 = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k}$ , та отримаємо:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} + \left( v_0 - \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} \right) e^{-\frac{kt}{m}}; \quad (10)$$

$$x = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} t + \left( \frac{mv_0}{k} - m^2 g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \right) \left( 1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right). \quad (11)$$

Слід зазначити, наприклад, що при сушінні сільськогосподарської сировини коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею сушіння  $\mu$  залежить від вологості

сировини і в процесі сушіння змінюється. Коефіцієнт опору  $k$ , обумовлений взаємодією між частинками може бути знайдений експериментально.

Виконаємо графічну інтерпретацію рівнянь (10) та (11) для зерна пшениці масою зернини  $m=40 \cdot 10^{-6}$  кг та значенні коефіцієнту опору  $k=2 \cdot 10^{-4}$  Н·с/м (рис. 2).

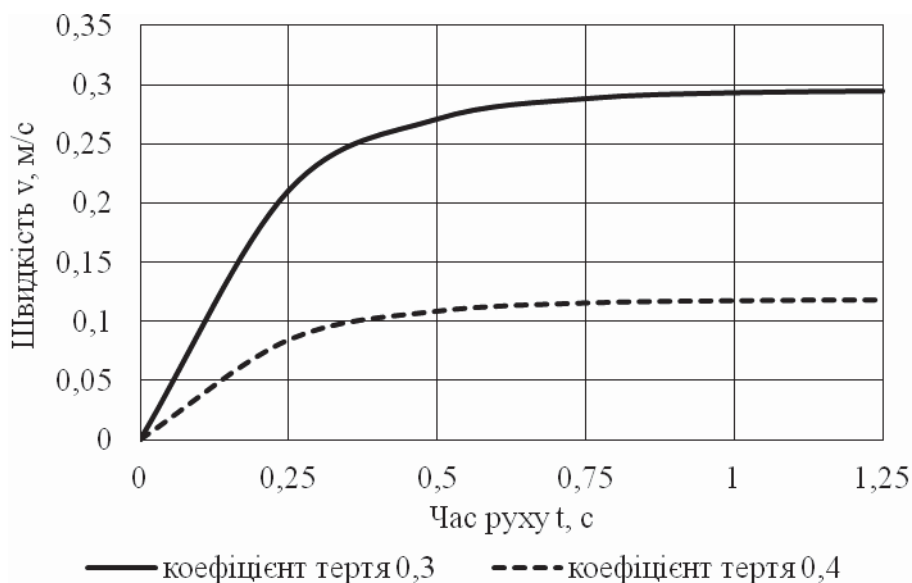


Рисунок 2 – Динаміка швидкості при різних значення коефіцієнту тертя  $\mu$

Та для зерна пшениці масою зернини  $m=40 \cdot 10^{-6}$  кг та значенні коефіцієнту тертя  $\mu=0,03$  відн. од. (рис. 3).

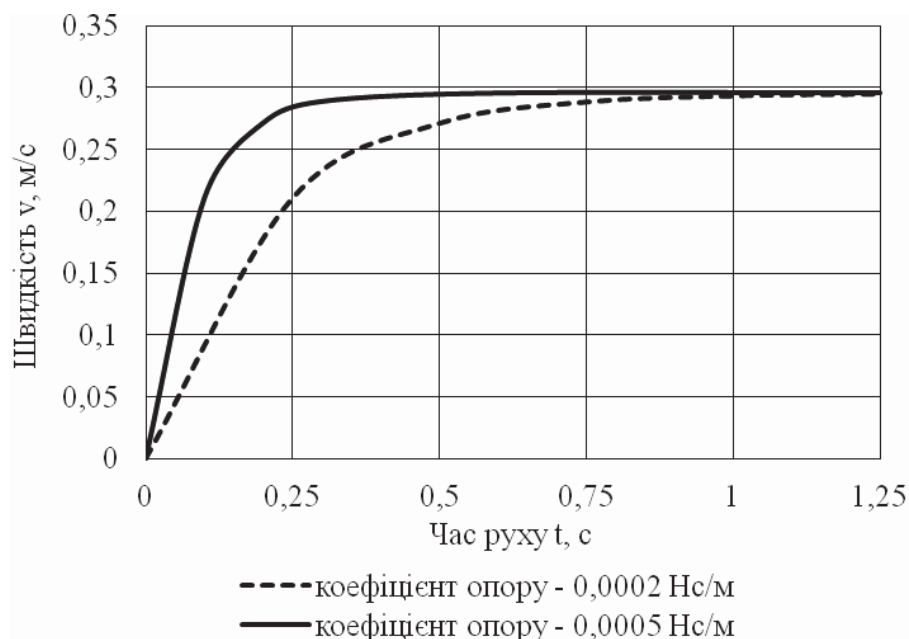


Рисунок 3 – Динаміка швидкості при різних значення коефіцієнту опору  $k$

Очевидним є вплив коефіцієнту тертя на зміну швидкості руху зернівок, та вплив коефіцієнту опору на швидкість набуття усталеного руху зернівок.

**Висновки.** Значний вплив на характер руху сільськогосподарських матеріалів робочими поверхнями має коефіцієнт опору, коефіцієнт тертя між поверхнею та частинкою, який може динамічно змінюватись, наприклад при русі поверхнями сушіння та форма самої поверхні. Тому, подальші дослідження необхідно спрямувати на встановлення коефіцієнту опору для різних видів сільськогосподарських матеріалів та обґрунтування динаміки зміни коефіцієнту тертя експериментальним чи теоретичним шляхом.

## Список літератури

1. Голуб Г.А. Управління технологічними процесами у тваринництві: навч. посіб. [Текст] / Г.А. Голуб – К., НУБіП України, 2016. – 148 с.
2. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво істівних грибів. Механіко-технологічні основи [Текст] / Г.А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник [Текст] / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.; іл.
4. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння [Текст] / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень. – К.: Фенікс, 2007. – 384 с.
5. Кухарець С.М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи : монографія [Текст] / С.М. Кухарець. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – 192 с.
6. Оцінка ефективності внесення туків підґрунтовим способом під ярий ячмінь [Текст] / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський [та ін.] // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 224-229.
7. Дейкун В.А. Експериментальні дослідження процесу розсіювання туків конічним робочим органом [Текст] / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КДТУ, 2004. – Вип. 34 (1). – С. 96-101.
8. Прилуцький А.Н. Обґрунтування процесу ефективного живлення і конструкційної схеми дозуючо-живильного пристрою зерноочисного модуля універсальних пневмовібровідцентрових сепараторів зерна [Текст] / А.Н. Прилуцький // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 48-54.
9. Минайленко Р.М. Причини виникнення випадкових навантажень в процесі переміщення зерна стрічковою ковшовою зерновою норією [Текст] / Р.М. Минайленко, С.В. Михайлов // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 243-247.
10. Дерев'янку В.А. Вплив травмування на міцність насіння зернових культур [Текст] / В.А. Дерев'янку // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 7-12.

**Savelii Kukharets, Assoc. Prof., DSc., Anatolii Pinkin, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Yaroslav Yarosh, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

### **The movement of agricultural materials on an inclined working surface**

The paper found the equation of motion of agricultural material particles on the inclined working surface, taking into account the resistance coefficient of the particle raw material in motion.

Mathematical models of the movement of agricultural raw materials particles play an important role in the design and specific parameters of the working process of many agricultural machines. The equations of motion of agricultural materials worktops are needed as in the operation of the existing machines as well as in the design of new ones. Equations are tailored to gravity and drag forces acting on the particle.

Further research should be directed to the installation of the drag coefficient for different types of agricultural materials and study the dynamics of change in friction coefficient experimentally or theoretically.

**particle feed movement, friction resistance, surface**

Одержано 11.11.16