УДК 631.31.311.001

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ ҐРУНТУ ЗМІННОЇ МАСИ ЗА ПРЯМОЛІНІЙНИМ ЛЕЗОМ РОБОЧОГО ОРГАНУ

Швайко В. Н., к. ф.-м. н., Гурідова В. О., старший викладач

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна

guridova@ukr.net

Досліджується загальний випадок руху матеріальної частинки ґрунту змінної маси за прямолінійним лезом робочого органу, який прямолінійно переміщується в ґрунті зі швидкістю $V_p(t)$. Враховуючи зсув ґрунту в бічному напрямку, прописані диференціальні рівняння руху частинки в залежності від кута нахилу леза, на підставі чого отримана залежність зміни маси частинки від швидкості робочого органу та швидкості матеріальної точки по його лезу. Доведено наростання маси частинки ґрунту при зменшенні її швидкості, і навпаки, що відбувається в дійсності і безпосередньо пов'язано з явищем кришення ґрунту. Знайдено обмеження на кут нахилу леза робочого органу, за якого можливий рух точки по лезу. Підібрані співвідношення параметрів досліджуваного процесу руху частинки ґрунту вздовж леза, при яких маса матеріальної точки може як збільшуватися, що пояснюється ефектом «прилипання», так і зменшуватися.

Ключові слова: частинка, змінна маса, модель, кришення ґрунту.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ГРУНТА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОМУ ЛЕЗВИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА

Швайко В. Н., к. ф.-м. н., Гуридова В. А., старший преподаватель

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина

guridova@ukr.net

Исследуется общий случай движения материальной частицы почвы переменной массы по прямолинейному лезвию рабочего органа, который прямолинейно перемещается в почве со скоростью $V_p(t)$. Учитывая смещение почвы в боковом направлении, прописаны дифференциальные уравнения движения частицы в зависимости от угла наклона лезвия, на основании чего получена зависимость изменения массы частицы от скорости рабочего органа. Доказано нарастание массы частицы почвы при уменьшении ее скорости, и наоборот, что происходит в действительности и непосредственно связано с явлением крошения грунта. Найдено ограничения на угол наклона лезвия рабочего органа, при котором возможно движение точки по лезвию. Подобраны соотношения параметров исследуемого процесса движения частицы почвы вдоль лезвия, при которых масса материальной точки может как увеличиваться, что объясняется эффектом «прилипание», так и уменьшаться.

Ключевые слова: частица, переменная масса, модель, крошение грунта.

MODELING THE MOTION OF A SOIL PARTICLE WITH A VARIABLE MASS ON THE RECTILINEAR BLADE OF THE WORKING BODY

Shvayko V. N., Guridova V. O.

Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov str., 25, Dnipro, Ukraine

guridova@ukr.net

A very important issue for agricultural mechanics is the question of the motion of a particle in the environment. This question arises, for example, when considering the movement of soil along the blade of cultivator paws. The soil particle, which is formed after loosening, interacts with the blade of the working member. At the same time, it begins to move under the influence of the environment, which is also ground particles, which, after loosening the soil, begin to interact with this particle. The interaction of a particle of soil and the environment leads to a change in the mass of the particle. The equation of motion of a point with variable mass is equation I.V. Meshcherskiy.

The general case of the motion of a material particle of soil of variable mass along a rectilinear cutting edge of a working organ is investigated, which moves rectilinearly in the soil at a speed $V_p(t)$. Taking into account the displacement of the soil in the lateral direction, the differential equations of the particle motion are registered as a function of the angle of the blade, on the basis of which the dependence of the change in the mass of the particle on the velocity of the working member is obtained. It is mathematically proven that the mass of the soil particle increases with decreasing its velocity, and vice versa, what actually happens and is directly related to the phenomenon of crumbling of the soil. Limits are found on the angle of inclination of the blade of the working member, in which the point can move along the blade. The ratios of the parameters of the process of motion of the soil particle along the blade are selected, under which the mass of the material point can both increase, which is due to the sticking effect and to decrease.
Numerical analysis of the motion characteristics of a material point, carried out for specific conditions, confirms the necessity of using this mathematical model and its further improvement.
Key words: particle of soil, variable mass, model, crumbling of soil.

Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень достатньо повно подані в роботі [1]. Зазначимо, що це одна з перших робіт з дослідження руху змінної частинки ґрунту у робочому органі. У нашій роботі до факторів, що впливають на зміну маси матеріальної частинки, додаємо вплив бічного зміщення ґрунту (явище кришення ґрунту).

Метою дослідження є вдосконалення механічної та відповідної математичної моделі [1] для більш точного дослідження руху матеріальної частинки ґрунту змінної маси вздовж леза робочого органу. Моделювання функції зміни маси матеріальної точки від різних параметрів, ураховуючи бічну складову динамічного навантаження.

Результати досліджень. Дуже важливим питанням для землеробської механіки є питання про рух частинки в навколишньому середовищі. Це питання виникає, наприклад, при аналізі руху ґрунту по лезу культиваторних лап. Частинка ґрунту, яка утворюється після розпушування, взаємодіє з лезом робочого органу. При цьому вона починає рух під дією навколишнього середовища, яке також є ґрунтовими частинками, які після розпушування починають взаємодіяти з цієї частинкою. Взаємодія частинки ґрунту і навколишнього середовища призводить до зміни маси частинки.

Розглянемо прямолінійний рух у ґрунті (у навколишньому середовищі) робочого органу трикутної форми (рис. 1) з довільно заданою від часу t функцією швидкості $V_p(t)$ при початковій умові $V_p(0)=0$.

Зазначимо, що прямолінійний рух s робочого органу трикутної форми викликає зсув ґрунту в бічному (перпендикулярному) напрямку $h = s\cdot tg\alpha$ (рис. 1). Останнє визначає загальний вид функцій впливу навколишнього середовища на матеріальну точку, які будуть уточнюватися під час розгляду частинних випадків руху та обґрунтованих спрощеннях, у припущенні їх обмеженості в діапазоні кутів $\alpha\in\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$.

У проекціях на координатні осі x і y (рис. 1) рух матеріальної точки змінної маси за прямолінійним лезом робочого органу, на підставі роботи [2] визначається системою диференціальних рівнянь

$$\left.\begin{aligned}
&m(t)\cdot W(t)=\left[P\cdot\Phi_{P1}(\alpha)+k_{V1}\cdot m_0\cdot V_p^2(t)\cdot\Phi_{V1}(\alpha)+k_{W1}\cdot m_0\cdot W_P(t)\cdot\Phi_{W1}(\alpha)\right]\cos\alpha-\\
&-\left[k_p\cdot P\cdot\Phi_{P2}(\alpha)+k_{V2}\cdot m_0\cdot V_p^2(t)\cdot tg\alpha\cdot\Phi_{V2}(\alpha)+k_{W2}\cdot m_0\cdot W_P(t)\cdot\Phi_{W2}(\alpha)\right]tg\alpha\sin\alpha-\\
&-f\cdot N\left(V_p(t),t,\alpha\right)+m'(t)\left[V_p(t)\cdot\cos\alpha-V_p(t)\cdot tg\alpha\cdot\sin\alpha-V(t)\right];\\
&0=-\left[P\cdot\Phi_{P1}(\alpha)+k_{V1}\cdot m_0\cdot V_p^2(t)\cdot\Phi_{V1}(\alpha)+k_{W1}\cdot m_0\cdot W_P(t)\cdot\Phi_{W1}(\alpha)\right]\sin\alpha-\\
&+\left[k_p\cdot P\cdot\Phi_{P2}(\alpha)+k_{V2}\cdot m_0\cdot V_p^2(t)\cdot tg\alpha\cdot\Phi_{V2}(\alpha)+k_{W2}\cdot m_0\cdot W_P(t)\cdot\Phi_{W2}(\alpha)\right]\sin\alpha-\\
&+N\left(V_p(t),t,\alpha\right)-2m'(t)\cdot V_p(t)\cdot\sin\alpha,
\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

де символ «$'$» означає першу похідну за часом t від функції, що розглядається; α [*град*] – кут нахилу прямолінійного леза до напрямку руху робочого органу; f – коефіцієнт тертя ковзання між частинкою та лезом; $W_P(t) = V_P'(t)$ [*м/с*^{2}] – прискорення робочого органу; $V(t)$ [*м/с*] – швидкість частинки ґрунту змінної маси вздовж леза; $W(t) = V'(t)$ [*м/с*^{2}] – прискорення матеріальної точки; $m(t)$ [*кг*] – поточна маса матеріальної точки, у початковий момент часу $m(0) = m_0$; $k_{V1}(\alpha)$, $k_{V2}(\alpha)$ [*м*$^{-1}$] і $k_{W1}(\alpha)$, $k_{W2}(\alpha)$ – коефіцієнти динамічного напору у взаємно перпендикулярних напрямках, що викликані швидкістю та прискоренням переміщення робочого органу в ґрунті; $P(\alpha)\cdot\Phi_{P1}(\alpha)$, $k_p(\alpha)\cdot P(\alpha)\cdot\Phi_{P2}(\alpha)\cdot tg\alpha$ [*Н*] – взаємно перпендикулярні сили (рис. 1), які викликані тиском деформованого ґрунту без руху робочого органу та переміщення вздовж його леза матеріальних частинок ($V_p = V = 0$). Цей початковий процес можна охарактеризувати як квазістатичний; $k_p(\alpha)$ – безрозмірний коефіцієнт; $N(V_p(t), t, \alpha)$ [*Н*] – нормальна сила реакції (рис. 1) з боку леза на матеріальну частинку змінної маси.

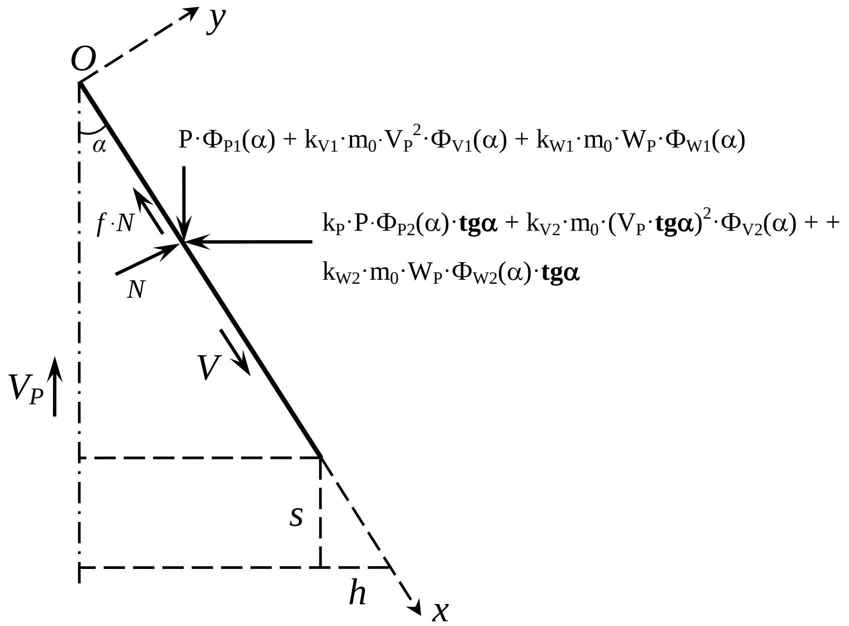


Рис. 1. Схема робочого органа трикутної форми та сил, що діють на матеріальну точку при її русі вздовж леза

Відзначимо, що коефіцієнти $k(\alpha)$ і уточнюючі функції $\Phi(\alpha)$ (без вказівки індексів) у загальному випадку залежать не тільки від кута α, але і від багатьох інших чинників (зокрема від функції швидкості робочого органу тощо) і вимагають більш детальних досліджень із залученням експериментальних даних.

У роботі [3] на підставі експериментів дійшли до висновку, що питомий тиск ґрунту на точки леза залежить від кута α, та отримали аналітичні залежності для деяких типів ґрунтів. У подальшому, в першому наближенні, будемо вважати, що $N(V_p(t), t, \alpha) = N(\alpha)$.

З метою спрощення викладок, функцію змінної маси частинки подамо у вигляді

$$m(t) = m_0 \cdot k_m(t), \tag{2}$$

де $k_m(t)$ – безрозмірний шуканий коефіцієнт, що характеризує зміну початкової маси з часом, $k_m(0) = k_{m0} = 1$.

Розглянемо частинний випадок відсутності руху ($V = V_p = 0$) матеріальної частинки вздовж леза робочого органу при $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Тоді, на підставі системи диференціальних рівнянь (1), яка перетворюється в умовах статики, отримаємо

$$\left.\begin{aligned} N\left(\frac{\pi}{2}\right) = \left[\Phi_{P1}\left(\frac{\pi}{2}\right) + k_p\left(\frac{\pi}{2}\right)\cdot\Phi_{P2}\left(\frac{\pi}{2}\right)\right]\cdot P = P; \\ -P\cdot\left[k_p\left(\frac{\pi}{2}\right)\cdot\Phi_{P2}\left(\frac{\pi}{2}\right)\cdot tg\frac{\pi}{2} + f\right] \le 0. \end{aligned}\right\}$$

Остання система рівноваги буде тотожно задовольнятися, наприклад, за таких умов

$$\Phi_{P1}\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1, \quad k_p\left(\frac{\pi}{2}\right)\cdot\Phi_{P2}\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0. \tag{3}$$

Розглянемо окремий випадок руху матеріальної точки, коли $\alpha = 0$. При цьому логічно припустити, що частинка ґрунту ковзає (без тертя) разом з недеформованим потоком ґрунту уздовж леза робочого органу зі швидкістю $V = V_p$ ($W = W_p$) і маса її не змінюється $m(t) = m_0$. Тоді система диференціальних рівнянь (1) перетвориться до вигляду

$$\left.\begin{aligned} m_0\cdot W_P(t) = P\cdot\Phi_{P1}(0) + k_{V1}(0)\cdot m_0\cdot V_p^2(t)\cdot\Phi_{V1}(0) + k_{W1}(0)\cdot m_0\cdot W_P(t)\cdot\Phi_{W1}(0) - f\cdot N(0); \\ N(0) = 0. \end{aligned}\right\}$$

Останнє означає, що в цьому випадку бічний тиск ґрунту на лезо відсутній, і перше рівняння останньої системи буде тотожно задовольнятися для будь-якої функції швидкості робочого органу за таких умов

$$\Phi_{P1}(0) = k_{V1}(0)\cdot\Phi_{V1}(0) = 0, \quad k_{W1}(0)\cdot\Phi_{W1}(0) = 1. \tag{4}$$

Проаналізувавши умови (3) і (4), у подальшому будемо припускати, що

$$\Phi_{P1}(\alpha) = \Phi_{V1}(\alpha) = \sin\alpha, \quad k_{W1}(\alpha)\cdot\Phi_{W1}(\alpha) = \Phi_{P2}(\alpha) = \cos\alpha, \quad \Phi_{V2}(\alpha) = \Phi_{W2}(\alpha) = 1. \tag{5}$$

Звичайно, конкретика коефіцієнтів і функцій, що уточнюються, вимагає експериментального вивчення, але переважно характер їх поведінки безсумнівний (виходячи з окремих випадків руху і рівноваги).

З урахуванням залежності (2) та уточнень (5), система диференціальних рівнянь (1) перетвориться до виду

$$\left.\begin{aligned} k_m(t)\cdot W(t) = (\cos\alpha - k_p\cdot\sin\alpha)\cdot\sin\alpha\frac{P}{m_0} + (k_{V1}\cdot\cos\alpha - k_{V2}\cdot tg^2\alpha)\cdot\sin\alpha\cdot V_p^2(t) + \\ + (\cos^2\alpha - k_{W2}\cdot tg\alpha\cdot\sin\alpha)\cdot W_P(t) - f\cdot\frac{N(\alpha)}{m_0} + k_m'(t)\left[(\cos\alpha - tg\alpha\cdot\sin\alpha)\cdot V_p(t) - V(t)\right]; \\ 0 = -(\sin\alpha + k_p\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha\frac{P}{m_0} - \left(k_{V1} + \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right)\cdot\left[\sin\alpha\cdot V_p(t)\right]^2 - (\cos\alpha + k_{W2})\cdot\sin\alpha\cdot W_P(t) + \\ + \frac{N(\alpha)}{m_0} - 2\cdot k_m'(t)\cdot\sin\alpha\cdot V_p(t). \end{aligned}\right\} \tag{1$'$}$$

Розглянемо випадок відсутності руху матеріальної частинки вздовж леза робочого органу $V = V_p = 0,\ W = W_p = 0$ (перехідний процес зі стану спокою до руху – квазістатика). Тоді на підставі системи рівнянь (1’), яка перетворюється в систему рівнянь статики, отримуємо

$$\left.\begin{aligned} 0 &= \left(\cos\alpha - k_p \cdot \sin\alpha\right)\cdot \sin\alpha \cdot P - f \cdot N(\alpha); \\ N(\alpha) &= \left(\sin\alpha + k_p \cdot \cos\alpha\right)\cdot \sin\alpha \cdot P. \end{aligned}\right\} \tag{1''}$$

З отриманих умов рівноваги знаходимо обмеження на кут $\alpha = \left[0, arctg\dfrac{1-k_p \cdot f}{k_p + f}\right)$, за якого можливий рух точки по лезу. Зауважимо, що при $k_p = 0$ приходимо до «класичної» умови руху тіла похилою площиною $\alpha = \left[0, arctg\dfrac{1}{f}\right)$.

На підґрунті [4], отримуємо розв’язок другого рівняння системи диференціальних рівнянь (1′)

$$k_m(t) = k_{m0} + \frac{1}{2}\left[\frac{N(\alpha)/\sin\alpha - \left(\sin\alpha + k_p \cdot \cos\alpha\right)\cdot P}{m_0}\cdot \int_0^t \frac{dt}{V_p(t)} - \left(k_{V1} + \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right)\cdot \sin\alpha \cdot \int_0^t V_p(t)\,dt - \right.$$
$$\left. - \left[\cos\alpha + k_{W2}(\alpha)\right]\cdot \ln V_p(t)\right].$$

З початкової умови $V_p(0) = 0$ і обмеженості в початковий момент часу коефіцієнта зміни маси $k_m(0) = 1$ приходимо до умови

$$k_{W2}(\alpha) = -\cos\alpha, \quad \left[\cos^2\alpha - k_{W2}(\alpha)\cdot tg\alpha \cdot \sin\alpha = 1\right]. \tag{6}$$

Остаточно розв’язок запишемо у вигляді

$$k_m(t) = 1 + \frac{1}{2}\left[\frac{\dfrac{N(\alpha)}{\sin\alpha} - \left(\sin\alpha + k_p \cdot \cos\alpha\right)\cdot P}{m_0}\cdot \int_0^t \frac{dt}{V_p(t)} - \left(k_{V1} + \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right)\cdot \sin\alpha \cdot \int_0^t V_p(t)\,dt\right]. \tag{7}$$

Аналізуючи останню залежність, доходимо висновку (у рамках цієї моделі), що функція маси частинки залежить тільки від швидкості робочого органу $V_p(t)$ для заданого кута α. Якщо в роботі [1] моделювалася функція зміни маси матеріальної точки від різних параметрів, то тут була отримана аналітична залежність з рівняння руху. Відзначимо також, що в зазначеній роботі не враховувалась бічна складова динамічного навантаження.

Припускаючи, що функції $V_p(t),\ k_m(t),\ N(\alpha)$ відомі (задані, знаходяться з експериментів або при аналізі наведених рівнянь у частинних випадках, отримані при деяких спрощеннях), з використанням залежності (6) на підставі [4], отримуємо розв’язок першого диференціального рівняння системи (1)

$$\begin{aligned} V(t) = \frac{1}{k_m(t)}&\left[V_p(t) + \frac{\left(\cos\alpha - k_p \cdot \sin\alpha\right)\cdot \sin\alpha \cdot P - f \cdot N(\alpha)}{m_0} t + \right. \\ &\left. + \left(k_{V1}\cdot\cos\alpha - k_{V2}\cdot tg^2\alpha\right)\cdot \sin\alpha \int_0^t V_p^2(t)\,dt + \frac{\cos 2\alpha}{\cos\alpha}\int_0^t k_m'(t)\cdot V_p(t)\,dt + V_0\right], \end{aligned} \tag{8}$$

де $V_0 = V(0)$ – початкова швидкість частинки, надалі вважаємо $V_0 = 0$.

Розглянемо клас функцій швидкості робочого органу, які відповідають умовам $V_p(0) = 0$

$$V_p(t) = k_{Vp} \cdot t^n \quad (\text{при } n > 0), \tag{9}$$

де k_{Vp} [$м/с^{1+n}$] – сталий коефіцієнт пропорційності (при $n = 1: k_{Vp}$ – прискорення).

Підставляючи (9) у залежності (7) і (8), остаточно матимемо

$$k_m(t) = 1 + \frac{1}{2}\left\{\left[\frac{N(\alpha)}{\sin\alpha} - (\sin\alpha + k_p \cdot \cos\alpha) \cdot P\right]\frac{t^{1-n}}{m_0 \cdot k_{Vp} \cdot (1-n)} - \right.$$
$$\left. - k_{Vp} \cdot \left(k_{V1} + \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right) \cdot \sin\alpha \frac{t^{1+n}}{1+n}\right\}, \tag{7'}$$

$$V(t) = \frac{1}{k_m(t)}\left\{\left[(tg\alpha - k_p)\frac{P}{2} + (ctg2\alpha - f) \cdot N(\alpha)\right]\frac{t}{m_0} + \right.$$
$$\left. + V_p(t) + \frac{k_{Vp}^2}{2}\left(k_{V1} - \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right) \cdot tg\alpha \cdot \frac{t^{1+2n}}{1+2n} + V_0\right\}. \tag{8'}$$

Формально останні формули справедливі для будь-яких значень n, але фактично тільки для $n \in (0,1)$. У цьому випадку виконується умова $k_m(0) = 1$. В іншому випадку ($n \geq 1$), отримуємо залежність, що є другою умовою системи рівнянь рівноваги (1″)

$$P_1(\alpha) = \frac{N(\alpha)}{(1+k_p) \cdot \sin\alpha}.$$

Залежності (7′), (8′) врешті решт набувають вигляду

$$k_m(t) = 1 - \frac{k_{Vp}}{2} \cdot \left(k_{V1} + \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right) \cdot \sin\alpha \cdot \frac{t^{1+n}}{1+n},$$

$$V(t) = \frac{1}{k_m(t)}\left[\left(\frac{\cos\alpha - k_p \cdot \sin\alpha}{\sin\alpha + k_p \cdot \cos\alpha} - f\right) \cdot \frac{N(\alpha)}{m_0} \cdot t + V_p(t) + \frac{k_{Vp}^2}{2}\left(k_{V1} - \frac{k_{V2}}{\cos\alpha}\right) \cdot tg\alpha \cdot \frac{t^{1+2n}}{1+2n} + V_0\right].$$

Аналізуючи останнє співвідношення для $k_m(t)$, однозначно доходимо висновку (у рамках цієї моделі), що при $n \geq 1$ маса частинки зменшується і залежить тільки від динамічної складової системи сил (швидкості робочого органу), що діють на матеріальну точку змінної маси. Цей результат дозволяє пояснити явище кришення ґрунту при дії на нього робочого органу.

На основі отриманих формул, проведено чисельний аналіз швидкості $V(t)$ матеріальної частинки, що рухається вздовж леза та зміни її маси ($k_m(t)$), залежно від швидкості руху робочого органу $V_p(t)$.

На рис. 2-4 наведено залежності, отримані за наступних параметрів: $f = 0.285$, $\alpha = 30°$, $m_0 = 0.001$ *кг*, $N(30°) = 0.1035$ *Н*, $k_p = 0.955$, $k_{V1} = k_{V2} = 1$ $м^{-1}$, $k_{Vp} = 1.3$ $м/с^{1+n}$.

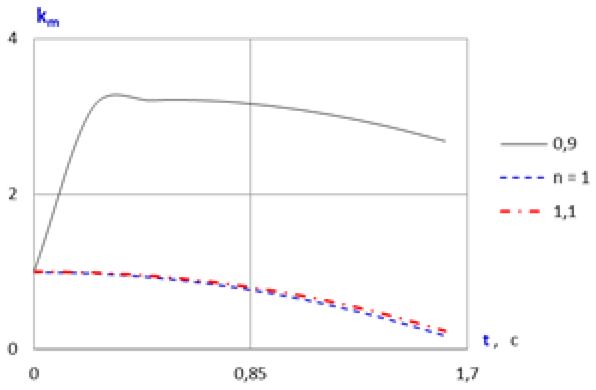


Рис. 2. Залежність коефіцієнта зміни маси частинки $k_m(t)$ від часу t

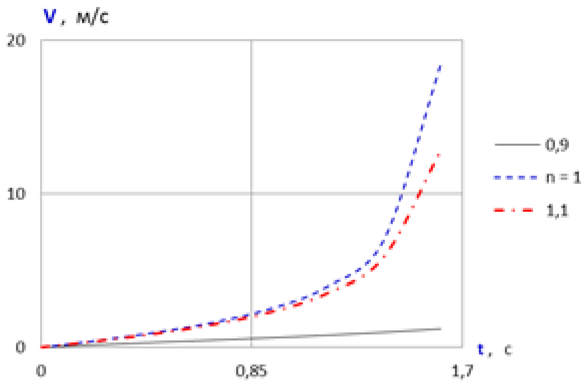
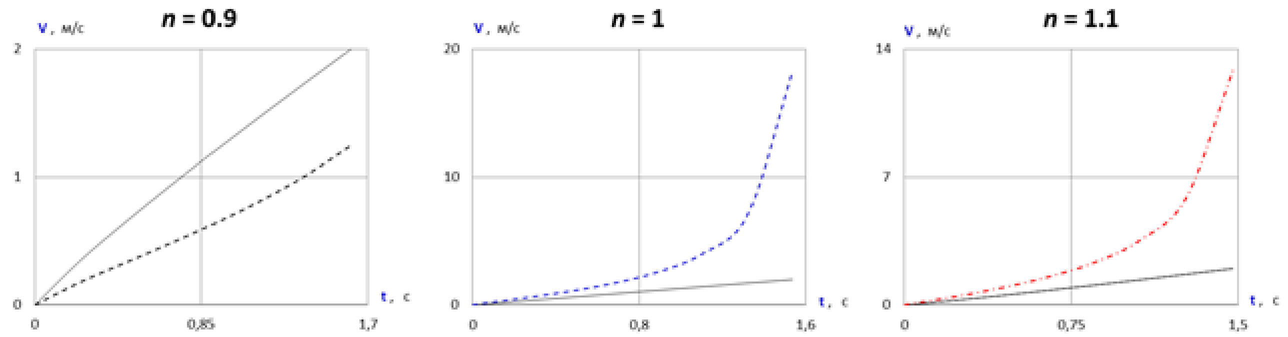


Рис. 3. Порівняльні графіки швидкостей матеріальної точки при різних значеннях n



a) *b*) *c*)

Рис. 4. Порівняльні графіки швидкості робочого органу $V_p(t)$ (– суцільна лінія) і швидкості матеріальної частинки $V(t)$ (--- пунктирна крива) при значеннях n = 0.9 (*a*), n = 1 (*b*), n = 1.1 (*c*)

На графіках (рис. 2, 3) індекс 0.9 відповідає залежностям, отриманих за наступних додаткових значень параметрів: $P = 0.1555$ H, $n = 0.9$ – суцільна крива; індекс 1 відповідає $P = N = 0.1035$ H, $n = 1$ – пунктирна лінія; індекс 1.1 при $P = N = 0.1035$ H, $n = 1.1$ – штрихпунктирна крива.

Як видно з наведених графіків, можливі такі співвідношення параметрів досліджуваного процесу руху частинки ґрунту вздовж леза, за яких маса матеріальної точки може як збільшуватися (ефект «прилипання») (рис. 2, $n = 0.9$), так і зменшуватися (рис. 2, $n = 1$, $n = 1.1$). Швидкість матеріальної частинки може бути як менше (рис. 4, *a*) швидкості робочого органу (на розглянутому проміжку часу), так і більше (рис. 4, *b*, *c*).

ВИСНОВКИ

Розглянута математична модель дозволила на конкретних прикладах якісно описати явище «наростання маси частинки ґрунту − зменшення її швидкості», і навпаки (що відбувається насправді). Остання обставина безпосередньо пов’язана з явищем кришення ґрунту. Виявлено напрямки експериментальних і теоретичних досліджень, що дозволяють більш точно описати кінематику частинки змінної маси, що рухається по лезу робочого органу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тищенко С. С., Швайко В. М., Гурідова В. О. Дослідження кінематичних параметрів руху частинки ґрунту за прямолінійним лезом робочого органу. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2014. № 2(34). С. 63–66.
2. Мещерский И. В. Курс теоретической механики. Ч. 1. Москва: Госиздат, 1930. 202 с.
3. Д'яконов С. О. Обґрунтування параметрів технологічного процесу і робочих органів сівалки прямого сіву: Автореф. дис… канд. техн. наук / Харків, 2007. 20 с.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. Москва: Наука, 1976. 576 с.

REFERENCES

1. Tishchenko, S., Shvayko, V. & Guridova, V. (2014). Studies kinematic parameters motion of a soil particle on the rectilinear blade of the working body. Visnyk Dnipropetrovs′koho derzhavnoho ahrarno-ekonomichnoho universytetu, No. 2(34), pp. 63-66.
2. Meshcherskiy, I. (1930). Course of theoretical mechanics, Part. 1. Moscow: Gosizdat.
3. D'yakonov, S. (2007). Justification parameters of technological process and working bodies seeder for direct seeding. (Extended abstract of Cand. Sc. thesis). Kharkiv, Ukraine.
4. Kamke, E. (1976). Handbook of Ordinary Differential Equations. Moscow: Nauka.

УДК 539.374

ОБРАЗОВАНИЕ ШЕЙКИ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ ПРИ ДВУХОСНОМ РАСТЯЖЕНИИ ПЛАСТИНКИ

Шевченко А. Г., [1]Шнейдер В. П.

[1]*Завод «Мастер-Профи»,*
ул. Курсантская, 23, г. Днипро, 49000

artur_shev91@mail.ru

В рамках теории микродеформации исследуется локализация деформации в форме образования шейки, при двухосном растяжении однородной тонкой пластины постоянной толщины. Используя ранее доказанное утверждение о том, что бифуркация процесса деформирования упругопластического тела достигается на путях полного догружения, задача бифуркации сведена к линейной задаче на собственные значения. В частном случае монотонного нагружения, когда не возникают частичные разгрузки в рамках предложенного подхода, получены формулы для определения критической нагрузки и найдено решение для шейки конечной длины.
Ключевые слова: бифуркация процесса деформирования, локализация пластической деформации, плоское напряженное состояние, шейкообразование, разрыв перемещений.

УТВОРЕННЯ ШИЙКИ КІНЦЕВОЇ ДОВЖИНИ ПРИ ДВОВІСНОМУ РОЗТЯГНЕННІ ПЛАСТИНКИ

Шевченко А. Г., [1]Шнейдер В. П.

[1]*Завод «Мастер-Профі»,*
вул. Курсантська, 23, м. Дніпро́, 49000

artur_shev91@mail.ru

При двоосному розтягненні за межами пружності в тонкій пластинці може виникнути локальне утоньшення, тобто утворюється шийка. У рамках теорії мікродеформації досліджується локалізація деформації у формі утворення шийки, при двоосному розтягуванні однорідної тонкої пластини постійної товщини. Раніше було показано, що біфуркація процесу деформування досягається на шляхах повного довантаження, що дозволяє зводити задачу біфуркації лінійної задачі на власні значення. В окремому випадку монотонного навантаження, коли не виникають часткові розвантаження в рамках запропонованого підходу отримані формули для визначення критичного навантаження і знайдено розв'язок для шийки обмеженної довжини.
Ключові слова: біфуркація процесу деформування, локалізація пластичної деформації, плоский напружений стан, шийкоутворення, розрив переміщень.