

УДК 631.33.024.4

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ЧАСТИНКИ ПО ВВІГНУТІЙ ПОВЕРХНІ

Демидко М.О., д.т.н,

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України "Ніжинський агротехнічний інститут"

Лавріненко О.Т., к.т.н,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел. (04631) 12-53-81

Анотація - проаналізовано характер зміни кінетичної енергії матеріальної частинки в процесі її руху по дузі окружності та визначено залежність швидкості частинки при виході від початкової, кута дуги, радіусу окружності, коефіцієнта тертя та коефіцієнта опору повітря, визначається загальний ступінь впливу кожного з факторів на втрату швидкості матеріальної частинки у процесі руху по дузі.

Ключові слова - криволінійна поверхня, швидкість руху матеріальної частинки, радіус кривизни, сила тертя, відцентрова сила.

Постановка проблеми. Одним із важливих напрямків підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, зокрема рослинництва, є впровадження підгрунтового-розкидного способу внесення мінеральних добрив та посіву зернових культур. Для реалізації цього способу застосовують спеціальні сошники, основною частиною яких є розподільник, що забезпечує розподіл насіння чи добрив по площі живлення рослин.

В існуючих конструкціях сошників для підгрунтового-розкидного сівби розподіл насіння чи добрив здійснюється трьома способами:

- За рахунок застосування активних розподільників.
- За рахунок використання повітряного потоку.
- За рахунок енергії, отриманої в процесі вільного падіння (пасивний спосіб).

Через простоту та надійність пасивний спосіб найбільш перспективний. За цим способом зміна напрямку (з вертикального на горизонтальний) та розподіл насіння або добрив може здійснюватися від-

биванням (косий удар) або ковзанням по ввігнутий поверхні. В нашому випадку ввігнута поверхня є елементом напрямника, яким подається матеріал на відбивну площину. Таким чином процес руху висівного матеріалу є невід'ємним в розподільниках пасивного типу. Тому його дослідження є актуальним. В теоретичних дослідженнях насінина чи гранула прирівнюється до матеріальної точки.

Аналіз основних досліджень. Рух частинок по шорстких поверхнях робочих органів сільськогосподарських машин розглянуто в фундаментальних роботах П.М. Василенка [1]. В роботі обґрунтовані формули залежності швидкості руху частинок по різних криволінійних поверхнях від основних чинників процесу. Формули отримані в результаті рішення диференціальних рівнянь, що враховують діючі сили: вагу частинки, відцентрову силу та силу опору середовищу а також радіус кривизни та кут між дотичною до положення частинки і віссю координат. Наведені рівняння громіздкі, тому незручні для практичного використання.

Аналіз руху частинок по криволінійних поверхнях стосовно конструкцій розподільників насіння сошників для підґрунтового-розкидного способу сівби виконаний багатьма дослідниками.

В більшості випадків за розподільник приймали тіло, утворене обертанням навколо вертикальної осі криволінійної твірної. Метою всіх досліджень було обґрунтування геометрії кривої що забезпечує мінімальні втрати швидкості після проходження поверхні

В роботі [7] стверджується що найкращою формою кривої є поліном п'ятого ступеня. При виході насіння із насіннепровода сівалки СЗС-2,1 швидкість становить 3,32-3,56 м/с, а при виході з розподільника – 3,64-3,78 м/с.

За даними [2, 5] найкращі результати отримані, коли твірна розподільника має форму брахистохроми.

За даними досліджень [8] ефективним є розподільник з робочою поверхнею твірної якої є дуга радіусом 30-40 мм. Ефективність поверхні у формі дуги кола встановлена також у [3], де при обґрунтуванні параметрів туконапрямника сошка для підґрунтового-розкидного способу внесення мінеральних добрив. Цими дослідженнями встановлено, що отримане значення радіуса дуги знаходиться в межах 0,04-0,05 м.

Дослідженнями різних форм поверхонь розподільників, результати яких наведено в [6] встановлено, що всі вони забезпечують розподіл насіння по ширині захвату лапового сошника, але найкращу рівномірність показали поверхні, утворені кривою третього порядку та брахистохромою. Із короткого аналізу опублікованих результатів досліджень можна заключити, що всі вони направлені на оцінку ввігнутої поверхні певної форми. Питання залежності втрат швидкості частинки

в процесі руху від основних чинників досліджені недостатньо. Недосліджена також відносна ступінь впливу чинників на зміну швидкості.

Основна частина.

Схема процесу руху частинки по ввігнутій поверхні представлена на рис. 1.

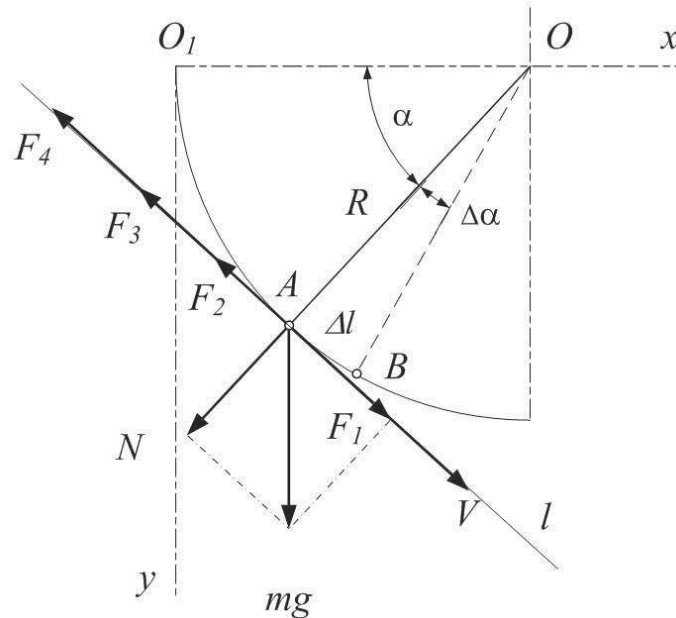


Рис. 1. Схема до аналізу процесу руху матеріальної точки (насінини) по ввігнутій поверхні

В процесі руху матеріальної частинки по ввігнутій поверхні на неї по лінії руху діють такі сили:

– складова сили тяжіння частинки

$$F_1 = mg \cos \alpha ; \quad (1)$$

– сила тертя, обумовлена силою ваги частинки

$$F_2 = fN = fmg \sin \alpha ; \quad (2)$$

– сила тертя, обумовлена відцентровою силою

$$F_3 = f \frac{mV^2}{R} ; \quad (3)$$

– сила опору повітря

$$F_4 = mKV , \quad (4)$$

де m - маса частинки, г;

g - прискорення вільного падіння

($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

f – коефіцієнт тертя;
 V – швидкість руху частинки, м/с;
 R – радіус кривизни, м;
 K – коефіцієнт опору повітря, c^{-1} .

Розглянемо процес руху частинки по дузі кола радіусом R . В момент знаходження частинки в точці A із швидкістю V_1 її кінетична енергія E_1 визначена рівнянням

$$E_1 = \frac{mV_1^2}{2}. \quad (5)$$

Після проходження частинкою шляху, рівного елементарній частині дуги Δl , кінетична енергія частинки зменшується на величину, що визначається рівнянням

$$\Delta E_1 = F_1 \Delta l - F_2 \Delta l - F_3 \Delta l - F_4 \Delta l. \quad (6)$$

Після заміни F_1 , F_2 , F_3 та F_4 їх значеннями відповідно до (1), (2), (3) та (4) отримаємо

$$\Delta E_1 = mg \cos \alpha \Delta l - fmg \sin \alpha \Delta l - fm \frac{V_1^2}{R} \Delta l - mKV \Delta l. \quad (7)$$

Кінетична енергія частинки після проходження елементарної частини дуги визначиться

$$E_2 = E_1 - \Delta E_1 = \frac{mV_2^2}{2}, \quad (8)$$

де V_2 - швидкість після проходження дуги Δl .

Після заміни E_1 та ΔE_1 їх значеннями відповідно до (5) та (6) і скорочення на масу m отримаємо

$$\frac{V_2^2}{2} = \frac{V_1^2}{2} + g \cos \alpha \Delta l - fg \sin \alpha \Delta l - f \frac{V_1^2}{R} \Delta l - KV_1 \Delta l, \text{ або:}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \left(\frac{V_1^2}{2} + g \cos \alpha \Delta l - fg \sin \alpha \Delta l - f \frac{V_1^2}{R} \Delta l - KV_1 \Delta l \right)}. \quad (9)$$

Величина частини дуги кола визначається

$$\Delta l = \frac{2\pi R \Delta \alpha}{360} = 0,0174R \cdot \Delta \alpha, \quad (10)$$

де $\Delta \alpha$ - кут в градусах, що відповідає дузі Δl .

Після підстановки в (9) величини Δl відповідно (10) отримаємо

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 0,0348 \cdot \Delta \alpha (g \cos \alpha R - fg \sin \alpha R - fV_1^2 - KV_1 R)}. \quad (11)$$

З рівняння (11) визначається швидкість V_2 після проходження частинкою дуги в інтервалі початкового та кінцевого кутів α . Найчастіше інтервал близький до $0 - 90^\circ$.

Послідовність розрахунків наступна:

- приймається величина $\Delta\alpha$;
- за величинами інтервалу кутів визначаємо кількість розрахункових елементарних дуг $n = \frac{\alpha}{\Delta\alpha}$;

- визначається ряд розрахункових кутів:

$$- \alpha_1 = \frac{\Delta\alpha}{2}, \alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha \dots \alpha_n = \alpha_{n-1} + \Delta\alpha ;$$

- за рівнянням (11) послідовно до кожного із кутів $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ визначається швидкість V_2 . При цьому вихідна швидкість попереднього кута приймається за вхідну (початкову) для наступного.

Вихідна швидкість останньої елементарної дуги приймається за швидкість частинки після проходження всієї дуги.

За результатами розрахунків отримують також величини, що визначають відносні втрати енергії обумовлені силами тяжіння частинки A_2 , відцентрової A_3 та опору повітря A_4 :

$$A_2 = \sum_{i=1}^n (fg \sin \alpha_i R); \quad (12)$$

$$A_3 = \sum_{i=1}^n fV_i^2 ; \quad (13)$$

$$A_4 = \sum_{i=1}^n KV_i R. \quad (14)$$

В процесі аналізу рівняння (11) коефіцієнт тертя (динамічний) та коефіцієнт опору повітря приймали фіксованими ($f = 0,24$; $K = 1,0 \text{ с}^{-1}$). Величина K обґрунтована в роботі [4].

Діапазон зміни параметрів процесу – початкову швидкість V_1 , кут дуги α та радіус кривизни дуги R приймали близькими до тих, що зазначені в публікаціях ($V_1 = 0 - 4 \text{ м/с}$, $\alpha = 0 - 90^\circ$, $R = 0,01 - 0,10 \text{ м}$).

За результатами розрахунків побудовані графіки залежності кінцевої швидкості частинки від основних параметрів.

На рис. 2 представлена залежність швидкості V_n від кута α , початкової швидкості V_1 та радіуса R .

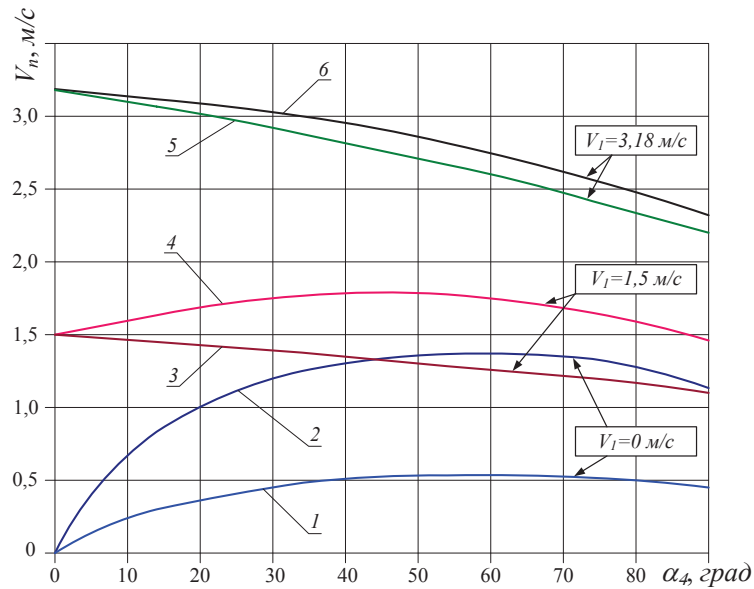


Рис. 2. Залежність вихідної швидкості V_n від кута α при різних значеннях вхідної швидкості V_1 та радіуса дуги R : 1, 3, 5 – $R = 0,025$ м; 2, 4, 6 – $R = 0,2$ м

З рисунка бачимо, що характер залежності V_n від α для різних значень V_1 не однаковий. Вплив радіуса кривизни на V_n також залежить від величини початкової швидкості V_1 .

При малих швидкостях (приблизно до 1,5 м/с) із збільшенням α спочатку V_n зростає, а потім при певному значенні α зменшується. Кут дуги, при якому зростання V_n переходить в зниження, із збільшенням V_1 зменшується. Починаючи з $V = 1,5$ м/с для більших значень V_1 зміна кута α від 0 до 90° обумовлює безперервне зменшення V_n .

Вплив радіуса кривизни із зростанням початкової швидкості V_1 істотно зменшується. Наприклад, після проходження дуги від $\alpha = 0$ до $\alpha = 90^\circ$ з початковою швидкістю

$V_1 = 1,5$ м/с різниця між швидкістю V_n для радіусів 0,025 та 0,20 м становить 20%, а при $V_1 = 3$ м/с ця різниця становить лише 6%.

Таким чином за результатами аналізу наведених графіків можна зробити висновок що при швидкостях руху частинок більше 2-3 м/с зміною форми ввігнутої поверхні істотно зменшити втрати швидкості не можливо.

Значне зменшення впливу радіуса кривизни на втрату швидкості частинки із збільшенням початкової швидкості пояснюється тим, що із зростанням швидкості збільшується питоме значення втрат енергії, обумовленої відцентровою силою (A_3), величина якої не залежить від радіуса.

Питомі значення в процентах різних затрат енергії в процесі руху частинки по ввігнутій поверхні в залежності від початкової швидкості та радіуса кривизни приведені в таблиці 1.

За наведеними в таблиці даними, наприклад при $V_1 = 3$ м/с, для радіусів кривизни 0,01; 0,04 та 0,10 м затрати енергії обумовлені відцентровою силою (A_3) становлять 96,8; 90,8 та 80,0% відповідно. Тобто збільшення радіуса R в 10 разів обумовлює зміну величини A_3 лише на 17%.

Таблиця 1 – Залежність відносних втрат енергії частинки в процесі її руху по дузі кола від початкової швидкості

| V_1 , м/с | R , м | Відносні затрати енергії, % | | |
|-------------|---------|-----------------------------|-------|-------|
| | | A_2 | A_3 | A_4 |
| 1 | 0,01 | 7,0 | 89,0 | 4,0 |
| | 0,04 | 18,6 | 69,5 | 11,9 |
| | 0,10 | 25,8 | 55,4 | 18,8 |
| 2 | 0,01 | 2,0 | 95,8 | 2,2 |
| | 0,04 | 6,8 | 85,2 | 8,0 |
| | 0,10 | 12,8 | 71,2 | 16,0 |
| 3 | 0,01 | 1,2 | 96,7 | 2,1 |
| | 0,04 | 3,4 | 90,8 | 5,8 |
| | 0,10 | 7,5 | 80,0 | 12,5 |
| 4 | 0,01 | 0,5 | 98,3 | 1,2 |
| | 0,04 | 2,0 | 93,5 | 4,5 |
| | 0,10 | 4,5 | 85,3 | 10,2 |

На рис. 3 представлені графіки залежності швидкості частинки V_n від радіуса дуги кола R та початкової швидкості V_1 після проходження дуги в межах від 0 до 90°. З рисунка бачимо, що при всіх швидкостях V_1 із збільшенням радіуса R кінцева швидкість V_n безперервно зростає, тобто оптимальних значень R немає.

Інтенсивність зростання із збільшенням швидкості V_1 зменшується. При збільшенні R від 0,01 до 0,10 м швидкість V_n для $V_1=1$; 2; 3 та 4 м/с зростає на 25; 16; 6 та 5,5% відповідно.

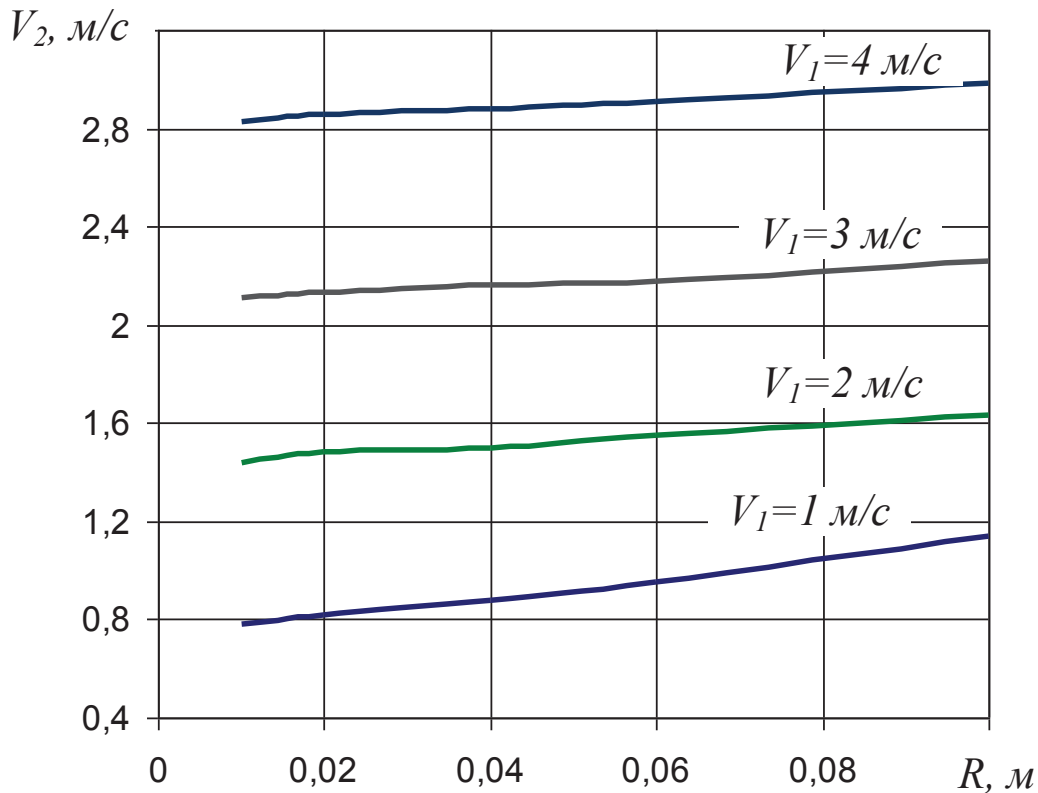


Рис. 3. Залежність швидкості частинки V_2 після проходження дуги 90° від радіуса кривизни R та швидкості V_1

На рис. 4 представлені графіки залежності коефіцієнта зміни швидкості ($K_{3V} = \frac{V_n}{V_1}$) від початкової швидкості V_1 та радіуса кривизни R . З рисунка бачимо, що із збільшенням початкової швидкості V_1 коефіцієнт K_{3V} зменшується. Причому для обох значень радіуса кривизни більш-менш істотне зменшення прослідковується до моменту, коли V_1 досягає 3 м/с. Подальше зростання V_1 не призводить до істотної зміни K_{3V} .

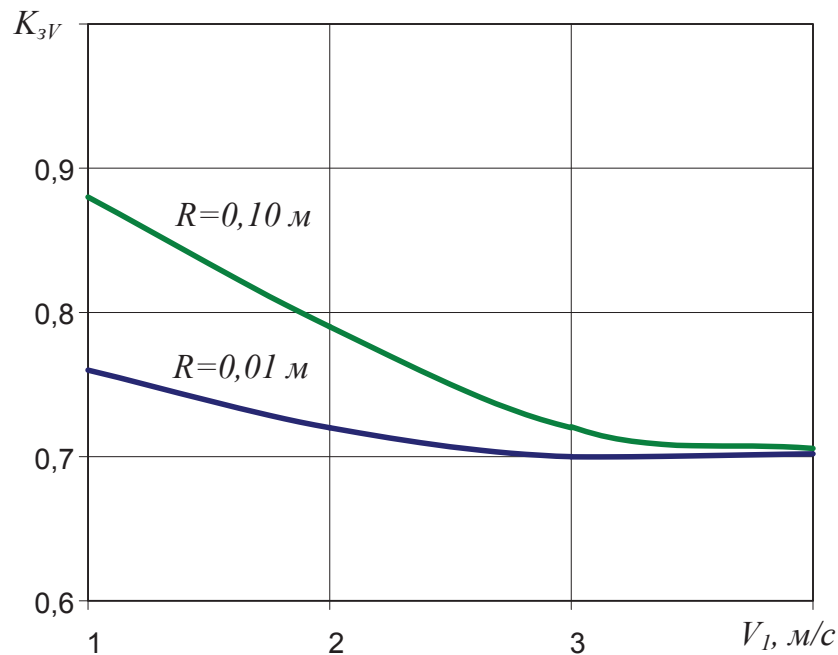


Рис. 4. Залежність коефіцієнта зміни швидкості K_{3V} від початкової швидкості V_1 та радіуса кривизни R

Збільшення радіуса кривизни R від 0,01 до 0,10 м при $V_1 = 1$ м/с обумовлює підвищення K_{3V} від 0,77 до 0,88 (на 14,3%). А при $V_1 = 3$ м/с різниця становить 2,9%.

При початковій швидкості більше 3 м/с її вплив, а також вплив радіуса кривизни R на коефіцієнт зміни швидкості не істотний.

Висновки. Аналізом зміни кінетичної енергії руху частинки по ввігнутої поверхні встановлено:

1. Радіус кривизни ввігнутої поверхні істотно впливає на кінцеву швидкість частинки лише при малих початкових швидкостях (до 2 м/с), тому зміною форми робочої поверхні (різними комбінаціями зміни радіуса кривизни) не можливо значно покращити параметри процесу руху.

2. Збільшення радіуса кривизни безперервно призводить до зростання кінцевої швидкості (зменшення втрат швидкості), тобто оптимальні значення радіуса кривизни відсутні.

3. При початковій швидкості більше 1 м/с основні втрати швидкості обумовлені відцентровою силою, робота тертя якої не залежить від радіуса кривизни.

Література:

1. *Артамонов В.А.* К вопросу разработки рабочих органов сеялки-культиватора для полосного посева зерновых культур// Труды ВИМ, т. 151. -М.: ВИМ, 2004.
2. *Василенко П. М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / *П. М. Василенко.* – К.: УСХА, 1960. – 282 с.
3. *Гужин И.Н.* Теоретическое определение скорости движения семян по циклоидальной образующей распределителя сошника для подпочвенно -разбросною посева // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов в АПК: Сб. науч. тр. Поволжской межвузовской конференции. -Самара, -2002. -С. 172...176.
4. *Дейкун В.А.* Визначення початкової швидкості руху часток добрив в місці їх виходу з туконапрямки / *В.А. Дейкун* // Розвиток наукових досліджень: Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної конференції. – Полтава: «ІнтерГрафіка», 2012. – С. 30-33.
5. *Демидко М. О.* Методика визначення статистичних характеристик коефіцієнта опору повітря та аналіз їх впливу на рух насіння в робочих органах сівалки-культиватора / *М. О. Демидко, О. Т. Лавріненко* // «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві»: XXII Міжнар. наук.-техн. конф. та Всеукр. конф.-семінар аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії., 21–23 травня 2014 р.: матеріали конф. – Глеваха, 2014. – С. 234–238.
6. *Заєць М.Л.* Обґрунтування швидкості надходження насіння в сошник для підґрунтового-розкидного способу посіву // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип.. 16. – Луцьк: Ред.- вид. відділ ЛДТУ, 2007. – С. 81-89.
7. *Перетяцько А.В.* Теоретическое обоснование геометрических параметров направителя-распределителя семян лапового сошника [Текст] / *А.В Перетяцько, С.А. Ивженко, А.Л. Брежнев* // В кн. Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. Сборник научных работ. – Самара: ФГОУ ВПО Самарская ГСХА, 2005. – С. 96-101.
8. *Киров А.А.* Сошник для широкополосового посева.-Тезисы докладов областной научно-технической конференции "60-летию СССР ударный труд, знания, инициативу и творчество молодых". Куйбышев, 1983, с. 219...220.
9. *Шайхов М.К., Писарев О.С., Артамонов В.А.* Исследование и обоснование параметров распределителя для полосного посева зерновых культур. // Журнал «Техника в сельском хозяйстве» № 5, 2005.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ ПО ВОГНУТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Демидко М.О., Лавриненко О.Т.

Аннотация – в статье проанализированы изменения кинетической энергии частицы в процессе ее движения по вогнутой поверхности, в частности по дуге окружности, установлена зависимость скорости частицы на выходе от скорости на входе, угла дуги, радиуса окружности, коэффициента трения и коэффициента сопротивления воздуха, определена удельная степень влияния каждого из факторов на потерю скорости частицы в процессе движения.

INVESTIGATION OF MOVEMENT OF A MATERIAL PARTICLES ON A CURVED SURFACE

M. Demidko, O. Lavrinenko

Summary

The article analyzes the changes in the kinetic energy of a particle in the process of its motion along a concave surface, in particular along an arc of a circle, the dependence of the particle velocity at the exit on the entrance speed, arc angle, radius of a circle, friction coefficient and air resistance coefficient, from the factors to the loss of particle velocity in the process of motion.