

АЛЕШКИН АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, доктор техн. наук, профессор

E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

СИМОНОВ МАКСИМ ВАСИЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: simaksim@mail.ru

МОКИЕВ ВАЛЕНТИН ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук

E-mail: dize1154@bk.ru

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого; 610007, ул. Ленина, 166а, Киров, Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА В ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ ТЕРОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ СЕМЯН ТРАВ

Проведены теоретические исследования процесса перемещения частиц материала в пространстве между вращающейся терочной поверхностью барабана и декой тангенциального терочного устройства с целью определения скорости движения частиц. Выдвинута гипотеза о том, что необходимым условием для перемещения частиц материала является достижение силой трения между терочной поверхностью барабана и частицами значения, достаточного для преодоления сил трения между частицами и неподвижной декой. На основании положений предложенной гипотезы получены уравнения, позволяющие определить значения угловой и линейной скоростей движения частицы материала в терочном устройстве тангенциального типа. Установлено, что угловая скорость движения частицы возрастает при увеличении коэффициента трения материала о барабан и уменьшается при увеличении коэффициента трения о деку терочного устройства. С увеличением радиуса барабана угловая скорость также уменьшается. Линейная скорость движения частицы на входе в терочное устройство имеет минимальное значение, а максимальное – на выходе из устройства. При этом линейная скорость возрастает с увеличением радиуса барабана. Полученные в результате проведенных исследований уравнения позволяют определить значения угловой и линейной скоростей движения частицы материала при его движении в терочном устройстве тангенциального типа.

Ключевые слова: семена трав, вытирание семян трав, терочное устройство, сила трения, перемещение частиц материала, скорость движения частиц.

Введение. Процесс выделения семян клевера из пыжины в терочном устройстве весьма сложный, на качество его выполнения оказывает влияние множество факторов. Отделять от семян клевера оболочки можно двумя основными способами: разрушением оболочки посредством сил трения, ударом или одновременно действием обоих способов. При разрушении оболочки семени ударным воздействием высока вероятность дробления семян [1, 2, 3]. Поэтому для выделения семян клевера из оболочек целесообразно использовать устройства, в которых данный процесс осуществляется за счет преимущественного воздействия сил трения на частицы пыжины.

В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока идут исследования тангенциального терочного устройства, особенностью которого является то, что перемещение материала и разрушение оболочки семян происходит преимущественно за счет сил трения [4, 5].

Цель исследования – аналитически описать процесс перемещения частиц материала в пространстве между вращающейся терочной поверхностью барабана и декой тангенциального терочно-

го устройства; установить математические зависимости, позволяющие определить скорости перемещения частиц материала в устройстве.

Выдвинута гипотеза, что необходимым условием для перемещения частиц материала является достижение силой трения F_6 между терочной поверхностью барабана и частицами значения, достаточного для преодоления сил трения F_d между частицами и неподвижной декой. Примем допущение, что материал представляет собой равномерный слой толщиной ζ , состоящий из отдельных элементов шириной o , перемещающихся в зазоре между декой и барабаном (рис. 1). Предположим, что элемент слоя материала состоит из отдельных частиц (материальных точек).

Результаты и обсуждение. Введем систему координат $ху$, начало отсчета которой находится в центре O вращающегося с постоянной угловой скоростью ω барабана (рис. 2). С определенной погрешностью можно допустить, что траектория движения частиц проходит на равном расстоянии от окружности барабана радиусом r_6 и деки, которая представляет собой полуокружность радиусом r_d со сме-

Тогда в проекциях на естественные оси $\bar{\tau}, \bar{n}$ уравнение движения частицы примет вид [6, 7]:

$$\tau : m \frac{d^2 s}{dt^2} = F_{\bar{6}} - F_{\bar{д}} + mg \cos \varphi,$$

$$n : \begin{cases} m \frac{dv}{dt} = F_{\bar{6}} - F_{\bar{д}} + mg \cos \varphi; \\ m \frac{v^2}{\rho} = N_{\bar{д}} - N_{\bar{6}} - mg \sin \varphi. \end{cases} \quad (4)$$

Принимая во внимание, что $N_{\bar{д}} = N_{\bar{6}} = c \cdot \zeta(\varphi)$, $F_{\bar{6}} = N_{\bar{6}} \cdot f_{\bar{6}}$, $F_{\bar{д}} = N_{\bar{д}} \cdot f_{\bar{д}}$ и учитывая некоторые преобразования системы дифференциальных уравнений (4), движения частицы может быть представлено следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{F_{\bar{6}}}{m} - \frac{F_{\bar{д}}}{m} + g \cos \varphi; \\ \frac{v^2}{\rho} = g \sin \varphi, \\ f_{\bar{д}} \cdot c \cdot \zeta(\varphi) = \frac{F_{\bar{д}}}{m}; \\ f_{\bar{6}} \cdot c \cdot \zeta(\varphi) = \frac{F_{\bar{6}}}{m}. \end{cases} \quad (5)$$

Примем, что толщина слоя материала

$$\zeta = \eta \cdot \varphi, \quad (6)$$

где η – коэффициент пропорциональности, характеризующий изменение толщины ζ слоя материала вследствие уменьшения зазора между барабаном и декой по мере движения частицы от входа к выходу, м/рад.

После решения системы уравнений (5) [8, 9] с учетом (6) получим выражение:

$$\frac{dv}{dt} = f_{\bar{6}} \cdot c \cdot \eta \cdot \varphi - f_{\bar{д}} \cdot c \cdot \eta \cdot \varphi + mg \cos \varphi. \quad (7)$$

Для упрощения уравнения (7) вводим значение a , которое определяется из выражения:

$$a = \frac{(f_{\bar{6}} - f_{\bar{д}})c \cdot \eta}{\rho}. \quad (8)$$

После преобразования (7) получим:

$$\dot{\varphi} \frac{d\dot{\varphi}}{d\varphi} = a \cdot \varphi + \frac{g}{\rho} \cdot \cos \varphi, \quad (9)$$

$$\dot{\varphi} d\dot{\varphi} = a \cdot \varphi d\varphi + \frac{g}{\rho} \cdot \cos \varphi d\varphi, \quad (10)$$

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \dot{\varphi} d\dot{\varphi} = a \cdot \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \varphi d\varphi + \frac{g}{\rho} \cdot \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \cos \varphi d\varphi, \quad (11)$$

$$\dot{\varphi} \Big|_{\varphi_0}^{\varphi_k} = a \cdot \frac{\varphi^2}{2} \Big|_{\varphi_0}^{\varphi_k} + \frac{g}{\rho} \cdot \sin \varphi \Big|_{\varphi_0}^{\varphi_k}, \quad (12)$$

где $\dot{\varphi}_0, \dot{\varphi}_k$ – начальное и конечное значение угловой скорости движения частицы, рад/с.

После проведенных преобразований уравнение (7) запишется в виде:

$$\frac{\dot{\varphi}_k^2 - \dot{\varphi}_0^2}{2} = a \cdot \frac{\varphi_k^2 - \varphi_0^2}{2} + \frac{g}{\rho} \cdot (\sin \varphi_k - \sin \varphi_0). \quad (13)$$

Решая уравнение (13) относительно $\dot{\varphi}_k$, найдем выражение для определения угловой скорости движения частицы:

$$\dot{\varphi}_k = \sqrt{\dot{\varphi}_0^2 + 2 \left(\left(\frac{f_{\bar{6}} - f_{\bar{д}}}{\rho} \cdot c \cdot \eta \right) \cdot \frac{\varphi_k^2 - \varphi_0^2}{2} + \frac{g}{\rho} \cdot (\sin \varphi_k - \sin \varphi_0) \right)}. \quad (14)$$

С некоторыми допущениями угловую скорость $\omega_{\bar{ч}}$ движения частицы в терочном устройстве можно определить как среднее значение конечной и начальной скоростей:

$$\omega_{\bar{ч}} = \frac{\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0}{2}. \quad (15)$$

При этом средняя угловая скорость $\omega_{\bar{ч}}$ движения частицы уменьшается по мере увеличения $f_{\bar{д}}$ и движение будет продолжаться до тех пор, пока силы трения не превысят движущие силы в терочном устройстве, то есть возникнет условие, при котором $f_{\bar{д}} > f_{\bar{6}}$.

На рисунке 3 представлены зависимости изменения средней угловой скорости движения $\omega_{\bar{ч}}$ частицы в терочном устройстве от коэффициентов трения $f_{\bar{д}}$ и $f_{\bar{6}}$ при различных радиусах барабана.

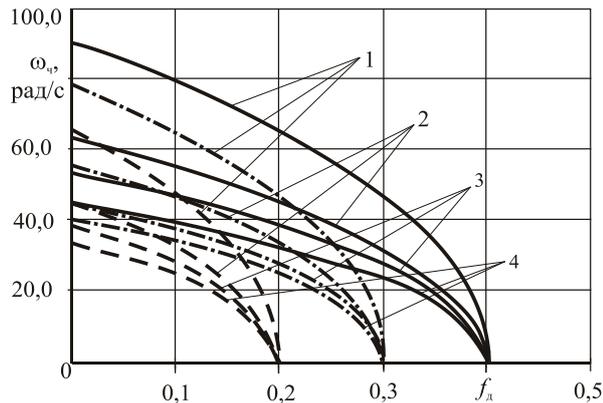


Рис. 3. Зависимость средней угловой скорости $\omega_{\bar{ч}}$ движения частицы от коэффициента трения $f_{\bar{д}}$ материала о поверхность деки:
 1) $r_{\bar{6}} = 0,05$ м; 2) $r_{\bar{6}} = 0,10$ м; 3) $r_{\bar{6}} = 0,15$ м; 4) $r_{\bar{6}} = 0,20$ м
 — $f_{\bar{6}} = 0,4$; - - - $f_{\bar{6}} = 0,3$; ···· $f_{\bar{6}} = 0,2$

Коэффициенты трения обрабатываемого материала о терочную поверхность деки $f_{\bar{д}}$ и о поверх-

ность барабана f_6 для пыжины, влажностью не более 14%, могут иметь значения в пределах от 0,2 до 0,4 [10]. Средняя угловая скорость ω_4 движения частицы возрастает при увеличении коэффициента трения f_6 материала о барабан и уменьшается при увеличении коэффициента трения f_d о деку терочного устройства. С увеличением радиуса барабана угловая скорость также уменьшается. Так, например, средняя скорость ω_4 изменяется от 0 до 56,4 рад/с при $r_6 = 0,10$ м, $f_6 = 0,3$ и возрастании f_d до 0,3. При $f_6 = 0,4$, $r_6 = 0,10$ м и возрастании f_d до 0,4 средняя скорость ω_4 изменяется от 0 до 62,7 рад/с. При увеличении радиуса барабана при равных условиях ($f_6 = 0,4$ м и $f_d < 0,4$) ω_4 изменяется от 0 до 46,2 рад/с.

Линейную скорость V движения частицы можно определить из выражения:

$$V = \omega_4 \cdot r. \quad (16)$$

Уравнения (15), (16) были решены при следующих исходных данных: $f_6 = 0,4$; $f_d = 0,15$; $\dot{\varphi} = 0$, рад/с; $\varphi = \frac{\pi}{18} \dots \pi$, рад с шагом $\frac{\pi}{20}$, при этом принимаем, что скорость V_0 ввода частиц в устройство приблизительно равна нулю. Результаты вычислений скорости V движения частицы в зависимости от угла φ представлены на рисунке 4.

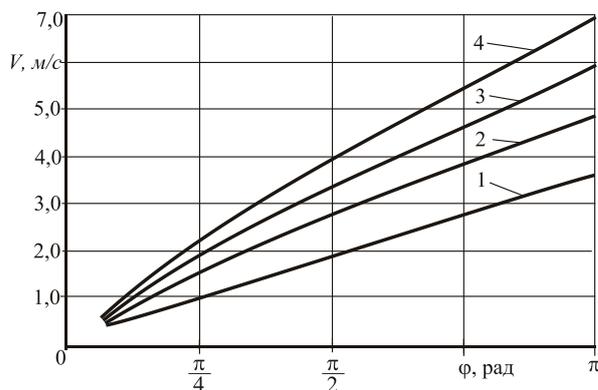


Рис. 4. Зависимости линейной скорости V движения частицы от угла φ при зазорах $\delta_{\text{вх}} = 6$ мм, $\delta_{\text{вых}} = 3$ мм:
 1) $r_6 = 0,05$ м; 2) $r_6 = 0,10$ м; 3) $r_6 = 0,15$ м;
 4) $r_6 = 0,20$ м

Анализ зависимостей (рис. 4) показывает, что на входе в терочное устройство скорость V имеет минимальное значение, а максимальное значение достигается при значении угла φ , равном 180° , на выходе из устройства. При этом скорость V возрастает с увеличением радиуса r_6 барабана. Так,

при радиусе $r_6 = 0,05$ м максимальная скорость $V = 3,4$ м/с; при $r_6 = 0,15$ м $V = 5,8$ м/с; при $r_6 = 0,10$ м $V = 4,7$ м/с, при $r_6 = 0,2$ м $V = 7,0$ м/с.

Выводы

В результате проведенных теоретических исследований получены уравнения, позволяющие определить значения угловой ω_4 и линейной V скоростей движения частицы материала при его движении в терочном устройстве тангенциального типа.

Библиографический список

1. Панасенко В.Е., Горбачев И.В. Исследование устройств для выделения семян из бобов многолетних трав // Разработка и совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: Межвуз. сб. науч. тр. М.: МСХА, 1990. С. 44-53.
2. Панасенко В.Е., Горбачев И.В. Устройства выделения семян трав // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1989. № 1. С. 17-19.
3. Симонов М.В. Анализ устройств для вытирания семян трав // Совершенствование технических средств для механизации сельскохозяйственных процессов // Сб. тр. НИИСХ Северо-Востока. Киров, 2000. С. 108-111.
4. Бурков А.И., Симонов М.В., Мокиев В.Ю. Результаты исследований вытирающе-скарифицирующего устройства семян трав // Сб. науч. докладов Международной научно-технической конференции «Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий» 17-18 сентября 2014 г. М.: ВИМ, 2014. С. 272-276.
5. Симонов М.В., Мокиев В.Ю. Исследование процесса перемещения материала в вытирающе-скарифицирующем устройстве // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Сб. науч. тр. IX Международной науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение». Киров: ФГБУ ВПО Вятская ГСХА, 2016. Вып. 17. С. 236-241.
6. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1990. 607 с.
7. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1995. 416 с.
8. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. 832 с.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Изд. Физико-математической литературы, 1959. 608 с.
10. Мухин П.Г. Исследование процесса вытирания семян многолетних трав: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1952. 146 с.

Статья поступила 26.03.2018

THEORETICAL DETERMINATION OF THE VELOCITY OF PROCESSED MATERIAL PARTICLES IN A TANGENTIAL DEVICE FOR GRASS SEED EXTRACTION

ALEKSEI V. ALESHKIN, DSc (Eng), Professor

E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

MAKSIM V. SIMONOV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: simaksim@mail.ru

VALENTIN YU. MOKIYEV, PhD (Eng)

E-mail: dizel154@bk.ru

Federal Agricultural Research Centr of the North-East named N.V. Rudnitsky; Lenina Str., 166a, Kirov, 610007, Russian Federation

The authors have conducted theoretical study of the movement of material particles in the space between a rotating drum surface and a tangential extraction device deck to determine the velocity of moving particles. The authors claim that to separate clover seeds from shells, it is advantageous to use a device acting under the predominant influence of friction forces. The peculiarity of the considered device for extracting grass seeds is that the movement of material and the destruction of seed shells is caused mainly by friction forces. To obtain an analytical description of the process of moving material particles in the space between the rotating deck and the drum surface and determine the velocities of particles, theoretical studies have been carried out. A hypothesis has been put forward that the necessary condition for the movement of material particles is made in case the frictional force between the drum surface and particles reaches a value sufficient to overcome the frictional forces between the particles and a fixed deck. On the basis of the proposed hypothesis the authors have obtained equations allowing to determine the values of angular and linear velocities of a material particle in the tangential device for extracting grass seeds. It has been established that the angular velocity of a particle increases along with an increase in the friction coefficient of the material relating to the drum and decreases along with an increase of the friction coefficient relating to the device deck. As the drum radius increases, the angular velocity decreases as well. The linear velocity of a particle at the inlet of the extracting device is minimal, and the maximum value is observed at the device outlet. The linear velocity increases as the drum radius increases. The equations obtained as a result of the study allow to determine the values of angular and linear velocities of material particles entering the tangential device for extracting grass seeds.

Key words: grass seeds, grass seed extraction, extraction device, friction force, movement of material particles, velocity of moving particles.

References

1. Panasenko V. Ye., Gorbachev I.V. Issledovaniye ustroystv dlya vydeleniya semyan iz bobov mnogoletnikh trav [Study of the devices for seed separation from beans of perennial grasses]. *Razrabotka i sovershenstvovaniye rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin: Mezhevuz. sb. nauch. tr.* Moscow, MSKhA, 1990. Pp. 44-53. (in Rus.)
2. Panasenko V. Ye., Gorbachev I.V. Ustroystva vydeleniya semyan trav [Devices for extracting grass seeds]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva.* 1989. No. 1. Pp. 17-19. (in Rus.)
3. Simonov M.V. Analiz ustroystv dlya vytiraniya semyan trav [Analysis of devices for extracting grass seeds]. *Sovershenstvovaniye tekhnicheskikh sredstv dlya mekhanizatsii sel'skokhozyaystvennykh protsessov. Sb. tr. NIISKh Severo-Vostoka.* Kirov, 2000. Pp. 108-111. (in Rus.)
4. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiyev V.Yu. Rezul'taty issledovaniy vytirayushche-skarifitsiruyushchego ustroystva semyan trav [Research results of an extracting-and-scarifying device for grass seeds]. *Sb. nauch. dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy" 17-18 sentyabrya 2014 g.* Moscow, VIM, 2014. Pp. 272-276. (in Rus.)
5. Simonov M.V., Mokiyev V.Yu. Issledovaniye protsessa peremeshcheniya materiala v vytirayushche-skarifitsiruyushchem ustroystve [Study of a process of material movement in an extracting-and-scarifying device]. *Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: Sb. nauch. tr. IX Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. "Nauka-Tekhnologiya-Resursosberezeniye".* Kirov: FGBU VPO Vyatskaya GSKhA, 2016. Issue 17. Pp. 236-241. (in Rus.)
6. Nikitin N.N. Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Course of theoretical mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1990. 607 p. (in Rus.)

7. Targ S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki [Brief course of theoretical mechanics]. Moscow, Vyssh. shk., 1995. 416 p.(in Rus.)

8. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Reference book on mathematics for researchers and engineers]. Moscow, Nauka, 1978. 832 p.(in Rus.)

9. Bronshteyn I.N., Semendyayev K.A. Spravochnik po matematike [Reference book on mathematics].

Moscow, Izd. Fiziko-matematicheskoy literatury, 1959. 608 p.(in Rus.)

10. Mukhin P.G. Issledovaniye protsessa vytiraniya semyan mnogoletnikh trav: Dis. ... kand. tekhn. nauk [Study of a process of extracting seeds of perennial grasses: PhD (Eng) thesis]. Moscow, 1952. 146 p.(in Rus.)

The paper was received on March 26, 2018

УДК 517.977.5

DOI 10.26897/1728-7936-2018-4-26-32

ПОДЧАСОВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ, заведующий лабораторией¹

E-mail: podch@mail.ru

ПОДЧАСОВ ЕВГЕНИЙ ОЛЕГОВИЧ, ассистент²

E-mail: podchacha@yahoo.com

ТЕРЕНТЬЕВА АРИНА ДМИТРИЕВНА, ассистент²

E-mail: terentyevaad@gmail.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана; 105005, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ УЧАСТКОВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Согласно разработанной ранее математической модели, определяющей параметры точности земельных работ, произведен анализ точности производимых работ с учетом сил резания. Прежняя математическая модель рабочего механизма экскаватора Четра ЭГП-230 дополнена динамическими характеристиками. Построена циклограмма работ, и с ее помощью выявлена оценка каждого из гидроцилиндров рабочего механизма на точность формирования продольного профиля дна разрабатываемой траншеи. Произведена оценка отклонения значения входной обобщенной координаты от времени, задаваемой перемещением штока гидроцилиндра под действием сил, от теоретического значения, задаваемого управляющим воздействием. Обнаруженное несоответствие перемещений по обобщенной координате от штока гидроцилиндра и от теоретического управляющего воздействия влияет также и на координаты выходного воздействия на режущей кромке ковша рабочего механизма. Значения координат входного и выходного воздействия с учетом динамических характеристик рабочего механизма и возможного запаздывания гидропривода могут значительно отличаться от теоретических положений, что неизбежно приводит к несовершенству производства земляных работ и является дополнительным источником погрешностей отклонений формы продольного профиля дна траншеи. При учете динамических характеристик рабочего механизма разница между заданным и получаемым положениями составляет 0,0892 м. А суммарная динамическая погрешность положения режущей кромки ковша рабочего механизма с учетом сил резания и возможного запаздывания гидропривода составляет 0,1176 м. Полученное значение превышает требуемое значение (0,05 м) более чем в 2 раза. По результатам моделирования выявлено, что соответствие всех звеньев техническим требованиям не гарантирует соблюдения требуемой точности перемещения выходного звена кинематической цепи, а значит, недобор грунта в основании траншеи может превысить требуемое значение (0,05 м), либо возможна увеличенная выемка грунта, что может привести к невозможности прокладки мелиоративных систем.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор, математическая модель, система управления, циклограмма, сила резания, точность, точное земледелие.