

УДК 631.362.3**Алієв Е.Б.***к.т.н., завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва**Інститут олійних культур НААН**Запоріжжя, Україна**E-mail: aliev@meta.ua***Яропуд В.М.***к.т.н., старший викладач кафедри сільськогосподарських машин**Вінницький національний аграрний університет,**Вінниця, Україна**E-mail: yaropud77@gmail.com***Гаврильченко О.С.***к.т.н., доцент кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві**Дніпровський державний аграрно-економічний університет**Дніпро, Україна**E-mail: tvrtdau@i.ua***Драчов А.В.***магістрант**Дніпровський державний аграрно-економічний університет**Дніпро, Україна**E-mail: tvrtdau@i.ua*

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ НАСІННЯ ПО ЛОПАТІ БАРАБАНА ВІБРОДОЗАТОРА

Анотація

На сьогодні найбільш розповсюджені для дозування сипких матеріалів вібродозатори, які мають різне призначення і, відповідно, і різну конструкцію. Сучасна конструкція вібродозатора має широкий спектр застосування в агропромисловому виробництві, починаючи з дозування компонентів комбікормів і закінчуючи розділенням потоків насіння для фотоелектронного сепаратора. Метою досліджень є розробка фізико-математичної моделі руху насіння по лопаті барабана вібродозатора. В процесі досліджень використано елементи аналітичної геометрії і методи класичної механіки, обрано метод визначення положення однієї насінини в певний момент часу, виходячи з рівнянь класичної механіки. В результаті аналітичних досліджень розроблено фізико-математичну модель руху насіння по лопаті барабана, згідно якої встановлено залежність швидкості переміщення насінини від модуля її радіус-вектора для різних значень частоти обертання барабана.

Ключові слова: модель, теоретичні дослідження, лопать, насіння, вібродозатор, рух.

Вступ. На сьогодні найбільш розповсюджені для дозування сипких матеріалів є вібродозатори. Вони мають різне призначення і відповідно і різну конструкцію [1-3]. Розроблена конструкція вібродозатора (рисунок 1) має широкий спектр застосування в агропромисловому виробництві починаючи з дозування компонентів комбікормів і закінчуючи розділення потоків насіння для фотоелектронного сепаратора. Розроблений вібродозатор (рисунок 1) складається з бункеру 1, барабана 2 із радіально розташованими лопатями 3 і віброрізка 4 із повздовжніми каналами 5. Вібродозатор працює наступним чином. Насіння (або компоненти комбікормів) під дією сили тяжіння потрапляє в бункер 1.

Далі барабан 2 із радіально розташованими лопатями 3, виконуючи обертальний рух, захоплює насіння з бункера 2 і переносить до вібротокотка 4. Вібротокоток 4 розташований під кутом до горизонту виконує періодичне поперечне переміщення з одного боку до іншого, змушуючи насіння рухатися вздовж повздовжніх каналів 5. Після чого насіння покидає вібротокоток 4 і потрапляє до наступного технічного засобу технологічної лінії.

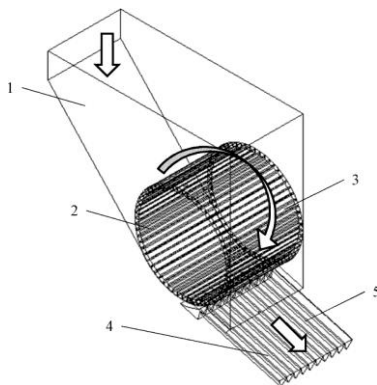


Рис. 2. Конструктивно-технологічна схема вібродозатора:
1 – бункер; 2 – барабан; 3 – лопаті; 4 – вібротокоток; 5 – повздовжні канали

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні існує багато фізико-математичних методів описання процесу роботи представленого вібродозатора: емпіричний; аналізу структури потоків матеріалу за допомогою функції розподілення часу перебування часток; механіки суцільних середовищ; ентропійно-інформаційний; статистичний [4-6]. Однак для подальших досліджень було обрано метод визначення положення однієї насінини в певний момент часу виходячи з рівнянь класичної механіки.

Мета. Розробити фізико-математичну модель руху насіння по лопаті барабана вібродозатора.

Методологія дослідження. В процесі досліджень були використані елементи аналітичної геометрії і методи класичної механіки.

Результати. Розмір лопаті барабана залежить від геометричних розмірів насінини, яку вона захоплює. Тому спираючись на різноманіття насіння приймаємо середнє значення довжини насінини 0,008 м. Тоді $l = 0,01$ м. Кількість лопатей можна розрахувати за формулою:

$$N = \left[\frac{2\pi g_0 - l}{l} + 1 \right], \quad (1)$$

де g_0 – зовнішній радіус барабана, м;

l – довжина лопаті, м;

N – кількість лопатей.

Приймаючи зовнішній радіус барабана $g_0 = 0,07$ м отримуємо $N = 38$.

Надання насінини кінетичної енергії, необхідної для її транспортування, характеризується переміщенням її по лопаті під дією інерційних сил і завершується її сходом з неї. При розрахунку параметрів переміщення насінини лопаттю вихідними даними є частота обертання барабана і його радіус та початкове положення насінини [7-9]. При аналізі руху насінини по лопаті приймаємо її пружною [10-11].

На насінину, яка потрапила на лопать, діють наступні сили: сила тяжіння F_g ,

нормальна реакція F_N , сила інерції F_{in} , сила Кориоліса F_K , сила тертя F_f і відцентрова сила F_ω (рис. 2).

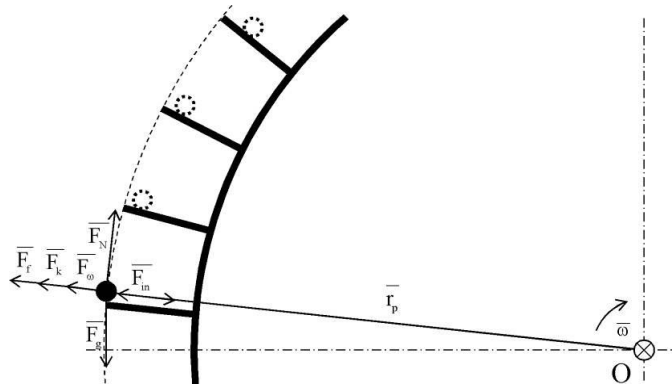


Рис. 2. Розрахункова схема сил, що діють на насініну, яка потрапила на лопать

Розглядаючи умову рівноваги насініни, що розташована на лопаті (рис. 2), запишемо її рівняння у векторному вигляді

$$\overline{F}_{in} = \overline{F}_g + \overline{F}_\omega + \overline{F}_k + \overline{F}_f + \overline{F}_N, \quad (2)$$

де \overline{F}_{in} – сила інерції, що діє на насініну, Н:

$$\overline{F}_{in} = \Omega_p \cdot \rho_p \frac{d\overline{V}_p}{dt}; \quad (3)$$

Ω_p – об'єм насініни, м³;

ρ_p – густина насініни, кг/м³;

\overline{V}_p – вектор швидкості руху насініни $\overline{V}_p = \frac{d\overline{r}_p}{dt}$, м/с;

t – час, с;

\overline{F}_g – сила тяжіння, що діє на насініну, Н:

$$\overline{F}_g = \Omega_p \cdot \rho_p \cdot \overline{g}; \quad (4)$$

\overline{g} – прискорення вільного падіння, м/с²;

\overline{F}_ω – відцентрова сила, спрямована уздовж миттєвого радіуса переносного обертання точки, Н:

$$\overline{F}_\omega = \Omega_p \cdot \rho_p \cdot \omega^2 \cdot \overline{r}_p; \quad (5)$$

\overline{r}_p – поточний радіус-вектор положення частки, м;

ω – циклічна частота обертання лопаті, с⁻¹;

$$\omega = 2\pi n; \quad (6)$$

n – частота обертання лопаті, об/с;

\overline{F}_k – сила Кориоліса, спрямована по нормалі до вектору кутової швидкості і вектору нормальної швидкості обертання барабана, Н:

$$\overline{F}_k = 2\Omega_p \cdot \rho_p \cdot \left[\overline{\omega} \times \frac{d\overline{r}_p}{dt} \right]; \quad (7)$$

\overline{F}_f – сила тертя, її напрямок протилежно силі інерції, Н:

$$\overline{F}_f = f \cdot F_N \cdot \frac{\overline{F}_{in}}{F_{in}}; \quad (8)$$

f – коефіцієнт тертя руху частки по лопаті;

\overline{F}_N – нормальна реакція лопаті на насінину, що перпендикулярна поверхні лопаті, Н.

Підставляючи (3)-(8) в рівняння (2) маємо:

$$\Omega_p \rho_p \frac{d\overline{V}_p}{dt} = \Omega_p \rho_p \overline{g} + 4\Omega_p \rho_p \pi^2 n^2 \overline{r}_p + 4\Omega_p \rho_p \pi n \left[\overline{e}_\omega \times \frac{d\overline{r}_p}{dt} \right] + f F_N \frac{\overline{F}_{in}}{F_{in}} + \overline{F}_N. \quad (9)$$

Проекції на вісь g і перпендикулярну їй вісь рівняння (9) приймає вигляд:

$$\begin{cases} \Omega_p \rho_p \frac{d^2 \overline{r}_p}{dt^2} = \Omega_p \rho_p \overline{g} \cdot \sin \varphi + 4\Omega_p \rho_p \pi^2 n^2 \overline{r}_p + 4\Omega_p \rho_p \pi n \cdot \frac{d\overline{r}_p}{dt} - f F_N, \\ F_N = \Omega_p \rho_p \overline{g} \cos \varphi, \end{cases} \quad (10)$$

або

$$\frac{d^2 \overline{r}_p}{dt^2} - 4\pi n \frac{d\overline{r}_p}{dt} - 4\pi^2 n^2 \overline{r}_p = g \left[\sin \varphi - f \cos \varphi \right]; \quad (11)$$

де φ – кут повороту лопаті, рад:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t. \quad (12)$$

де φ_0 – початковий кут повороту лопаті, рад:

Остаточно маємо:

$$\frac{d^2 \overline{r}_p}{dt^2} - 4\pi n \frac{d\overline{r}_p}{dt} - 4\pi^2 n^2 \overline{r}_p = g \left[\sin(\varphi_0 + 2\pi n t) - f \cos(\varphi_0 + 2\pi n t) \right]; \quad (13)$$

або

$$\frac{d^2 \overline{r}_p}{dt^2} - 4\pi n \frac{d\overline{r}_p}{dt} - 4\pi^2 n^2 \overline{r}_p = g \sqrt{1+f^2} \sin \left(\varphi_0 + 2\pi n t - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} \right). \quad (14)$$

Рішенням диференційного рівняння (14) є:

$$\begin{aligned} r_p(t) = & C_1 \exp \left[2\pi n \left(\sqrt{2} + 1 \right) t \right] + C_2 \exp \left[\pi n \left(\sqrt{2} - 1 \right) t \right] - \frac{g \sqrt{1+f^2}}{16\pi^2 n} \times \\ & \times \left[\cos \left(2\pi n t + \varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} \right) - \sin \left(2\pi n t + \varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} \right) \right], \end{aligned} \quad (15)$$

де C_1, C_2 – сталі інтегрування.

Граничними умовами для рівняння (15) є

$$\begin{aligned} r_p'(0) &= 0, \\ r_p(0) &= r_0, \end{aligned} \quad (16)$$

Підставляючи (15) в (16) маємо

$$\begin{cases} 0 = C_1 + C_2 - \frac{g\sqrt{1+f^2}}{16\pi^2 n} \times \left[\cos\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) - \sin\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) \right], \\ r_0 = -2\pi n \left(\sqrt{2+1} \tilde{C}_1 + 2\pi n \left(\sqrt{2-1} \tilde{C}_2 - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{g\sqrt{1+f^2}}{16\pi^2 n} \times \left[-2\pi n \sin\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) - 2\pi n \cos\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) \right] \right) \right]. \end{cases} \quad (17)$$

З виразу (17) знайдемо константи інтегрування:

$$\begin{cases} C_1 = -\frac{r_0}{4\pi n \left(\sqrt{2+1} \right)} + \frac{g\sqrt{1+f^2}}{32\pi^2 n \left(\sqrt{2+1} \right)} \times \\ \times \left[\sqrt{2} \cos\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) - \left(\sqrt{2+2} \right) \sin\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) \right], \\ C_2 = \frac{r_0}{4\pi n \left(\sqrt{2+1} \right)} + \frac{g\sqrt{1+f^2}}{32\pi^2 n \left(\sqrt{2+1} \right)} \times \\ \times \left[\left(\sqrt{2+2} \right) \cos\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) - \sqrt{2} \sin\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}\right) \right]. \end{cases} \quad (18)$$

Приймаючи деякі конструктивно-технологічні параметри робочого органу вібродозатора ($f = 0,6$; $\varphi_0 = 0$; $r_0 = 0,7$ м), отримуємо графічні представлення зміни модуля радіус-вектора насінини (рисунок 3) і її швидкості (рисунок 4) від часу для різних значень частоти обертання барабана.

Окрім графічного представлення на рисунках 3 і 4 може служити залежність швидкості переміщення насінини від модуля її радіус-вектора (рисунок 5) для попереднього уявлення характеру і розрахунку параметрів сходу маси з лопати в залежності від частоти обертання барабана.

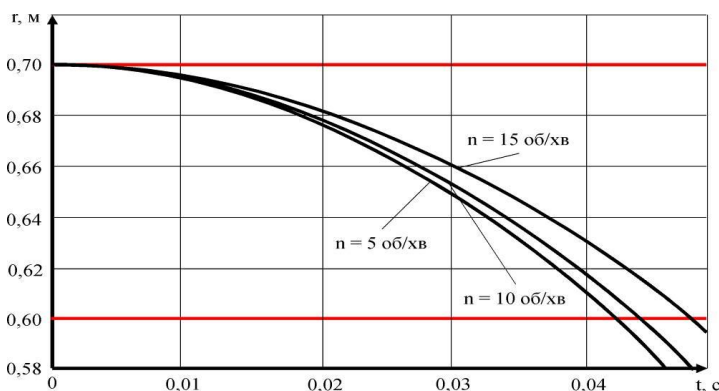


Рис. 3. Зміна модуля радіус-вектора r насінини від часу t для різних значень частоти обертання барабана n

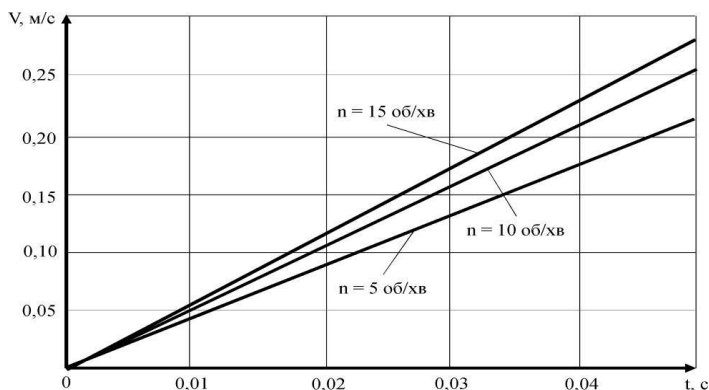


Рис. 4. Зміна модуля швидкості V насінини від часу t для різних значень частоти обертання барабана n

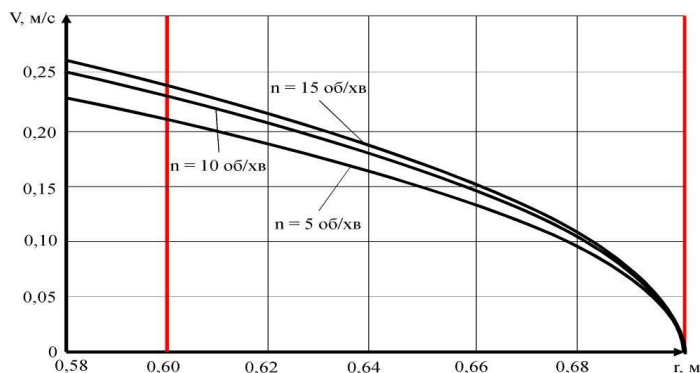


Рис. 5. Залежність швидкості переміщення насінини V від модуля її радіус-вектора r для різних значень частоти обертання барабана n

Висновки і перспективи. В результаті аналітичних досліджень розроблено фізико-математичну модель руху насіння по лопаті барабана, згідно якої встановлено залежність швидкості переміщення насінини V від модуля її радіус-вектора r для різних значень частоти обертання барабана n .

Список використаних джерел

1. Коба В. Г. *Машины для раздачи кормов (теория и расчет)*. Саратов. 1974. 138 с.
2. Авдеев А.В., Сечкин В.С., Галкин В.Д., Новиков М.А., Кошурников А.Ф., Галкин А.Д., Ерошенко Л.И. *Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки и хранения зерна и семян: учебное пособие ; под общ. ред. В.Д. Галкина*. Санкт-Петербург : СПГАУ, 2005. 130 с.
3. Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж. Издательство НПО «МОДЭК», 2006. 384с.
4. Pertti Broas. Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. Trans. VTT Symposium "Virtual prototyping". Espoo, Finland, February 1 st, 2001. P. 73-81.
5. Bai, C. *Modelling of spray impingement processes*. Ph.D Thesis. University of London. 1996.
6. Ахмадиев Ф.Г., Александровский А.А. Моделирование и реализация способов приготовления смесей. *Журнал Всесоюзного хим. общества им. Д.И. Менделеева*. Т. XXXIII. № 4. 1988. С. 24-32.
7. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. Т. 1. Москва : Наука, 1977. 480 с.
8. Власов М. М. Оптимізація параметрів шарнірних ножів роторного подрібнювача. *Вісник сільськогосподарської науки*. 1997. № 10. С. 48-49.

9. Корневич Л. П. К теории движения растительных частиц по передней грани ножа. *Труды Белорусского института механизации сельского хозяйства*. 1989. Вып.12. С. 41-46.

10. Василенко П.М. К методике составления дифференциальных уравнений движения частицы материала по фрикционным рабочим поверхностям сельскохозяйственных машин. *Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин: Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. Киев : Техника, 1973. Вып. 3. С. 37-51.

11. Заика П.М. Кросовицкий Ю.И. Моделирование материальной точкой процессов перемещения семенных смесей. *Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин: Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. Вып. 21. Киев : Техника, 1991. С. 36-40.

*Дата надходження статті до редакції : 06.10.2017
Рецензування 06.11.2017 Прийняття в друк: 14.12.2017*

Aliev E.B.

PhD, Head of the department

Department of technical and technological support of seed production

Institute of Oilseeds

National Academy of Sciences of Ukraine

Zaporizhyya, Ukraine

E-mail: *aliev@meta.ua*

Yaropud V.N.

PhD, Senior Lecturer

Department of agricultural machines,

Vinnitsia National Agrarian University

Vinnitsa, Ukraine

E-mail: *yaropud77@gmail.com*

Gavrilchenko A.S.

PhD, Associate Professor

Department of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry

Dnieper State Agrarian and Economic University

Dnipro, Ukraine

E-mail: *myptddau@i.ua*

Drachov A.V.

Master Student

Dnieper State Agrarian and Economic University

Dnipro, Ukraine

E-mail: *myptddau@i.ua*

PHYSICO-MATHEMATICAL MODEL OF MOVEMENT OF SEEDS ON VIBRO BATCHER DRUMS LEAVE

Abstract

Today, the most common for dispensing bulk materials are vibratory dosing devices. They have a different purpose and, accordingly, a different design. The developed design of the vibrator has a wide range of applications in agro-industrial production, starting with the dosing of feed components and ending with the separation of seed flows for a photoelectric separator. The aim of the research is the development of a physics-mathematical model of the movement of seeds along the vane of the vibro batcher drum. In the process of research, elements of analytic geometry and methods of classical mechanics were used. A method was chosen to determine the position of one seed at a certain time, starting from the equations of classical mechanics. As a result of analytical studies, a physics-mathematical model of the movement of seeds along the drum blade has

been developed, according to which the dependence of the rate of seed movement on the module of its radius vector for different values of the drum rotation frequency has been established.

Keywords: model, theoretical studies, vane, seeds, vibro batcher, motion.

References

1. Koba, V. G. (1974). *Mashiny dlya razdachi kormov (teoriya i raschet)* [Machines for the distribution of feed (theory and calculation)]. Saratov. [in Russ.]
2. Avdeyev, A.V., Sechkin, V.S., Galkin, V.D., Novikov, M.A., ... Yeroshenko, L.I. (2005). *Agregaty i komplekxy dlya posleuborochnoy obrabotki i khraneniya zerna i semyan: uchebnoye posobiye ; pod obshch. red. V.D. Galkina* [Aggregates and complexes for post-harvest processing and storage of grain and seeds: a training manual (Edited by V.D. Galkin.). S. Pb.: SPGAU. [in Russ.]
3. Drincha, V.M. (2006). *Issledovaniye separatsii semyan i razrabotka mashinnykh tekhnologiy ikh podgotovki*. [Seed separation research and development of machine technologies for their preparation]. Voronezh: Izdatel'stvo NPO «MODEK». [in Russ.]
4. Pertti, Broas (2001). *Preimushchestva i problemy CAVE-vizualizatsii dlya tseley proyektirovaniya. Sdelka Simpozium VTT «Virtual'noye prototipirovaniye»*. Espoo, Finland. P. 73-81.
5. Bay, S. (1996). *Modelling of spray impingement processes*. Ph.D Thesis. University of London.
6. Akhmediyev, F.G., & Aleksandrovskiy, A.A. (1988). Modelirovaniye i realizatsiya sposobov prigotovleniya smesey [Modeling and implementation of methods for preparing mixtures]. *Zhurnal Vsesoyuznogo khim. obshchestva im. D.I. Mendeleeva, 4(XXXIII)*, 24-32. [in Russ.]
7. Kil'chevskiy, N.A. (1977). *Kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Course of Theoretical Mechanics]. Moscow: Nauka. [in Russ.]
8. Vlasov, M. M. (1997). Optimizatsiya parametrov sharnirnykh nozhiv rotornogo podribnyuvacha [Optimization of the parameters of the hinged knives of the rotary shredder]. *Visnik sil'skogospodars'koï nauki, 10*, 48-49. [in Ukr.]
9. Korenevich, L. P. (1989). K teorii dvizheniya rastitel'nykh chastits po peredney grani nozha [To the theory of the motion of plant particles along the front face of a knife]. *Trudy Belorusskoho instituta mekhanizmov selskokho khoziaystva, 12*, 41-46. [in Russ.]
10. Vasilenko, P.M. (1973). K metodike sostavleniya differentsial'nykh uravneniy dvizheniya chastits po friktsionnym rabochim poverkhnostyam sel'skokhoziaystvennykh mashin [To the method of compiling differential equations of motion of a particle of material along frictional working surfaces of agricultural machines]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya proizvodstva sel'skokhoziaystvennykh mashin: Respublikanskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskyy sbornik, 3*, 37-51. [in Russ.]
11. Zaika, P.M., & Krosovitskiy, Yu.I. (1991). Modelirovaniye material'noy oblasti protsessov peremeniya semennykh smesey [Modeling the material point of the processes of displacement of seminal mixtures.]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya proizvodstva sel'skokhoziaystvennykh mashin: Respublikanskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskyy sbornik, 21*, 36-40. [in Russ.]

Received: October 06, 2017

Revision: November 6, 2017 Accepted: December 14, 2017