

## МЕХАНИЗАЦИЯ

УДК 631.361.4

doi: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.119-123

### Теоретическое определение степени вытирания семян бобовых трав клеверотеркой

М.В. Симонов, В.Ю. Мокнев

ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", г. Киров, Российская Федерация

*Исследование проведено с целью вывести аналитические зависимости, позволяющие математически определить показатели качества выполнения технологического процесса. Объектом данного исследования является процесс вытирания семян трав. Для достижения поставленной цели была использована ранее составленная схема работы подобных устройств, выведенные ранее аналитические зависимости, был принят ряд допущений и изучен процесс вытирания семян трав при их тангенциальном движении в рабочем пространстве между декой и барабаном. В результате исследования предложены аналитические зависимости, описывающие движение частиц обрабатываемого материала в вытирающем устройстве тангенциального типа, которые позволяют определить степень вытирания семян и рассчитать основные конструктивные параметры устройства на стадии проектирования. Проведенные теоретические исследования и полученные аналитические зависимости позволили с достаточной точностью определить радиус  $r_b$  барабана и частоту вращения  $n_b$  вытирающего устройства тангенциального типа в зависимости от требований по обеспечиваемой устройством степени вытирания семян. Например, при  $r_b = 0,15$  м,  $n_b = 1250$  мин<sup>-1</sup> степень вытирания  $\varepsilon$  составляет 95%, а в эксперименте – 95% при том же значении радиуса и частоте вращения барабана. Математические модели функционирования вытирающего устройства и определенные с их помощью оптимальные конструктивно-технологические параметры могут быть использованы при разработке подобных устройств.*

**Ключевые слова:** барабан, дека, вытирающее устройство тангенциального типа, пыжина клевера, семена клевера

За последние десятилетия валовое производство семян многолетних трав сократилось в 3-4 раза по сравнению с концом 80-х годов XX века, а кондиционные семена составляют около 40% их валового сбора [1]. Сложившееся положение наряду с организационно-экономическими факторами во многом объясняется отсутствием специальных технологий и технических средств для уборки, послеуборочной и предпосевной обработки [2, 3, 4]. В технологии послеуборочной обработки семян трав вытирание является одной из самых трудоемких операций, для выполнения которой используются специальные вытирающие устройства – клеверотерки. В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработано и исследовано вытирающее устройство тангенциального типа, содержащее корпус, цилиндрический барабан с горизонтальной осью вращения и наружной сплошной терочной поверхностью, деку с глухой терочной поверхностью, загрузочную горловину, выходной патрубок. Техническая новизна разрабатываемого тангенциального вытирающего устройства семян бобовых трав заключается в том, что наружная сплошная терочная поверхность цилиндрического барабана выполнена из стальных прутков шестигранного проката, установленных на ребро [5]. Особенностью разрабатываемого тангенциального вытирающего

устройства является то, что разрушение оболочки семян происходит преимущественно за счет сил трения, а перемещение материала – за счет разности сил трения [6].

Полученные результаты исследований по определению средней скорости движения частицы в тангенциальном устройстве и его пропускной способности при обработке семян бобовых трав позволяют вывести аналитические зависимости для теоретического определения степени вытирания семян бобовых трав.

**Цель исследования** – вывести аналитические зависимости, позволяющие математически определить степень вытирания семян бобовых трав (клевера).

**Материал и методы.** Объектом исследования являлся процесс вытирания семян бобовых трав. При проведении теоретических исследований применялся математический метод аналитического решения уравнения. Для достижения поставленной цели разработана математическая модель, которая представляет собой математическое уравнение, описывающее основные стороны изучаемого процесса вытирания семян бобовых трав в тангенциальном устройстве. Для упрощения рассматриваемого процесса приняты некоторые допущения, не оказывающие существенного влияния на точность проводимых исследований. Взаимо-

связь основных параметров вытирающего устройства и показателей качества выполнения технологического процесса, базирующихся на выведенных ранее аналитических зависимостях, позволяет математически описать процесс перемещения частиц обрабатываемого материала в вытирающем устройстве [6].

**Результаты и их обсуждение.** Для математического описания процесса примем допущение, что материал представляет собой равномерный слой, состоящий из отдельных частиц, перемещающихся в зазоре между декой и барабаном. Для анализа степени вытирания разрабатываемого вытирающего устройства примем, что обрабатываемый материал, попадая между декой и барабаном, подвергается воздействию бичей шириной  $h_b$  в количестве  $z$  (рис. 1). Отношение  $e = M:N$ , где  $M$  количество вытертых семян из общего количества  $N$  частиц, назовем степенью или вероятностью вытирания за одно воздействие бича [7, 8].

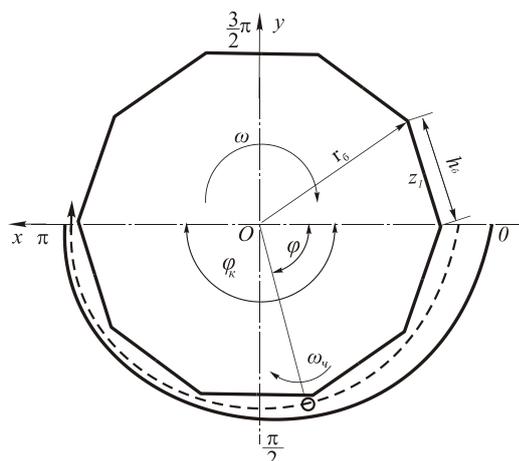


Рис. 1. Схема для определения количества  $p$  воздействий барабаном на частицу в вытирающем устройстве

Предполагая, что до соприкосновения со следующим бичом в той же порции все частицы как вытертые семена, так и находящиеся в оболочках располагаются более равномерно, можно сказать, что при взаимодействии с бичом будут не только одни невытертые частицы, но и вытертые семена и их оболочки. Допускаем, что вероятность для каждой частицы подвергнуться вытиранию при первом, втором, третьем и любом другом взаимодействии бича остается постоянной, то есть количество вновь получаемых из той же порции вытертых семян уменьшается.

Следовательно, за одно воздействие бича из  $N$  частиц вытирается количество семян [9]

$$M_1 = Ne, \tag{1}$$

невытертых остается

$$N - M_1 = N(1 - e). \tag{2}$$

За второе воздействие бича из этого количества

$$M_2 = Ne(1 - e) \tag{3}$$

остается невытертых частиц

$$N - (M_1 + M_2) = N - Ne + Ne^2 = N(1 - 2e + e^2). \tag{4}$$

За третье воздействие вытирается

$$M_3 = N\epsilon(1 - \epsilon)^2, \tag{5}$$

а за  $p$ -е воздействие

$$M_p = Ne(1 - e)^{p-1}. \tag{6}$$

Таким образом, производя последовательное суммирование, получаем, что за  $p$  воздействий вытирается

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_p = N \left( p\epsilon - \frac{p(p-1)}{2!} \epsilon^2 + \frac{p(p-1)(p-2)}{3!} \epsilon^3 - \dots - (-1)^p \epsilon^p \right) \tag{7}$$

или

$$\sum M_p = N[1 - (1 - e)^p]. \tag{8}$$

Суммарная степень вытирания определяется

$$\frac{\sum M}{N} = \epsilon \tag{9}$$

или [9]

$$\epsilon = 1 - (1 - e)^p. \tag{10}$$

Значения величины  $e$ , найденные опытным путем, колеблются в пределах 0,03...0,08 [10]. Для того чтобы определить количество воздействий  $p$ , оказываемых на порцию обрабатываемого материала бичом барабана, можно воспользоваться выведенным ранее нами уравнением для определения максимальной угловой скорости движения частицы [6]:

$$\dot{\varphi}_k = \sqrt{\varphi_0^2 + \left( \left( \frac{(f_b - f_d)c\eta}{\rho} \right) \left( \frac{\varphi_k^2 - \varphi_0^2}{2} \right) + \frac{g}{\rho} (\sin\varphi_k - \sin\varphi_0) \right)} \tag{11}$$

где  $\dot{\varphi}_k$  – значение угловой скорости частицы, рад/с;  $f_b$  – коэффициент трения вороха о торцовую поверхность барабана;  $f_d$  – коэффициент трения вороха о поверхность деки;  $c$  – модуль упругости вороха пыжины, Н/м<sup>2</sup>;  $\eta$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий изменение толщины слоя материала вследствие уменьшения зазора между барабаном и декой по мере движения частицы от входа к выходу, м/рад;  $\rho$  – радиус кривизны траектории движения частиц.

С некоторыми допущениями угловую среднюю скорость  $\omega_i$  движения частицы в вытирающем устройстве можно принять как среднее значение конечной и начальной скоростей:

$$\omega_i = \frac{\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_0}{2}. \tag{12}$$

Для определения угловой скорости барабана используем выражение<sup>1</sup>:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}_\delta. \quad (13)$$

Угол поворота барабана за время  $t_k$  нахождения частицы в рабочем пространстве между барабаном и декой определяется из выражения<sup>2</sup>:

$$\varphi_\delta = \omega \cdot t_k, \quad (14)$$

где  $t_k$  – время нахождения частицы в рабочем пространстве между декой и барабаном, с.

Время обработки частицы в вытирающем устройстве равно времени  $t_k$  нахождения частицы в рабочем пространстве между декой и барабаном, т.е равно отношению угла  $\varphi_k$  к средней скорости  $\omega_c$  движения частицы. Для расчетов принимаем, что  $\varphi_k = \pi$  (рис. 1).

Численное количество воздействий  $p$  за время  $t_k$  нахождения частицы в рабочем пространстве между декой и барабаном определяется

$$p = \frac{\varphi_k}{2\pi} \cdot z, \quad (15)$$

где  $z$  – количество бичей в окружности барабана радиусом  $r_\delta$ .

$$z = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_\delta}{h_\delta}, \quad (16)$$

где  $h_\delta$  – ширина бича барабана, м.

Время  $t_k$  обработки частицы в вытирающем устройстве равно

$$t_k = \frac{\varphi_k}{\omega_c} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0}. \quad (17)$$

Частица обрабатываемого материала, двигаясь в вытирающем устройстве от входа к выходу с угловой скоростью  $\omega_c$ , проходит за время  $t_k$  расстояние, равное длине деки вытирающего устройства. В это же время барабан терочного устройства вращается с угловой скоростью  $\omega$ . Принимая, что движение частицы происходит по образующей внутренней поверхности деки, можно составить систему уравнений, решение которой позволит определить количество воздействий  $p$ :

$$\begin{cases} t_k = \frac{\varphi_k}{\omega_c}; \\ p = \frac{\omega \cdot t_k}{2\pi} \cdot z. \end{cases} \quad (18)$$

Решая данную систему уравнений и подставляя во второе уравнение системы выражения (12), (16) и (17), получаем

$$p = \frac{\omega \cdot t_k}{2\pi} \cdot z = \frac{\omega \cdot 2\pi \cdot z}{(\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0) \cdot 2\pi} = \frac{\omega \cdot z}{(\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0)} = \frac{\omega}{(\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0)} \cdot \frac{2\pi r_\delta}{h_\delta} = \frac{2\pi r_\delta \omega}{h_\delta \cdot (\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0)}, \quad (19)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана, рад/с.

$$\omega = \frac{2\pi n_\delta}{60} = \frac{\pi n_\delta}{30}, \quad (20)$$

где  $n_\delta$  – частота вращения барабана, мин<sup>-1</sup>.

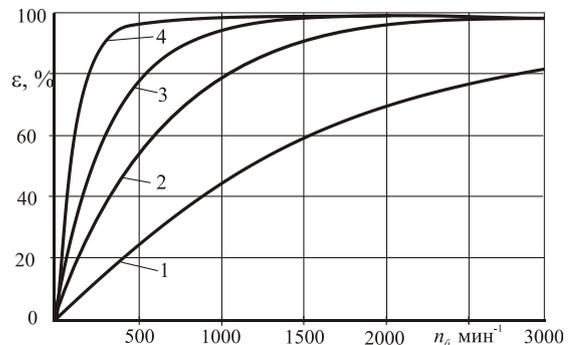
Таким образом, получаем конечное уравнение для определения количества воздействий  $p$ , наносимых бичами шириной  $h_\delta$  при радиусе  $r_\delta$  барабана, вращающегося с частотой вращения  $n_\delta$  по частице, движущейся с начальной  $\dot{\varphi}_0$  и конечной  $\dot{\varphi}_k$  угловой скоростью

$$p = \frac{2\pi r_\delta \omega}{15 h_\delta (\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0)}. \quad (21)$$

Подставляя выражение (21) в (10), получим выражение для определения степени вытирания

$$\varepsilon = 1 - (1 - e)^{\frac{2\pi r_\delta \omega}{15 h_\delta (\dot{\varphi}_k + \dot{\varphi}_0)}}. \quad (22)$$

Решение полученного уравнения выполняли при следующих значениях параметров: ширина бича  $h_\delta = 12$  мм,  $e = 0,03$ ,  $\varphi_k = \pi$ ,  $r_\delta = 0,05 \dots 0,2$  м,  $n_\delta = 0 \dots 3000$  мин<sup>-1</sup>. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.



**Рис. 2. Изменение степени  $\varepsilon$  вытирания от частоты  $n_\delta$  вращения барабана вытирающего устройства: 1 –  $r_\delta = 0,05$  м; 2 –  $r_\delta = 0,10$  м; 3 –  $r_\delta = 0,15$  м; 4 –  $r_\delta = 0,20$  м**

Как видно из графика, степень  $\varepsilon$  вытирания вытирающего устройства увеличивается как от повышения частоты  $n_\delta$  вращения барабана, так и от увеличения радиуса  $r_\delta$  барабана. Это вызвано тем, что увеличение  $n_\delta$  и  $r_\delta$  приводит к увеличению количества  $p$  воздействий барабана на обрабатываемый материал.

<sup>1</sup>Конг Г., Торн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. 832 с.

<sup>2</sup>Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 1959. 608 с.

При радиусе барабана  $r_b = 0,05$  м максимальное значение степени вытирания  $\varepsilon = 81,5\%$  достигается при частоте вращения барабана  $n_b = 3000 \text{ мин}^{-1}$ . При радиусе  $r_b = 0,1 \dots 0,2$  м и частоте  $n_b = 600 \dots 2500 \text{ мин}^{-1}$  степень вытирания  $\varepsilon$  составляет  $60,0 \dots 99,9\%$ . Экспериментальная проверка теоретических исследований показала, что при  $r_b = 0,15$  м и частоте  $n_b = 1200 \text{ мин}^{-1}$  степень  $\varepsilon = 95\%$  [11].

**Заключение.** Таким образом, полученные аналитические зависимости позволяют с достаточной точностью определить радиус  $r_b$  барабана и частоту вращения  $n_b$  вытирающего устройства тангенциального типа в зависимости от требований по обеспечиваемой устройством степени вытирания семян. Например, при радиусе  $r_b = 0,15$  м,  $n_b = 1250 \text{ мин}^{-1}$  расчетная степень вытирания  $\varepsilon$  составляет  $95\%$ . При этом теоретическое значение степени  $\varepsilon$  вытирания семян совпадает с результатами экспериментальных исследований, где степень  $\varepsilon = 95\%$  получена при  $r_b = 0,15$  м и частоте  $n_b = 1250 \text{ мин}^{-1}$  [11].

#### Список литературы

1. Золотарев В.Н., Переpravо Н.И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Нижневолжском регионе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 93-101.
2. Зубарев Ю. Н. Инновационные модели и технологии продуктивности при возделывании многолетних трав // Пермский аграрный вестник. 2015. № 2 (10). С. 3-7.
3. Ситников Н.П. Об управлении семеноводством многолетних трав на региональном уровне // Кормопроизводство. 2013. № 1. С. 20-21.
4. Захаренко А.В., Зубарев Ю.Н., Фатыхов И.Ш., Касаткина Н.И. Возделывание клевера лугового на семена в Предуралье // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2002. № 2. С. 81-97.
5. Терочное устройство: пат. №2549929 Рос. Федерация. № 2013133573/13; заявл. 18.07.2013; опубл. 10.05.2015. Бюл. № 13. 5 с.
6. Симонов М.В., Мокиев В.Ю. Исследование процесса перемещения материала в вытирающе-скарифицирующем устройстве // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: сб. науч. тр. IX Международной научно-практич. конф. "Наука-Технология-Ресурсосбережение": Киров: ФГБУ ВПО Вятская ГСХА, 2016. Вып. 17. С. 236-241.
7. Симонов, М.В., Мокиев В.Ю. Результаты исследований модели вытирающе-скарифицирующего устройства семян трав. // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: сб. науч. тр. VIII Международной научно-практич. конф. "Наука-Технология-Ресурсосбережение": Киров: ФГБУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. Вып. 16. С. 155-158.
8. Халанский В.М., Горбачев И.В., Ахмад А.Ф. Обоснование параметров процесса выделения семян клевера из бобов аксиально-роторным терочным устройством // Доклады ТСХА. М.: МСХА, 1997. Вып. 268. С. 172-179.
9. Халанский В.М., Панасенко В.Е., Богина М.В., Ахмад Ф.А. Теоретический анализ рабочего процесса терочного устройства для обработки семенного вороха бобовых трав // Известия ТСХА. М.: МСХА, 1992. Вып. 2. С. 153-161.
10. Ахламов Ю.Д., Гринчук И.Н., Журкин В.К. Машины для семеноводства трав. М.: Машиностроение, 1968. 172 с.
11. Бурков А.И., Симонов М.В., Мокиев В.Ю. Результаты исследований вытирающе-скарифицирующего устройства при вытирании семян из пыжины клевера // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 3. С. 59-64.

#### Сведения об авторах:

Симонов Максим Васильевич, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, доцент,  
Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат техн. наук, мл. научный сотрудник, e-mail: dizel154@bk.ru

ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail:priemnaya@fanc-sv.ru

*Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka, 2018. Vol. 66, no. 5, pp. 119-123.*

doi: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.119-123

#### **Theoretical definition of legume grass seeds degree of extraction done by machine for seed extraction**

**M.V. Simonov, V.J. Mokiev**

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Kirov, Russian Federation*

The study of the extraction machine was aimed at drawing analytical formulas which allow mathematically determine the quality indicators of the technological process. The object of this study is the process of grass seeds extraction. To achieve the aim, the before made scheme of operation of the similar devices and previously derived analytical dependencies were used, a number of assumptions were made and the process of extraction of grass seeds

by their tangential motion in the workspace between the deck and the drum was studied. As a result of the research analytical dependences describing motion of particles of processed material in the extraction device of tangential type which allow to define degree of seeds extraction and to calculate the basic design parameters of the device at a design stage are offered. The conducted theoretical research and the analytical dependences obtained allowed to define with sufficient accuracy radius  $r_b$  of a drum and frequency of rotation of  $n_b$  of the extraction device of tangential type in dependence to the requirements for the degree of extraction of seeds provided by the device. For example, if the radius  $r_b = 0.15$  m,  $n_b = 1250$  min<sup>-1</sup> the degree of extraction  $\varepsilon$  is 95 %, in the experiment it is 95% with the same frequency of drum rotation. Mathematical models of the extraction device functioning and optimal design and technological parameters defined with their help can be used in the development of similar devices.

**Key words:** drum, deck, extraction device of tangential type, wad of clover, clover seed

### References

1. Zolotarev V.N., Perepravo N.I. *Sostoyanie travoseyaniya i perspektivy razvitiya semenovodstva mnogoletnikh trav v Rossii i Nizhnevolzhskom regione*. [Grass sowing condition and prospects of seed production of perennial grasses in Russia and the lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2016. no. 1 (41). pp. 93-101.
2. Zubarev Yu.N. *Innovatsionnye modeli i tekhnologii produktivnosti pri vozdeleyvanii mnogoletnikh trav*. [Innovative models and technologies of productivity in the cultivation of perennial grasses]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2015. no. 2 (10). pp. 3-7.
3. Sitnikov N.P. *Ob upravlenii semenovodstvom mnogoletnikh trav na regional'nom urovne*. [About management of seed production of perennial grasses at the regional level]. *Kormoproizvodstvo*. 2013. no. 1. pp. 20-21.
4. Zakharenko A.V., Zubarev Yu.N., Fatykhov I.Sh., Kasatkina N.I. *Vozdeleyvanie klevera lugovogo na semena v Predural'e*. [Cultivation of clover seeds in Mid-Ural region]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2002. no. 2. pp. 81-97.
5. Burkov A. I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. *Terochnoe ustroystvo*. [Device for extraction seeds of grasses]. Patent RF, no 2549929, 2015.
6. Simonov M.V., Mokiev V.Yu. *Issledovanie protsessy peremeshcheniya materiala v vytirayushche-skarifitsiruyushchem ustroystve*. [The research of process of movement the material in the device for extraction and scarification of grass seeds]. *Uluchshenie ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: sb. nauch. tr. IX Mezhdunarodnoy nauchno-praktich. konf. "Nauka-Tekhnologiya-Resursoberezhenie"*. [Improving the indicators of exploitation agricultural energetics: collection of scientific papers of IX International scientific-practical Conf. "Science-Technology-Resource saving"]. Kirov: *FGBU VPO Vyatskaya GSKhA*, 2016. Iss. 17. pp. 236-241.
7. Simonov M.V., Mokiev V.Yu. *Rezultaty issledovaniy modeli vytirayushche-skarifitsiruyushchego ustroystva semyan trav*. [The results of research of the grass seeds extraction and scarification device model]. *Uluchshenie ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: sb. nauch. tr. VIII Mezhdunarodnoy nauchno-praktich. konf. "Nauka-Tekhnologiya-Resursoberezhenie"*. [Improving the indicators of exploitation agricultural energy: collection of scientific papers of VIII International scientific-practical Conf. "Science-Technology-Resource saving"]. Kirov: *FGBU VPO Vyatskaya GSKhA*, 2015. Iss. 16. pp. 155-158.
8. Khalanskiy V.M., Gorbachev I.V., Akhmad A.F. *Obosnovanie parametrov protsessy vydeleyaniya semyan klevera iz bobov aksial'norotornym terochnym ustroystvom*. [Substantiation of the parameters of process of clover seed extraction from beans by an axial-rotor device]. *Doklady TSKhA*. Moscow: *MSKhA*, 1997. Iss. 268. pp. 172-179.
9. Khalanskiy V.M., Panasenko V.E., Bogina M.V., Akhmad F.A. *Teoreticheskiy analiz rabochego protsessy terochnogo ustroystva dlya obrabotki semennogo vorokha bobovykh trav*. [Theoretical analysis of the operation of the device for the extraction clover seeds from wad of grass]. *Izvestiya TSKhA*. Moscow: *MSKhA*, 1992. Iss. 2. pp. 153-161.
10. Akhlamov Yu.D., Grinchuk I.N., Zhurkin V.K. *Mashiny dlya semenovodstva trav*. [Machines for seed-growing of grasses]. Moscow: *Mashinostroenie*, 1968. 172 p.
11. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. *Rezultaty issledovaniy vytirayushche-skarifitsiruyushchego ustroystva pri vytiranii semyan iz pyzhiny klevera*. [Results of researches of the device for extraction and scarification of seeds from wad of clover]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2013. no. 3. pp. 59-64.

### Information about the authors:

M.V. Simonov, PhD in Engineering, senior researcher, associate professor,  
V.J. Mokiev, PhD in Engineering, junior researcher

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru