



Теоретическое обоснование основных параметров аксиальных устройств для вытирания семян трав

М. В. Симонов¹, С. А. Плотников¹, В. Ю. Мокиев²✉

¹ Вятский государственный университет
(г. Киров, Российская Федерация)

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого (г. Киров, Российская Федерация)

✉ dizel154@bk.ru

Аннотация

Введение. Проведя обзор литературных источников, нами установлено, что на данный момент не существует достоверных методик, позволяющих теоретически определять основные параметры аксиальных устройств для вытирания семян трав и нужно провести исследования для установления математической взаимосвязи между ними и показателями качества.

Цель статьи. Теоретически обосновать зависимость основных параметров аксиальных вытирающих устройств семян трав от требований по качеству получения семян трав посредством вытирания.

Материалы и методы. Совокупность заранее известных сведений по работе аксиальных вытирающих устройств с барабаном, с установленными на нем бичами, обзор работ авторов и собственные наблюдения рабочего процесса клеверотерки К-0,3 позволили установить основные предпосылки, на основе которых построен алгоритм решения поставленной задачи.

Результаты исследования. В результате теоретического рассмотрения движения частиц материала в рабочем пространстве барабанно-декового аксиально-роторного вытирающего устройства получена система математических уравнений. Решение полученной системы уравнений позволяет определить среднее значение скорости движения частиц в осевом направлении и количество воздействий, наносимых по ним бичами в процессе перемещения. Получено выражение, связывающее степень вытирания семян и основные параметры устройства: длину, количество бичей и направление их рифов, частоту вращения барабана.

Обсуждение и заключение. Выявлено, что один из главных показателей, такой как степень вытирания, имеет зависимость от длины рабочих органов устройств и от количества и направления установленных бичей на барабан. Полученные в результате исследования теоретические зависимости позволяют определить основные параметры аксиальных устройств для вытирания семян.

Ключевые слова: клеверотерка, степень вытирания семян, устройство для вытирания семян трав, показатели качества, параметры

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Симонов М. В., Плотников С. А., Мокиев В. Ю. Теоретическое обоснование основных параметров аксиальных устройств для вытирания семян трав // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 339–355. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.339-355>

© Симонов М. В., Плотников С. А., Мокиев В. Ю., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Theoretical Substantiation of the Main Parameters of Axial Devices for Threshing Grass Seeds

M. V. Simonov^a, S. A. Plotnikov^a, V. Yu. Mokiev^b✉

^a Vyatka State University (Kirov, Russian Federation)

^b Federal Agricultural Research Center of the North-East (Kirov, Russian Federation)

✉ dizel154@bk.ru

Abstract

Introduction. The review of literature sources has shown that at the moment there are no reliable methods, which theoretically determine the main parameters of axial devices for threshing grass seeds and it is necessary to conduct researches to establish a mathematical relationship between these parameters and quality indicators.

Aim of the Article. The article aim is theoretical substantiation of the dependence of the main parameters of axial devices for threshing grass seeds on the quality requirements to the technological process of threshing grass seeds.

Materials and Methods. A set of priori information about the operation of axial rasp-bar threshers, the analysis of literary sources and own observations of the working process of the clover thresher K-0.3 allowed determining the basic prerequisites to develop an algorithm for solving the task.

Results. As a result of theoretical consideration of the process of moving particles of the processed material in the working space of a drum-deck axial-rotor device for threshing grass seeds, a system of mathematical equations is obtained. The solution of the resulting system of equations makes it possible to determine the average axial velocity of the particles and a number of impacts inflicted by the rasps on them during movement. There is obtained an expression for linking the degree of seed threshing and main parameters of the device such as length, a number of rasps and the direction of their cleats, and the frequency of rotation of the drum.

Discussion and Conclusion. It was found that the degree of seed threshing significantly depends on both the length of the threshing device and a number of drum rasps and the direction of their cleats. The theoretical dependencies obtained as a result of the study make it possible to determine the main parameters of axial devices for threshing seeds, depending on the requirements imposed on the device.

Keywords: clover thresher, device for threshing grass seeds, degree of threshing seeds, quality indicators, parameters

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Simonov M.V., Plotnikov S.A., Mokiev V.Yu. Theoretical Substantiation of the Main Parameters of Axial Devices for Threshing Grass Seeds. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(3):339–355. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.339-355>

Введение

Для получения семян трав в нашей стране и за рубежом применяются специальные технологии и машины, в том числе для вытирания семян из оболочек – клеверотерки.

Применение клеверотерок в соответствующей технологической схеме позволяет снизить потери семян при послеуборочной обработке в 2–5 раз и сократить их

повреждение на 20–30%. В связи с этим существует необходимость изучения технологического процесса клеверотерок и разработки новых конструкций основного узла этих машин – устройств для вытирания семян трав.

При проектировании предъявляются строгие агротехнологические требования к устройствам для вытирания семян трав. Данные устройства занимают

определенное место в технологии, в соответствующей технологической линии и обладают определенной производительностью. На данных признаках основывается выбор их технологической схемы, от которой зависит подбор и конструкция рабочих органов.

Для получения семян трав за счет процесса их вытирания в настоящее время наиболее распространены барабанно-дековые вытирающие устройства. В подобных устройствах аксиального типа воздействие на обрабатываемый материал можно охарактеризовать как перетирающее, а не ударное.

Особенностью аксиальных устройств является то, что материал при обработке движется в осевом направлении за счет установки под углом самих бичей или же их рифов. При этом материал, попадая в устройство через загрузочную горловину, сжимается и протирается по рабочей поверхности деки и выходит из загрузочной горловины. В аксиальных устройствах при обработке материал движется по винтовой линии.

Одним из главных показателей качества работы клеверотерок является степень ε вытирания семян. На настоящий

момент в литературе в полной мере не освещено математическое описание определения данного показателя применительно к аксиальным устройствам. Это, в свою очередь, создает трудности для обоснования основных кинематических и конструктивных параметров при проектировании вытирающих устройств.

Обзор литературы

Исследования процесса получения семян бобовых культур в вытирающих устройствах, имеющих в конструкции барабанно-дековые рабочие органы, изложены во многих теоретических работах¹ [1–4].

Изучение данных трудов показало, что теоретическое описание процесса движения материала при обработке сопровождается экспериментальными исследованиями, которые позволяют определить экспериментальные коэффициенты и поправки. За счет этих коэффициентов и поправок теоретическое описание становится наиболее точным, поэтому этот метод исследования вытирающих устройств и является основным для разработки методик инженерных расчетов при проектировании вытирающих устройств² [1; 5–7].

¹ Карелин И. И. Экспериментальные основы для создания клеверотерочной машины : дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1962. 168 с.; Кулагин М. С. Механизация процесса выделения семян клевера из пыжины в условиях увлажненной зоны : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1955. 18 с.; Ляуконис И. Т. Исследование процессов обмолота и сепарации при уборке семенников красного клевера комбайнами с получением пыжины в условиях Литовской ССР : дис. ... канд. техн. наук. Раудонварис (Литва), 1970. 201 с.; Микотин В. Я. Исследование технологического процесса вытирания семян клевера : дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1968. 265 с.; Пигалев А. К. Изыскание и исследование приспособления к зерноуборочному комбайну для уборки семенников многолетних трав : дис. ... канд. техн. наук. М., 1977. 174 с.; Филиппов А. И. Исследование технологического процесса уборки семенников трав, требующих вытирания семян : дис. ... канд. техн. наук. М., 1956. 146 с.

² Улахович Е. А. Обмолот семенного вороха клевера вальцовым аппаратом с эластичными рабочими поверхностями : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Горки, 1989. 23 с.; Янулевичус В. И. Исследование рабочего процесса клеверотерочных аппаратов при вытирании семян красного клевера : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Каунас (Литва), 1964. 27 с.; Корякин В. А. Влияние площади перфорированной поверхности деки вытирающего устройства на процесс вытирания семян // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вят. ГСХА, 2008. Вып. 8. С. 109–110; Карпов Н. А., Кшникаткин С. А., Аленин П. Г. Разработка устройства для выделения семян из семенников-биотипов растений многолетних бобовых трав при селекционном отборе // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Т. IV. Пенза, 2021. С. 241–243. EDN: ZFLVPI; Обзор и анализ машин для обмолота и вытирания семян трав / Н. А. Карпов [и др.] // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : сб. материалов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. молодых ученых. Т. 3. Пенза, 2020. С. 29–32. EDN: RINHOE

Еще необходимо указать, что разработанные методики можно применять лишь для устройств с определенной конструкцией рабочих органов, которые исследованы экспериментально.

Исследования доказывают, что низкая производительность и невысокие показатели работы вытирающих устройств семян трав являются следствием того, что технологический процесс их работы не соответствует состоянию и свойствам обрабатываемого материала³. В барабанно-дековых устройствах не допускается сгуживание и скапливание материала при его поступлении в рабочий зазор. Это является основным технологическим условием, соблюдение которого достигается за счет верного подбора основных параметров подающих материал устройств в рабочую зону.

При этом во время рабочего процесса между вытирающими поверхностями должна поддерживаться оптимальная толщина слоя материала для его защемления, сжатия и движения в вытирающем устройстве⁴ [8; 9].

Стабильное перемещение материала в зазоре между рабочими поверхностями барабанно-декового устройства обеспечивается за счет постоянного угла защемления во всех точках соприкосновения поверхности бича. При этом профиль рабочей поверхности бича может быть выполнен в виде логарифмической спирали⁵ [10], позволяющей сохранять необходимое условие для стабильного перемещения рабочего материала.

Для построения профиля бича Ю. Д. Ахламов и его соавторы приводят систему уравнений в своей работе⁶. Но к сожалению, у большинства стандартных бичей рабочая поверхность представляет собой сочетание пары дуг окружностей, что затрудняет применение предложенных уравнений.

Существует также понятие допустимой степени сжатия, которая равна отношению расстояния от деки до носка бича к зазору между рабочими поверхностями в клеверотерке.

В ходе экспериментальных исследований установлено значение $K = 1,85 \dots 1,96$ ⁷. Поэтому можно утверждать, что рабочий зазор является важным параметром, значение которого оказывает влияние на показатели качества работы клеверотерки.

Степень дробления d и степень вытирания семян ε находятся в прямой зависимости от продолжительности обработки материала в устройстве, которая в свою очередь является функцией скорости. Существуют работы⁸ [1], в которых предлагается определять скорость перемещения материала с учетом поправочного коэффициента, который можно определить экспериментально для каждого типа устройств. Данный коэффициент зависит от множества факторов: от свойств материала, от конструкции рабочих органов, и имеет широкие пределы значений. Его применение возможно только в том случае, если в устройстве наличие бичей является

³ Мухин П. Г. Исследование процесса вытирания семян многолетних трав : дис. ... канд. техн. наук. М., 1952. 146 с.

⁴ Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа : дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.

⁵ Ли А. Обоснование параметров и режимов работы клеверотерки // Обоснование параметров и режимов работы клеверотерки : сб. ст. по итогам II междунар. науч.-практич. конф. «Горячкинские чтения», посвященной 150-летию со дня рождения академика В. П. Горячкина. Ташкент, 2019. С. 182–187. EDN: JHPSBT

⁶ Ахламов Ю. Д., Гринчук И. Н., Журкин В. К. Машины для семеноводства трав. М. : Машиностроение, 1968. 172 с.

⁷ Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа : дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.

⁸ Там же.

определяющим фактором осевой скорости движения обрабатываемого материала в устройстве. Если это условие не соблюдается, то данное выражение применять нельзя⁹. Также оно не учитывает инерционные силы, возникающие в рабочем зазоре между декой и бичами. Наличие всех этих обстоятельств не позволяет получить точное значение осевой скорости движения¹⁰.

В диссертации М. М. Анеляк нам удалось найти уравнение движения частицы материала в вертикальном аксиальном вытирающем устройстве семян трав¹¹. Проанализировав данное выражение, можно сделать вывод, что материал движется в тангенциальном направлении за счет разности коэффициентов трения материала о рабочие поверхности бича и деки. Решение данного уравнения позволяет определить время t обработки материала:

$$t = \frac{7\pi \cdot L \cdot R_6 \cdot m_0 \cdot k}{3h_{oc} \cdot E(k_2 - k_1) \cdot \left(\frac{3m_0}{4\pi \cdot \gamma_G}\right)^{\frac{1}{3}} + \frac{R_6 \cdot m_0 \cdot k \cdot \omega_0}{E(k_2 - k_1)}}, \text{ с,} \quad (1)$$

где L, R_6 – длина и радиус барабана соответственно; m_0 – масса частицы материала в начале обработки; k – коэффициент снижения массы частицы обрабатываемого материала; h_{oc} – смещение частицы за один оборот барабана вдоль оси; E – модуль Юнга; k_1 и k_2 – коэффициенты трения частицы о барабан и деку; γ_G – показатель объемной массы обрабатываемого материала.

При этом количество воздействий p на частицу в обрабатываемом материале

зависит от количества устанавливаемых бичей:

$$p = \frac{t \cdot Z_1}{4\pi} \cdot (\omega - \dot{\varphi}), \quad (2)$$

где Z_1 – количество бичей; $\omega, \dot{\varphi}$ – угловые скорости барабана и частицы соответственно.

Длина деки равна:

$$L = f_{вб} \cdot k \cdot b \cdot t \cdot g \cdot \beta + 2R_d \cdot \varphi \cdot \sin \alpha_p \cdot n_{вт}, \text{ м,} \quad (3)$$

где $f_{вб}$ – коэффициент трения частицы о бич; β – угол наклона рифов бича к оси барабана; b – ширина бича; R_d – радиус кривизны деки; α_p – угол наклона спиральных ребер; φ – угол, определяющий положение частицы в рабочем зазоре; $n_{вт}$ – количество витков траектории движения элементарного слоя в устройстве для вытирания семян трав.

Ю. Д. Ахламовым предложено уравнение, с помощью которого появляется возможность определить количество Z бичей [4]:

$$Z_6^2 \frac{\pi \cdot D_6 \cdot \rho}{2L \cdot \text{tg} \beta} \times \left[\left(1 + \frac{2b}{V_{окр} \sqrt{\frac{2\delta_n(k_\delta - 1)}{g}}} \right) \cdot Z_6 - \frac{2\pi \cdot D_6}{2\delta_n(k_\delta - 1)} \right] = 0, \quad (4)$$

где D_6 – диаметр вытирающего барабана; δ_n – зазор между рабочими поверхностями; k_δ – отношение расстояний от терочной поверхности до носка и пятки

⁹ Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-ротаторного типа.

¹⁰ Корякин В. А. Обоснование основных параметров и режимов работы терочного устройства к семяочистительной машине : дис. ... канд. техн. наук. Киров, 2009. 157 с.

¹¹ Анеляк М. М. Обоснование технологического процесса и параметров рабочих органов устройства для вытирания семян многолетних бобовых трав : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Глеваха (Украина), 1994. 25 с.

бича соответственно; $V_{\text{окр}}$ – окружная скорость барабана.

Выражение (4) применимо в случае, если сохраняется условие, что материал не попадает внутрь барабана, а находится всегда в рабочем зазоре, между терочной поверхностью деки и носком или пяткой бича барабана.

Соответственно минимальная длина L деки определяется по выражению:

$$L = \frac{Z_l \cdot b \cdot \text{tg}\beta}{2k_T}, \text{ м} \quad (5)$$

где k_T – отношение всех бичей установленных на барабан к числу бичей, транспортирующих материал в устройстве.

В аксиальном устройстве количество p воздействий можно определить по уравнению [11]:

$$p = \frac{2k_T \cdot L}{b \cdot \text{tg}\beta}. \quad (6)$$

Ф. А. Ахмад после решения дифференциального уравнения получил уравнение, которое имеет существенное отличие от выражения (6)¹²:

$$p = \frac{V_{\text{лин}} \cdot Z_6 \cdot N_{\text{в}}}{V_{\text{ч}} \cdot \cos \varphi_{\text{тр}}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{лин}}$ – скорость движения точки бича, определяемая по длине пути, пройденного в единицу времени; $N_{\text{в}}$ – число витков траектории движения слоя вороха; $V_{\text{ч}}$ – осевая скорость частицы обрабатываемого материала.

В. М. Холанский с соавторами сходятся во мнении, что степень ε вытирания семян является основным

показателем качества работы вытирающих устройств [12]. Ее можно определить по уравнению¹³:

$$\varepsilon = [1 - (1 - e)^p] \cdot 100, \% \quad (8)$$

где e – вероятность вытирания семени за одно воздействие бича на частицу, $e = 0,03 \dots 0,08$ ¹⁴ [1; 11; 12]; p – количество воздействий бичей на частицу за время обработки.

Проанализировав уравнение (8) и на основе проведенного выше обзора, с учетом утверждений, которые не подлежат сомнению у большинства авторов, можно утверждать, что зависимость степени вытирания от времени обработки является функцией от скорости движения частиц в вытирающем устройстве при их перемещении от входа к выходу устройства. При этом скорость перемещения материала зависит от основных кинематических и конструктивных параметров клеверотерок.

В свою очередь, степень вытирания зависит не только от характера воздействий, но от его количества на обрабатываемый материал. Увеличение или уменьшение данного количества возможно за счет изменения количества бичей барабана, а также изменения кинематического режима работы клеверотерки.

Таким образом, определив количество воздействий и скорость движения обрабатываемого вороха, появляется возможность теоретического определения степени вытирания. В свою очередь, и производительность клеверотерок напрямую зависит от скорости перемещения материала от входа к выходу устройства.

¹² Ахмад Ф. А. Домолот и вытирание семян клевера в зерноуборочном комбайне: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1993. 20 с.

¹³ Ахламов Ю. Д., Гринчук И. Н., Журкин В. К. Машины для семеноводства трав. М.: Машиностроение, 1968. 172 с.

¹⁴ Там же; Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа: дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.



Основным методом определения скорости обрабатываемого материала является представление рабочего процесса работы вытирающего устройства с помощью математического моделирования на основе дифференциальных уравнений движения с определенными допущениями.

М. В. Мурзин получил уравнения движения частиц в тангенциальном вытирающем устройстве по бичу барабана и в межбичевом пространстве. Но полученные уравнения не учитывают технологические параметры вытирающего устройства, а именно величину рабочего зазора и длину деки, которые влияют на процесс движения, поэтому полученные значения скорости будут иметь весьма приблизительные значения¹⁵.

А. А. Зайцев в своей работе вывел уравнения движения в канале тангенциально-аксиального молотильно-сепарирующего устройства при обработке частиц материала. В полученном выражении автор при помощи введенных коэффициентов учитывает способность бичей захватывать материал и форму рабочей поверхности деки¹⁶.

Наиболее точно и полно процесс перемещения материала в аксиально вытирающем устройстве описан учеными ТСХА¹⁷ [13]. В рассмотренном ими

устройстве движение частиц материала осуществляется за счет применения направителей специального назначения. Авторы рассматривают движение материала в виде нескольких фаз: фаза без взаимодействия частиц с рабочими органами, фаза взаимодействия с бичами барабана, фаза взаимодействия с декой, фаза одновременного взаимодействия частиц с декой и бичами барабана. Получено несколько уравнений, описывающих каждую фазу.

Проведенный анализ и обзор теоретических исследований¹⁸ [14] вытирающих устройств, имеющих рабочие органы в виде барабана и деки, позволяет сделать вывод, что до сих пор не существует прочно сложившейся теории, которая однозначно описывает технологический процесс. Основная причина в том, что на характер движения материала в устройстве оказывает влияние большое количество факторов, взаимосвязь между которыми невозможно описать какими-то зависимостями. Поэтому при теоретических исследованиях имеет место ряд допущений, а сами исследования основываются на экспериментальных исследованиях конкретного типа устройств. Описание движения обрабатываемого материала происходит дифференциальными уравнениями с экспериментальными

¹⁵ Мурзин М. В. Совершенствование процесса предварительной обработки невяного вороха семенников трав : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж. 2002. 19 с.

¹⁶ Зайцев А. А. Обоснование параметров аксиально-тангенциального молотильно-сепарирующего устройства для обмолота зерновых культур : дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1986. 236 с.

¹⁷ Богиня М. В. Обоснование параметров и режимов работы терочно-сепарирующего устройства : дис. ... канд. техн. наук. М., 1992. 161 с.; Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа : дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.

¹⁸ Ахламов Ю. Д., Гринчук И. Н., Журкин В. К. Машины для семеноводства трав. М. : Машиностроение, 1968. 172 с.; Кулагин М. С. Механизация процесса выделения семян клевера из пыжины в условиях увлажненной зоны : дис. ... канд. техн. наук. М., 1966. 170 с.; Ляуконис И. Т. Исследование процессов обмолота и сепарации при уборке семенников красного клевера комбайнами с получением пыжины в условиях Литовской ССР : дис. ... канд. техн. наук. Раудонварис (Литва), 1970. 201 с.; Микотин В. Я. Исследование технологического процесса вытирания семян клевера : дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1968. 265 с.; Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа : дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.; Пигалев А. К. Изыскание и исследование приспособления к зерноуборочному комбайну для уборки семенников многолетних трав : дис. ... канд. техн. наук. М., 1977. 174 с.

коэффициентами и поправками, полученными в результате экспериментальных исследований. Решение полученных дифференциальных уравнений дает возможность определить скорость движения частиц материала. В свою очередь, значение скорости движения частицы позволит определить показатели качества работы и производительность, а также необходимые для этого конструктивные параметры определенного типа вытирающих устройств.

Целью статьи является теоретическое обоснование зависимости основных параметров аксиальных вытирающих устройств от требований по обеспечению определенного качества вытирания семян трав.

Материалы и методы

При движении материала в вытирающем устройстве рабочие элементы (бичи, барабан и дека) многократно воздействуют на обрабатываемые частицы. При этом происходит удар, защемление и относительное перемещение материала, что приводит к разрушению бобиков.

С целью теоретического подтверждения основных параметров аксиальных вытирающих устройств, которые обеспечивают получение высокой эффективности работы нужной производительности, описания процесса взаимодействия бичей барабана и деки с частицами обрабатываемого материала, применено математическое моделирование процесса движения материала в клеверотерке. В работах, посвященных изучению аксиальных вытирающих устройств, использующих

в качестве рабочих органов барабан, снабженный бичами, и деку, отмечается, что процесс является довольно сложным¹⁹ [15]. Однако априорные сведения и собственные наблюдения позволяют описать рабочий процесс. Материал, который подлежит обработке через загрузочное устройство, поступает в зазор между рабочими поверхностями деки и барабана, где происходит его вытирание. Движение частиц материала происходит одновременно вдоль оси и по окружности вращения барабана, т. е. по винтовой траектории. Это движение происходит за счет расположения бичей барабана под углом γ его продольной оси. На частицу материала происходит воздействие в виде удара и защемления между бичами барабана и декой с относительным перемещением, за счет этого и выделяются семена из оболочек бобиков.

В статье приводятся теоретические исследования аксиального вытирающего устройства клеверотерки К-0,3, которая спроектирована в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока²⁰ (рис. 1) [16].

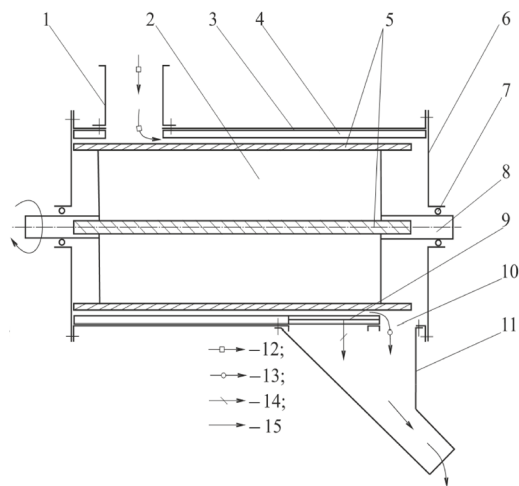
Работа клеверотерки проходит следующим образом. При помощи загрузочного устройства материал подается в горловину 1. Проходит обработку в рабочем зазоре между декой 4 и вращающимися бичами 5 и выводится наружу через выгрузное окно 10 для дальнейшей обработки в машинах технологической линии. Выделение семян происходит за счет сил трения и силы нормального давления, а перемещение – за счет рифов бичей барабана.

¹⁹ Мухин П. Г. Исследование процесса вытирания семян многолетних трав : дис. ... канд. техн. наук. М., 1952. 146 с.; Панасенко В. Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа : дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 176 с.; Бурков А. И., Симонов М. В., Корякин В. А. Исследование работы аксиально-роторного вытирающего устройства // Разработка и внедрение технологий и технических средств для АПК Северо-Восточного региона Российской Федерации : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2007. С. 228–231; Бурков А. И., Симонов М. В. Определение длины аксиально-роторного терочного устройства семян трав // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства : сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М. : ВИМ, 2015. С. 144–148.

²⁰ Бурков А. И., Симонов М. В., Корякин В. А. Использование аксиально-роторного вытирающего устройства для вытирания семян клевера // Докл. Рос. академии с.-х. наук. 2009. № 5. С. 58–60.



a)



b)

Р и с. 1. Общий вид (а) и технологическая схема (б) клеверотерки К-0,3Б:
 1 – загрузочная горловина; 2 – барабан; 3 – корпус; 4 – дека; 5 – бичи; 6 – фланец; 7 – подшипник;
 8 – вал; 9 – щели деки; 10 – выгрузное окно; 11 – приемник перетертого материала;
 12 – исходный материал; 13 – остатки перетертого материала;
 14 – семена и мелкие примеси;
 15 – перетертый материал

F i g. 1. General view (a) and technological scheme (b) of the K-0.3B clover thresher:
 1 – loading neck; 2 – drum; 3 – body; 4 – deck; 5 – whips; 6 – flange; 7 – bearing; 8 – shaft;
 9 – deck slots; 10 – unloading window; 11 – receiver of ground material; 12 – source material;
 13 – remnants of ground material; 14 – seeds and small impurities; 15 – ground material

Результаты исследования

С целью упрощения достаточно сложного процесса движения обрабатываемого материала в устройстве прием допущения, что материал во время обработки представляет собой большое число отдельных частиц, при этом трение между частицами отсутствует.

Введем подвижную систему координат $Ox_1y_1z_1$ ²¹ (рис. 2) [17], в которой и рассмотрим перемещение частиц. Эта подвижная система завязана с поверхностью рифа бича и движется вместе с ним по окружности с векторной величиной скорости ω относительно оси вращения Oz . Далее принимаем упрощение, что риф бича является элементом винтовой поверхности

и переносим движение частицы в подвижной системе $Ox_1y_1z_1$ в естественные оси $\bar{r}, \bar{n}, \bar{b}$.

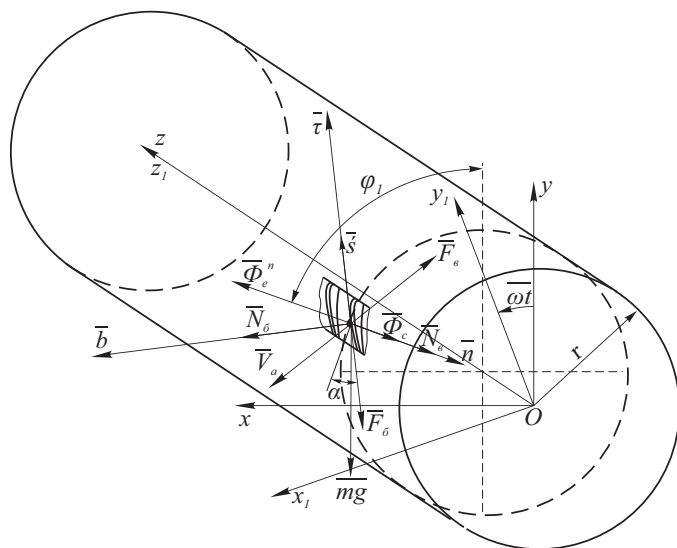
Уравнение проекции траектории движения крайней поверхности бича на поверхность деки в виде цилиндра имеет вид²²:

$$\begin{aligned} x_1 &= r_d \cdot \cos(\omega t + \varphi_1); \\ y_1 &= r_d \cdot \sin(\omega t + \varphi_1); \\ z_1 &= r_d \cdot \omega \cdot t \cdot \operatorname{tg} \alpha, \end{aligned} \quad (9)$$

где r_d – радиус деки, м; α – угол наклона рифов бичей, град; ω – угловая скорость вращения барабана, с^{-1} ; φ_1 – угол, определяющий начальное положение частицы, град; t – время, с.

²¹ Симонов М. В., Корякин В. А. Теоретическое обоснование основных параметров вытирающего устройства семяочистительной машины // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2007. № 10. С. 98–102.

²² Сысуев В. А., Алешкин А. В., Кормщиков А. Д. Методы механики в сельскохозяйственной технике. Киров, 1997. 218 с.



Р и с. 2. Схема сил в аксиальном устройстве для вытирания семян трав, действующих при взаимодействии с боковой поверхностью рифа бича

F i g. 2. Diagram of forces in an axial threshing device when it interacts with the lateral surface of the reef of the rasps

При этом движение частицы можно представить в виде векторного выражения:

$$m \frac{d^2 \bar{s}}{dt^2} = \bar{\Phi}_c + \bar{\Phi}_e^n + \bar{N}_b + \bar{N}_6 + \bar{F}_b + \bar{F}_6 + m\bar{g}, \quad (10)$$

где $\bar{\Phi}_c$ – инерционная сила; \bar{s} – относительная скорость частицы материала; $\bar{\Phi}_e^n$ – центробежная инерционная сила; \bar{N}_b – сила нормального давления слоя обрабатываемого материала; \bar{N}_6 – сила нормального давления рифа бича барабана; \bar{F}_b – сила трения бича об обрабатываемый материал.

В качестве допущения примем, что сила тяжести не оказывает влияния на движение частицы, так как оно происходит в симметричном пространстве, и равна нулю. После проецирования уравнения движения (10) на оси $\bar{\tau}, \bar{n}, \bar{b}$ выражение будет выглядеть следующим образом:

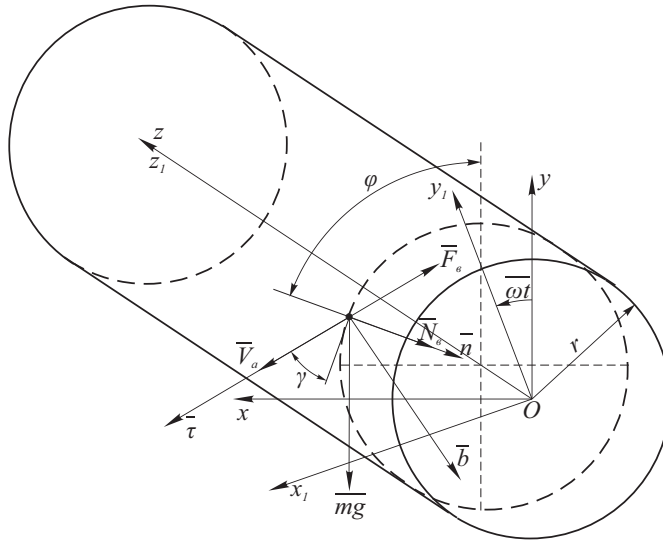
$$\begin{cases} \ddot{s} = \frac{N_b \cdot f_b}{m} \cdot \left(\frac{\omega \cdot r \cdot \cos \alpha - \dot{s}}{\sqrt{\dot{s}^2 + (\omega \cdot r)^2 - 2 \cdot \dot{s} \cdot \omega \cdot r \cdot \cos \alpha}} \right) - \frac{N_6 \cdot f_6}{m} \cdot \frac{\dot{s}}{|\dot{s}|}; \\ n: N_b = m \cdot \left(\frac{\dot{s}^2 \cdot \cos^2 \alpha}{r} - 2 \cdot \omega \cdot \dot{s} \cdot \cos \alpha + \omega^2 \cdot r \right); \\ b: N_6 = N_b \cdot f_b \cdot \frac{\omega \cdot r \cdot \sin \alpha}{\sqrt{\dot{s}^2 + (\omega \cdot r)^2 - 2 \cdot \dot{s} \cdot \omega \cdot r \cdot \cos \alpha}}. \end{cases} \quad (11)$$

где f_b и f_6 – коэффициенты трения частицы соответственно о слой вороха и о бич барабана.

Абсолютная скорость движения частицы после воздействия бича барабана определится из выражения:

$$V_a = \sqrt{\dot{s}^2 + (\omega \cdot r)^2 - 2 \cdot \dot{s} \cdot \omega \cdot r \cdot \cos \alpha}, \text{ м/с.} \quad (12)$$

Каждый раз после воздействия бича на частицу она движется по инерции в межбичевом пространстве, при этом ее начальной скоростью является скорость схождения с бича (рис. 3).



Р и с. 3. Схема сил, действующих на частицу при ее движении в межбичевом пространстве вытирающего устройства после взаимодействия с бичом барабана
 F i g. 3. Diagram of the forces acting on the particle during its movement in the inter-rasps space of the threshing device after interaction with the rasp of the drum

Уравнение движения частицы в векторном выражении примет вид:

$$m \frac{d^2 \vec{s}}{dt^2} = \vec{N}_B + \vec{F}_B + m \vec{g}. \quad (13)$$

Как и в предыдущих расчетах, для упрощения процесса примем $m \vec{g} = 0$.

Уравнение (13) при проецировании на $\vec{\tau}, \vec{n}, \vec{b}$ примет вид:

$$\begin{cases} \tau : m \frac{d^2 s}{dt^2} = -F_B; \\ n : m \left(\frac{ds}{dt} \right)^2 \frac{\cos^2 \gamma}{r} = N_B; \\ b : m \frac{d^2 s}{dt^2} = 0, \end{cases} \quad (14)$$

где γ – угол между \vec{V}_0 и плоскостью Oxy .

Математически преобразовав систему уравнений (14) и приняв начальные условия: $t = 0, V = V_0; C_1 = -\frac{1}{V_0}$, где C_1 – постоянная интегрирования, получим

выражения для определения скорости и перемещения частицы:

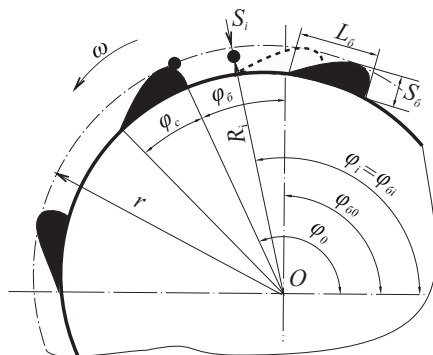
$$V = \frac{V_0}{1 + f_B \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{r} \cdot V_0 \cdot t}, \text{ м/с; } \quad (15)$$

$$s = \frac{r}{\cos^2 \gamma \cdot f_B} \cdot \ln \left| 1 + f_B \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{r} \cdot V_0 \cdot t \right| + C_2, \text{ м, } \quad (16)$$

где C_2 – постоянная интегрирования.

Во время перемещения частицы в межбичевом пространстве барабан продолжает вращаться. Примем, что в момент схода частицы с бича его задняя грань определяется углом φ_0 , а положение частицы – параметрами: $R_i = r$ и $\varphi_i = \varphi_0$ (рис. 4).

Частица взаимодействует с бичом на его передней грани в межбичевом пространстве, при этом ее положение определяется углом φ_{00} . Контакт бича с частицей состоится в момент, когда угловые координаты данного положения будут удовлетворять условию $\varphi_i = \varphi_{0i}$, которые можно определить из выражений:



Р и с. 4. Схема расположения бичей барабана

F i g. 4. Schematic diagram of the drum rasps

$$\varphi_i = \varphi_{i0} + \frac{360 \cdot s \cdot \cos\gamma}{2 \cdot \pi \cdot r}, \text{ град; (17)}$$

$$\varphi_{0i} = \varphi_{i0} - \frac{360}{Z_6} + \varphi_c + \omega \cdot t, \text{ град, (18)}$$

где φ_{i0} – угол, при котором частица сходит с бича, град.; φ_c – угол между передней и задней гранями бича, град.

При совместном решении выражений (18), (17) и (16) появляется возможность определить параметры движения частицы после взаимодействия с бичом до ее следующего контакта с ним.

Выражения для определения скорости частицы при движении от выхода к входу в вытирающем устройстве при многократном контакте с бичами барабана является переменной величиной. Поэтому ее осевую скорость определяют как среднее значение:

$$V_{oc} = \sum s_{oc} / \sum t_b, \text{ м/с, (19)}$$

где $s_{oc} = (s_{oc.6} + s)$ – среднее значение осевого перемещения частицы, м; t_b – среднее значение времени одного взаимодействия и движения в межбичевом пространстве, с.

Значение всего осевого перемещения частицы соответствует длине вытирающего устройства:

$$\sum S_{oc} = L, \text{ м. (20)}$$

Время обработки частицы соответствует сумме интервалов времени всех перемещений частицы:

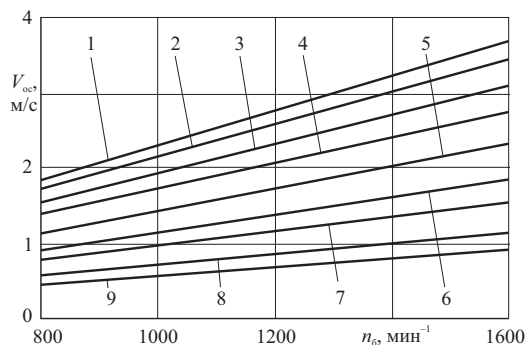
$$\sum t_b = t_{TY}, \text{ с. (21)}$$

Соответственно уравнение (9) примет вид:

$$V_{oc} = \frac{L}{t_{TY}}, \text{ м/с, (22)}$$

где L – длина устройства, м; t_{TY} – время обработки, с.

Далее проведем решение системы уравнений (11), (15), (16), (17), (18), (19), чтобы изучить влияние частоты n_6 вращения барабана на скорость движения части в вытирающем устройстве. При этом параметры принимаем равные $r = 0,14$ м; $\alpha = 36$ град; $f_6 = 0,4$; $f_b = 0,7$ начальные условия: $t_0 = 0$, $s_0 = 0$, $s(0) = s_0$, интервал движения: $\Delta t = 0,0001$ с. Графическое изменение осевой скорости движения частицы приведено на рисунке 5 в зависимости от частоты n_6 вращения барабана, при этом количество бичей с прямым рифлением принимаем различное ($Z_6 = 4; 6; 8$ шт); сочетание бичей с прямым и обратным рифлением ($Z_6 = 3 + 1; 4 + 2; 5 + 1; 5 + 3; 6 + 2; 7 + 1$, где первое слагаемое обозначает количество бичей с прямым рифлением, а второе – с обратным, шт).



Р и с. 5. Изменение средней осевой скорости V_{oc} движения частицы в аксиальном вытирающем устройстве в зависимости от частоты n_6 вращения барабана:
 1 – $Z_6 = 8$; 2 – $Z_6 = 6$; 3 – $Z_6 = 4$; 4 – $Z_6 = 7 + 1$; 5 – $Z_6 = 5 + 1$; 6 – $Z_6 = 6 + 2$;
 7 – $Z_6 = 3 + 1$; 8 – $Z_6 = 4 + 2$; 9 – $Z_6 = 5 + 3$

Fig. 5. Dependences of the change in the average axial velocity V_{oc} of the particle motion in the axial threshing device on the frequency of rotation of the drum:
 1 – $Z_6 = 8$; 2 – $Z_6 = 6$; 3 – $Z_6 = 4$; 4 – $Z_6 = 7 + 1$; 5 – $Z_6 = 5 + 1$; 6 – $Z_6 = 6 + 2$;
 7 – $Z_6 = 3 + 1$; 8 – $Z_6 = 4 + 2$; 9 – $Z_6 = 5 + 3$

Если проанализировать рисунок 5, можно сделать вывод, что скорость частицы возрастает при увеличении частоты вращения барабана. При этом скорость возрастает, если число бичей с прямым рифлением растёт, и уменьшается, если увеличивается число бичей с обратным рифлением, т. е. бичи с прямым рифлением являются транспортирующими и сокращают время обработки.

Степень вытирания семян ε является главным показателем для вытирающих устройств. По ней определяется, насколько эффективно работает устройство. Степень вытирания определяется выражением (8), при этом принимаем, что вероятность e вытирания семени за один контакт с бичом остается постоянной. При этом частица проходит в устройстве расстояние L за время обработки t_{Ty} , двигаясь со скоростью V_{oc} .

Составим систему уравнений, по которой можно определить количество воздействий p бичей барабана, вращающегося с частотой n_6 , на обрабатываемый материал, частицы которого движутся по образующей внутренней рабочей поверхности деки:

$$\begin{cases} t_{Ty} = \frac{L}{V_{oc}}, \text{ с;} \\ p = \frac{Z \cdot n_6}{60} \cdot t_{Ty}. \end{cases} \quad (23)$$

Далее получаем уравнение:

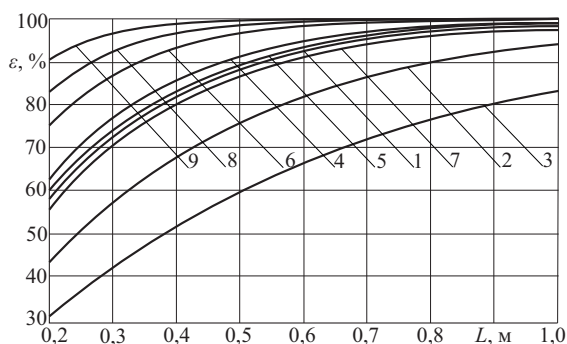
$$p = Z \cdot n_6 \cdot \frac{L}{60 \cdot V_{oc}}. \quad (24)$$

Учитывая уравнение (24), вероятная степень вытирания аксиального устройства может определяться выражением:

$$\varepsilon = [1 - (1 - e)^{\frac{Z \cdot n_6 \cdot L}{60 \cdot V_{oc}}}] \cdot 100, \%. \quad (25)$$

Проведем графический анализ (рис. 6) решения уравнения (24), где проанализируем, как влияет длина вытирающего устройства на степень вытирания.

В качестве условий принимаем следующие параметры: $r = 0,14$ м; $\alpha = 36$ град; $h = 0,008$ м; $\delta = 0,004$ м; $f_6 = 0,4$; $f_8 = 0,7$; $e = 0,06$ [8] и $n_6 = 1200$ мин⁻¹; количество бичей различное.



Р и с. 6. Изменение степени ε вытирания в зависимости от длин L аксиального вытирающего устройства:

1 – $Z_6 = 8$; 2 – $Z_6 = 6$; 3 – $Z_6 = 4$; 4 – $Z_6 = 7 + 1$; 5 – $Z_6 = 5 + 1$; 6 – $Z_6 = 6 + 2$;
7 – $Z_6 = 3 + 1$; 8 – $Z_6 = 4 + 2$; 9 – $Z_6 = 5 + 3$

F i g. 6. Dependences of the change in the degree of threshing of seeds ε on the lengths L of the axial threshing device:

1 – $Z_6 = 8$; 2 – $Z_6 = 6$; 3 – $Z_6 = 4$; 4 – $Z_6 = 7 + 1$; 5 – $Z_6 = 5 + 1$; 6 – $Z_6 = 6 + 2$;
7 – $Z_6 = 3 + 1$; 8 – $Z_6 = 4 + 2$; 9 – $Z_6 = 5 + 3$

Обсуждение и заключение

Проведя анализ полученных в результате теоретического исследования зависимостей, можно с достаточной достоверностью утверждать, что длина устройства L , количество бичей Z_6 барабана и направление их рифов влияют на степень вытирания ε . Применение только транспортирующих бичей нецелесообразно, так как при $Z_6 = 4$ и $Z_6 = 6$ степень вытирания ε имеет самое низкое значение.

Наибольшее повышение значения степени ε происходит при увеличении длины L устройства для вытирания от 0,2 до 0,7 м при различных вариантах установки бичей барабана (линии 1, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, рис. 6).

Также можно сделать вывод, что если руководствоваться минимальной степенью ε вытирания семян, увеличение длины L устройства более 0,7 м не имеет смысла. Так, например, длина L должна находиться в пределах 0,6...0,7 м при

обеспечении степени вытирания ε не менее 90 %.

Следует отметить, что проведенные теоретические исследования подтверждены ранее проведенными экспериментальными исследованиями²³. При испытании аксиально вытирающего устройства, имеющего следующие параметры: $D = 0,3$ м; $L = 0,6$ м; $Z_6 = 3 + 1$; $q = 300$ кг/ч; $n_6 = 1200$ мин⁻¹, степень составила 89,5 %, а теоретически по уравнению (24) при производительности вытирающего устройства $q = 300$ кг/ч и частоте вращения барабана $n_6 = 1000$ мин⁻¹ получены значения параметров: $L = 0,6...0,8$ м; $D = 0,16...0,30$ м и $\varepsilon = 91,5$ %.

Таким образом установлено, что полученные в результате исследования теоретические зависимости позволяют определить основные параметры аксиальных устройств для вытирания семян в зависимости от предъявляемых к устройству требований по качеству выполнения технологического процесса.

²³ Симонов М. В., Корякин В. А. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров аксиально-роторного вытирающего устройства на степень вытирания и дробление семян // Совершенствование технологий и средств механизации производства продуктов растениеводства и животноводства : сб. научных трудов науч.-практ. конф. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2007. С. 45–48; Бурков А. И., Симонов М. В., Корякин В. А. Использование аксиально-роторного вытирающего устройства для вытирания семян клевера // Доклады Российской академии с.-х. наук. 2009. № 5. С. 58–60.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халанский В. М., Горбачев И. В. Разработка технических средств для комбайновой уборки семенных посевов трав // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 10. С. 36–39. EDN: LURKZB
2. Dragulenko V., Kurasov V., Litvinov A. Theoretical Studies of the Movement of the Lucerne Bean in the Chamber of the Threshing Device // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. Vol. 2661. Article no. 070005. <https://doi.org/10.1063/5.0107083>
3. Смелик В. А., Новиков М. А., Перекопский А. Н. Анализ машинных технологий уборки семян клевера лугового в условиях северо-западного региона РФ // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (67). С. 164–174. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-2-164-174>
4. Ахламов Ю. Д., Отрошко С. А., Шевцов А. В. Машина для вытирания семян // Техника в сельском хозяйстве. 1997. № 3. С. 28. EDN: VJITKH
5. Алешкин А. В., Симонов М. В., Мокиев В. Ю. Теоретическое определение скоростей движения частиц обрабатываемого материала в тангенциальном терочном устройстве семян трав // Вестник Федерального Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский Государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018. № 4 (86). С. 21–26. EDN: UYHVPF
6. Карпов Н. А., Кшникаткин С. А., Аленин П. Г. Разработка устройства для выделения семян из семенников-биотипов растений многолетних бобовых трав при селекционном отборе // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Т. IV. Пенза, 2021. С. 241–243. EDN: ZFLVPI
7. Обзор и анализ машин для обмолота и вытирания семян трав / Н. А. Карпов [и др.] // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : сб. материалов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. молодых ученых. Т. 3. Пенза, 2020. С. 29–32. EDN: RINHOE
8. Анеляк М. М., Шидловский Ю. М. Экспериментальное исследование аксиально-тангенциального терочного устройства бильного типа // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Киев, 1986. Вып. 64. С. 29–32.
9. Теоретические предпосылки повышения посевных качеств семенного фонда / М. Н. Московский [и др.] // Естественные и технические науки. 2019. № 11 (137). С. 179–181. EDN: ETNAAP
10. Чугунов С. В., Рожков Г. А. Обзор устройств для вытирания и скарификации семян трав // Журнал передовых исследований в области естествознания. 2020. № 9. С. 60–62. <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-9-60-62>
11. Симонов М. В., Мокиев В. Ю. Теоретическое определение степени вытирания вытирающего устройства // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 5. С. 119–123. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.119-123>
12. Теоретический анализ рабочего процесса терочного устройства для обработки семенного вороха бобовых трав / В. М. Халанский [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1992. № 2. С. 153–161. EDN: SCTHWR
13. Пляка В. И. Теоретическое обоснование режимов работы аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства // Доклады ТСХА. 2020. Вып. 292, ч. 1. С. 430–433. URL: <https://www.timacad.ru/science/konferentsii/sborniki-materialov-konferentsii> (дата обращения: 10.01.2023).
14. Бурков А. И., Симонов М. В. Определение длины аксиально-роторного терочного устройства семян трав // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства : сб. научных докладов Междунар. науч.-техн. конф. М. : ВИМ, 2015. С. 144–148. EDN: UFODHP
15. Бурков А. И., Симонов М. В., Корякин В. А. Использование аксиально-роторного вытирающего устройства для вытирания семян клевера // Доклады Российской академии с.-х. наук. 2009. № 5. С. 58–60. EDN: KYYSCL
16. Симонов М. В., Корякин В. А. Определение пропускной способности аксиально-роторного терочного устройства // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 6. С. 6–9. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15619408> (дата обращения: 10.01.2023).

17. Симонов М. В., Корякин В. А. Теоретическое обоснование основных параметров вытирающего устройства сеячистительной машины // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2007. № 10. С. 98–102. EDN: KGLOMB

Поступила 19.01.2023; одобрена после рецензирования 18.04.2023; принята к публикации 01.07.2023.

Об авторах:

Симонов Максим Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Вятского государственного университета (610000, Российская Федерация, г. Киров, ул. Московская, д. 36), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-9246>, Researcher ID: F-7895-2018, Scopus ID: 57209273813, simaksim@mail.ru

Плотников Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Вятского государственного университета (610000, Российская Федерация, г. Киров, ул. Московская, д. 36), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-4591>, Researcher ID: R-8491-2016, Scopus ID: 57190970844, PlotnikovSA@bk.ru

Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и сеячистительных машин Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>, Researcher ID: HSF-7094-2023, Scopus ID: 57209274547, dizel154@bk.ru

Заявленный вклад авторов:

М. В. Симонов – научное руководство, поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, анализ полученных результатов.

С. А. Плотников – критический анализ и доработка текста.

В. Ю. Мокиев – подготовка первоначального варианта текста, анализ и дополнение текста статьи, подготовка текста статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Khalansky V.M., Gorbachev I.V. Development of Technical Means for Combine Harvesting of Seed Crops of Grasses. *Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex*. 2009;(10):36–39. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14014086> (accessed 15.01.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Dragulenko V., Kurasov V., Litvinov A. Theoretical Studies of the Movement of the Lucerne Bean in the Chamber of the Threshing Device. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC. 2022;2661(1):070005. <https://doi.org/10.1063/5.0107083>
3. Smelik V.A., Novikov M.A., Perekopsky A.N. Analysis of Machine Technologies for Harvesting Meadow Clover Seeds in the Conditions of the North-Western Region of the Russian Federation. *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2022;(2):164–174. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-2-164-174>
4. Akhlamov Yu.D., Otroshko S.A., Shevtsov A.V. Machine for Wiping Seeds. *Machinery in Agriculture*. 1997;(3):28. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25377540> (accessed 15.01.2023). (In Russ.)
5. Aleshkin A.V., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Theoretical Determination of the Velocities of the Particles of the Processed Material in the Tangential Grating Device of Grass Seeds. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "V.P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University"*. 2018;(4):21–26. (In Russ.) EDN: UYHVP
6. Karpov N.A., Kshnikatkin S.A., Alenin P.G. [Development of a Device for Isolating Seeds from Testes-Biotypes of Plants of Perennial Legumes During Selective Selection]. In: *Innovative Ideas of Young Researchers for the Agro-Industrial Complex: A Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Penza; 2021. p. 241–243. (In Russ.)

7. Karpov N.A., Kshikatkin S.A., Voronova U.A., et al. Review and Analysis of Machines for Threshing and Wiping Grass Seeds. In: Contribution of Young Scientists to the Innovative Development of the Agro-industrial Complex of Russia: Collection of Materials of the All-Russian (national) Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Penza; 2020;3:29–32. (In Russ.) EDN: RIHHOE
8. Anelyak M.M., Shidlovsky Yu.M. Experimental Study of an Axial-Tangential Grating Device of a Bilny Type. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 1986;(64):29–32. (In Russ.)
9. Moskovsky M.N., Borzenko S.I., Podlesny D.S., Kostrov I.A. [Theoretical Prerequisites for Improving the Sowing Qualities of the Seed Fund]. *Natural and Technical Sciences*. 2019;(11):179–181. (In Russ.)
10. Chugunov S.V., Rozhkov G.A. Review of Devices for Wiping and Scarification of Grass Seeds. *Journal of Advanced Research in the Field of Natural Science*. 2020;(9):60–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-9-60-62>
11. Simonov M.V., Mokiev V.Yu. [Theoretical Determination of the Degree of Treshing of the Treshing Device]. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2018;(5):119–123. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.119-123>
12. Khalansky V.M., Panasenko V.E., Bagina M.V., Akhmad F.A. Theoretical Analysis of the Working Process of a Grating Device for Processing a Seed Pile of Legumes. *Izvestiya Timiryazevskoy Agriculturnoy Akademii*. 1992;(2):153–161. (In Russ.) EDN: SCTHWR
13. Plyaka V.I. [Theoretical Substantiation of the Modes of Operation of an Axial-Rotor Threshing-Separating Device]. In: Reports of the TLC. 2020. Issue 292, part 1. p. 430–433. Available at: <https://www.timacad.ru/science/konferentsii/sborniki-materialov-konferentsii> (accessed 10.01.2023). (In Russ.)
14. Burkov A.I., Simonov M.V. Determination of the Length of the Axial-Rotary Grating Device of Grass Seeds. In: Intelligent Machine Technologies and Equipment for the Implementation of the State Program for the Development of Agriculture: Collection of Scientific Documents. International Scientific and Technical Conf. Moscow: VIM; 2015. p. 144–148. (In Russ.) EDN: UFODHP
15. Burkov A.I., Simonov M.V., Koryakin V.A. The Use of an Axial-Rotor Wiping Device for Wiping Clover Seeds. *Dokl. Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2009;(5):58–60. (In Russ.) EDN: KYYSCL
16. Simonov M.V., Koryakin V.A. Determination of the Throughput Capacity of an Axial-Rotor Grating Device. *Machinery in Agriculture*. 2010;(6):6–9. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15619408> (accessed 10.01.2023). (In Russ.)
17. Simonov M.V., Koryakin V.A. Theoretical Substantiation of the Main Parameters of the Wiping Device of the Seed Cleaning Machine. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2007;(10):98–102. (In Russ.)

Submitted 19.01.2023; revised 18.04.2023; accepted 01.07.2023.

About the authors:

Maksim V. Simonov, Dr.Sci. (Engr.), Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University (36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-9246>, Researcher ID: F-7895-2018, Scopus ID: 57209273813, simaksim@mail.ru

Sergey A. Plotnikov, Dr.Sci. (Engr.), Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University (36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-4591>, Researcher ID: R-8491-2016, Scopus ID: 57190970844, PlotnikovSA@bk.ru

Valentin Yu. Mokiev, Cand.Sci. (Engr.), Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East (166a Lenin St., Kirov 610007, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>, Researcher ID: HSF-7094-2023, Scopus ID: 57209274547, dizel154@bk.ru

Authors contribution:

M. V. Simonov – research supervision, search for analytical materials in Russian and international sources, analyzed data.

S. A. Plotnikov – critical analyzing and editing the text.

V. Yu. Mokiev – preparation of the initial version of the text, analyzing and supplementing the text, writing of the draft.

All authors have read and approved the final manuscript.