



## Совершенствование технологии уборки веничного сорго

А. И. Ряднов<sup>1</sup>, В. Ф. Федоренко<sup>2</sup>, О. А. Федорова<sup>1</sup>,  
Н. П. Мишуров<sup>2\*</sup>, С. А. Давыдова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (г. Волгоград, Россия)

<sup>2</sup>ФГБНУ «Росинформагротех» (р. п. Правдинский, Россия)

<sup>3</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

\*[mishurov@rosinformagrotech.ru](mailto:mishurov@rosinformagrotech.ru)

**Введение.** Обеспечение высокого качества уборки веничного сорго при минимизации затрат труда возможно путем совершенствования существующих, а также разработки новых технологий и технических средств уборки. Новые решения должны обеспечивать сокращение доли или полное исключение ручного труда. Цель работы – совершенствование технологии уборки веничного сорго на основе комплексного критерия эффективности.

**Материалы и методы.** Методической базой выбора эффективной технологии уборки веничного сорго стала теория эффективности технических систем, в соответствии с которой результативность систем оценивается по величине комплексного критерия, включающего в себя совокупность частных показателей и их относительную важность.

**Результаты исследования.** Предложено оценивать эффективность технологии уборки сорго по комплексному критерию, учитывающему частные показатели и их относительную важность. Разработана технология уборки веничного сорго, включающая в себя: обмолот сорго на корню прямоточной выносной молотильной камерой соргоуборочного комбайна с одновременным скашиванием обмолоченных растений, сбором обмолоченных и скошенных растений в тракторный прицеп, а зерна – в бункер; транспортировку срезанных растений к месту хранения; скирдование их с подсушиванием активным вентилированием. На основе экспериментальных исследований определены значения всех изучаемых частных показателей и коэффициенты относительной важности, рассчитан комплексный критерий эффективности для существующей и предлагаемой технологии уборки веничного сорго.

**Обсуждение и заключение.** Расчетные значения коэффициентов  $K_1^*$  и  $K_2^*$  для существующей и предлагаемой технологии уборки веничного сорго использованы для определения комплексного критерия эффективности, который равен для существующей  $\varphi(W_1) = 15,54$ , а для предлагаемой –  $\varphi(W_2) = 2588,75$  соответственно. По комплексному критерию предлагаемая технология уборки эффективнее применяемой в настоящее время более чем в 160 раз.

**Ключевые слова:** технологии уборки веничного сорго, соргоуборочный комбайн, частные показатели, комплексный критерий эффективности уборки веничного сорго

**Для цитирования:** Совершенствование технологии уборки веничного сорго / А. И. Ряднов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 4. С. 635–651. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.635-651>

© Ряднов А. И., Федоренко В. Ф., Федорова О. А., Мишуров Н. П., Давыдова С. А., 2019



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

## Improvements in Broom Corn Harvesting Process

A. I. Rjadnov<sup>a</sup>, V. F. Fedorenko<sup>b</sup>, O. A. Fedorova<sup>a</sup>,  
N. P. Mishurov<sup>b\*</sup>, S. A. Davydova<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Volgograd State Agrarian University (Volgograd, Russia)

<sup>b</sup>Rosinformagrotekh (Pravdinskiy, Russia)

<sup>c</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM  
(Moscow, Russia)

\*mishurov@rosinformagrotech.ru

*Introduction.* Solving the problem of harvesting broom corn (*Sorghum vulgare* var. *technicum*) with minimal expenditure of labor and resources, and high quality is possible through improving existing or developing new processes and equipment for harvesting. At the same time, the proposed new processes and equipment should ensure the reduction or complete elimination of the share of manual labor. The purpose of the work is to improve the process for harvesting of broom corn based on a complex performance criterion.

*Materials and Methods.* The methodological basis for choosing an effective process for harvesting broom corn was the theory of efficiency of technical systems. According to it, the latter is estimated using the value of a complex criterion that includes a set of particular indicators and their relative importance.

*Results.* It is proposed to evaluate the efficiency of the broom corn harvesting process according to a complex criterion that takes into account particular indicators and their relative importance. A developed process for harvesting broom corn includes: threshing of standing broom corn in the direct flow offset threshing chamber of a combine harvester with simultaneous mowing of the threshed plants using the combine harvester thresher; collecting the threshed and mown plants in the tractor trailer and the threshed grain in the hopper; transportation of threshed and cut plants to the place of storage; and stacking of threshed plants with drying them using active ventilation. Based on experimental studies, the values of all the studied particular indicators and their coefficients of relative importance were determined; a comprehensive performance criterion for the existing process for broom corn harvesting and the proposed process was calculated.

*Discussion and Conclusion.* The calculated values of coefficients  $K_1^*$  and  $K_2^*$  for the existing and proposed processes for harvesting broom corn were used to determine the complex performance criterion, which is  $\varphi(W_1) = 15.54$  for the existing process and  $\varphi(W_2) = 2588.75$  for the proposed one respectively. According to the complex criterion, the proposed harvesting process is more efficient than that currently used more than 160 times.

**Keywords:** broom corn harvesting process, broom corn combine harvester, particular indicators, a complex criterion of broom corn harvesting

**For citation:** Rjadnov A.I., Fedorenko V.F., Fedorova O.A., et al. Improvements in Broom Corn Harvesting Process. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(4):635-651. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.635-651>

### Введение

Обеспечение высокого качества уборки веничного сорго при минимизации затрат труда возможно путем совершенствования существующих, а также разработки новых технологий и технических средств уборки. Новые технологические и технические решения должны обеспечивать сокращение

доли или полное исключение ручного труда. Важность роста эффективности уборки веничного сорго обусловлена тем, что существующие технологии уборки и рабочие органы для их реализации не отвечают агротехническим требованиям по качеству обмолота метелок. В них остается до 3 % необмолоченного зерна, обламываются ветви

высшего порядка, метелка сохраняется не более чем на 90 %, уборка требует значительных трудозатрат.

Цель работы: совершенствование технологии уборки веничного сорго на основе комплексного критерия эффективности.

### Обзор литературы

Усовершенствованная технология уборки веничного сорго должна обеспечивать получение высококачественного сырья для производства веников, щеток и т. п. и семян или зерна для технических целей или на фураж.

Особенностью веничного сорго при уборке, выполняемой при полной спелости зерна, является то, что листовая масса имеет высокую влажность, равную 65–70 %. Поэтому для сохранения элементов метелки в процессе ее обмолота необходимо применять специальные машины. Однако промышленность такие машины не выпускает. В связи с этим в хозяйствах приспособляют существующие молотильные устройства. При этом требуется подсушка растений до влажности 25–30 %.

Обмолот веничного сорго в основном проводится на стационаре, но с существенными затратами труда.

До настоящего времени в хозяйствах, возделывающих веничное сорго, применяются следующие технологии уборки и послеуборочной обработки [1]:

1. Скашивание растений, уборка с поля, скирдование, сушка растений в скирдах активной вентиляцией, обмолот;

2. Скашивание растений, досушивание растений, уложенных на поле, скирдование, хранение, обмолот;

3. Скашивание растений, досушивание растений, уложенных на поле, транспортировка на стационар, обмолот, хранение в скирдах;

4. Скашивание растений, формирование из них снопов, транспортировка снопов на стационар, обмолот снопов, досушивание обмолоченных растений, скирдование, хранение;

5. Подсушивание путем десикации, скашивание растений с последующим формированием снопов, вывоз с поля снопов на стационар, обмолот снопов, хранение обмолоченных растений в скирдах.

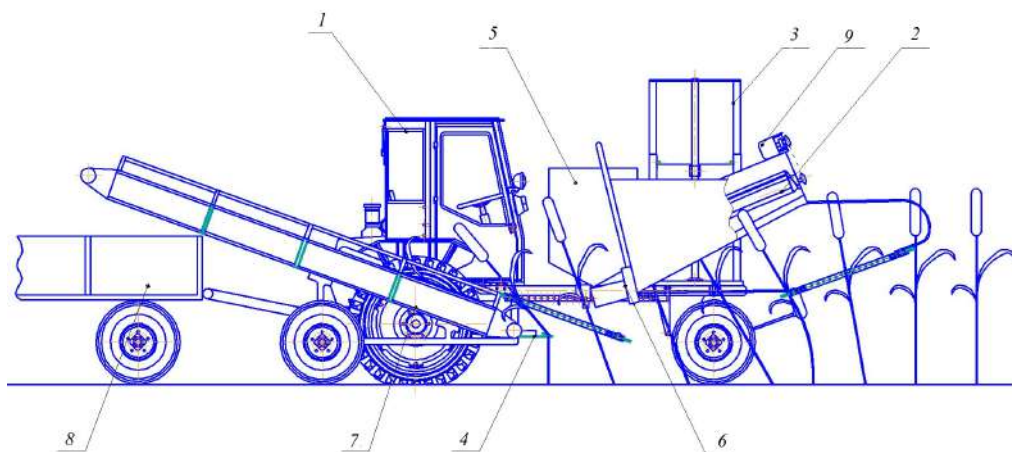
Если для уборки зернового сорго могут применяться современные очесывающие жатки [2], то для уборки веничного сорго прямым комбайнированием промышленность России и зарубежные страны не выпускают машин, поэтому в условиях Волгоградской области чаще всего применяется технология, включающая в себя следующие операции: скашивание растений, досушивание растений, уложенных на поле, транспортировка на стационар, обмолот, хранение в скирдах.

В ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» разработан принципиально новый инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур. Данный способ реализован в молотильно-сепарирующем устройстве (МСУ) комбайна для уборки сорго и других метелочных культур.

Разработаны технологические схемы комбайнов с МСУ инерционно-очесного типа для уборки на корню веничного и зернового сорго, проса и других метелочных культур [1]. При этом запатентованы навесные одно- и многомодульный (рис. 1–4) и прицепной многомодульный комбайны для уборки сорго (рис. 5) [3–5].

Технологический процесс уборки зерновых колосовых и метелочных культур разработанными навесными комбайнами для уборки метелочных культур осуществляется следующим образом.

При уборке сорго растения подхватывает так называемый нормализатор 10 (рис. 3) модуля 8 МСУ и отклоняет их, устанавливая перпендикулярно к плоскости битеров, размещенных в прямоточной выносной молотильной камере (ПВМК) 9, где растения обмолачиваются. Вымолоченное зерно



Р и с. 1. Схема одномодульного навесного комбайна для уборки метелочных культур:

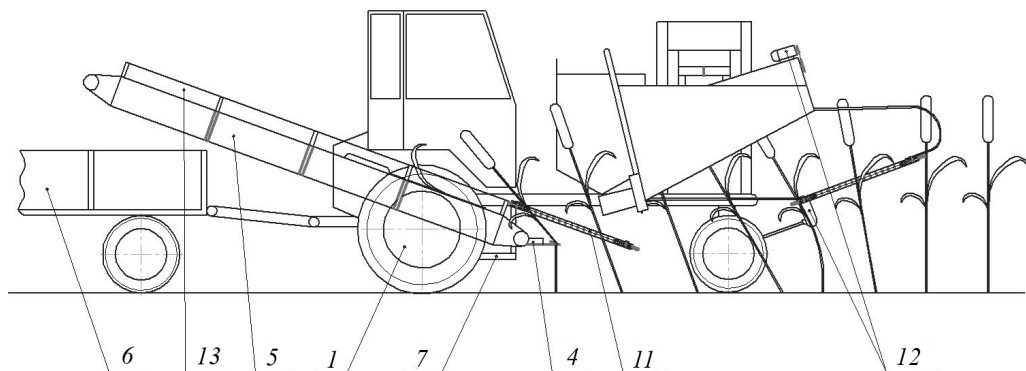
- 1 – самоходное шасси; 2 – модуль; 3 – навесное устройство; 4 – жатка;
- 5 – зерновой бункер; 6 – система транспортировки зерна; 7 – транспортер растений;
- 8 – тракторная тележка; 9 – электрооборудование и сигнализация

F i g. 1. Scheme of a single-module mounted combine harvester for harvesting panicles:  
1 – self-propelled chassis; 2 – module; 3 – mounted device; 4 – thresher; 5 – grain tank; 6 – grain transport system; 7 – plant conveyor; 8 – tractor car; 9 – electrical equipment and alarm system

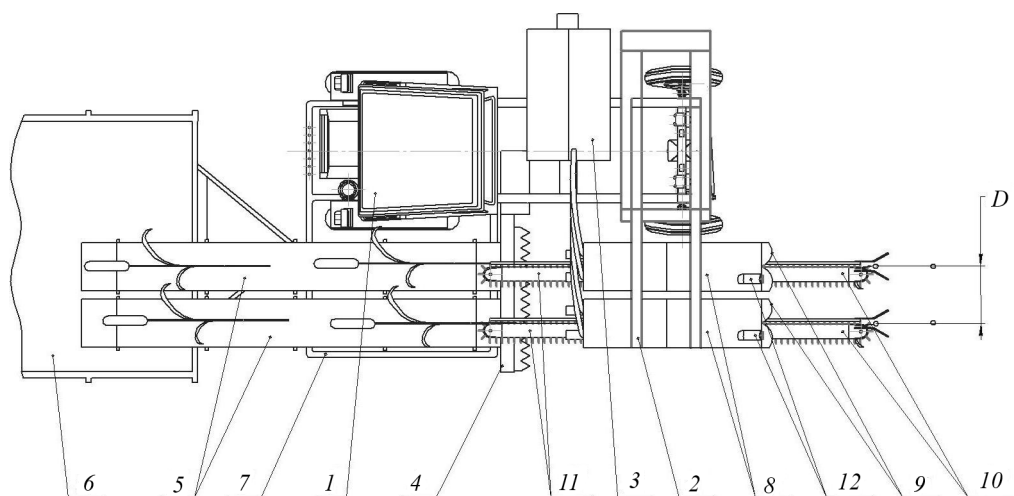


Р и с. 2. Макет одномодульного навесного комбайна для уборки метелочных культур

F i g. 2. Prototype of single-module mounted combine harvester for harvesting panicles



а) Вид сбоку  
a) Side view



б) Вид сверху  
b) Top view

Р и с. 3. Схема двухмодульного навесного комбайна для уборки метелочных культур:  
1 – самоходное шасси; 2 – гидравлическая навесная система; 3 – зерновой бункер;  
4 – жатка; 5 – транспортер растений; 6 – прицеп; 7 – рама; 8 – модуль; 9 – прямооточная выносная  
молотильная камера; 10 – нормализатор; 11 – промежуточный транспортер;  
12 – синхронизирующая передача; 13 – борт

F i g. 3. Scheme of two-module mounted combine harvester for harvesting panicles:  
1 – self-propelled chassis; 2 – hydraulic mounted system; 3 – grain hopper;  
4 – thresher; 5 – plant conveyor; 6 – trailer; 7 – frame; 8 – module; 9 – direct flow offset  
threshing chamber; 10 – normalizer; 11 – intermediate conveyor; 12 – timing drive; 13 – guards





Р и с. 4. Макет двухмодульного навесного комбайна для уборки метелочных культур  
 F i g. 4. Pototype of double-module mounted combine harvester for harvesting panicultates

направляется в зерносорбник, затем вентилятором засасывается в циклон, в котором отделяются пыль и легкие примеси. Зерно под действием силы тяжести падает из циклона вниз в емкость, перекрываемую заслонкой, в случае открытия которой зерно поступает в бункер 3 комбайна.

Воздух с отделенными от зерна пылью, легкими примесями и полевой поступает в вентилятор, очищается от пыли с помощью фильтра, установленного на выходе вентилятора, и выбрасывается наружу.

Обмолоченные растения сорго срезаются жаткой 4 и под действием инерционных сил укладываются на транспортер 5, который перемещает их в прицепную тракторную тележку 6. Гидравлическая навеска 2 позволяет устанавливать ПВМК 9 на необходимую высоту.

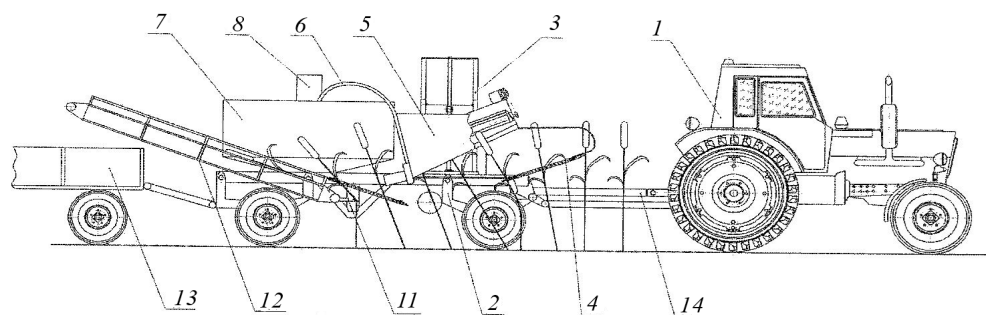
Энергетическим средством одно- и двухмодульного навесного соргоуборочного комбайна является самоходное шасси Т-16М.

Важнейшим условием при разработке устройств, реализующих инерционно-очесный способ обмолота мете-

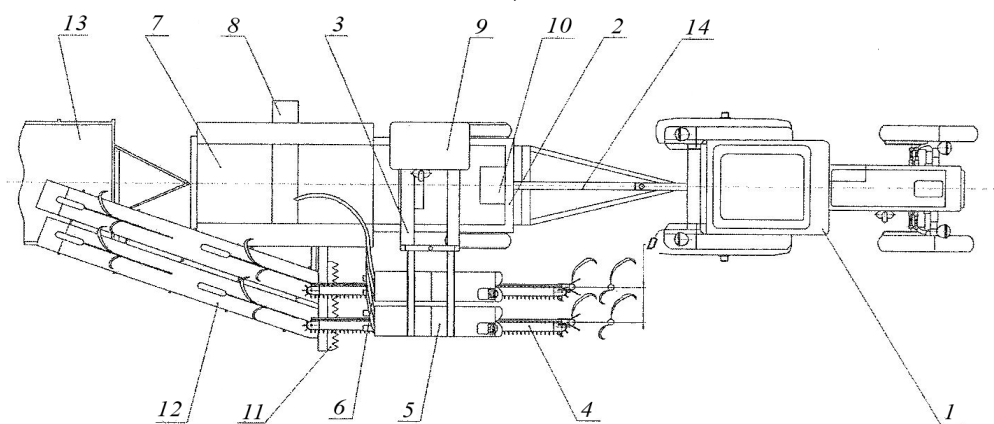
лочных культур, является возможность применения их в комбайнах с высокой производительностью и заданным качеством уборки. Высокая производительность комбайнов обеспечивается применением прицепного многомодульного комбайна на базе мощных тракторов, например, тяговых классов 3,0, 4,0 и 5,0.

Энергетическим средством прицепного комбайна для уборки метелочных культур могут быть не только трактор или самоходное шасси, но и автомобиль или другое тяговое средство.

Рабочие органы прицепного комбайна для уборки метелочных культур (рис. 5), такие как нормализатор 4, ПВМК 5, устройство подачи зерна 6, выгрузной механизм 8, жатка 11, транспортер растений 12 приводятся в действие кинематической связью от распределительного устройства 10, энергия к которому подводится или передается от вала отбора мощности (при его наличии) энергетического средства 1 через карданную передачу 14 или от автономного двигателя 9. Кинематическая связь может осуществляться с применением, например, ременных,



а) Вид сбоку  
a) Side view



б) Вид сверху  
b) Top view

Р и с. 5. Схема двухмодульного прицепного комбайна для уборки метелочных культур: 1 – энергетическое средство; 2 – прицепная колесная рама; 3 – гидравлическая навеска; 4 – нормализатор; 5 – ПВМК; 6 – устройство подачи зерна; 7 – бункер; 8 – выгрузной механизм; 9 – автономный двигатель; 10 – распределительное устройство; 11 – жатка; 12 – транспортер растений; 13 – прицеп; 14 – карданная передача

Fig. 5. Scheme of a double-module trailed combine harvester for harvesting panicalates: 1 – power plant; 2 – hook-on wheel frame; 3 – hydraulic mounted device; 4 – normalizer; 5 – direct flow offset threshing chamber (DFOTC); 6 – grain feeder; 7 – hopper; 8 – unloader; 9 – self-contained engine; 10 – distributor; 11 – thresher; 12 – plant conveyor; 13 – trailer; 14 – universal-joint drive

цепных и других механических передач, гидромоторов или электрических двигателей. При использовании в качестве энергетического средства *1* маломощных тракторов привод одного или нескольких рабочих органов может осуществляться от вала отбора мощности трактора, а остальных – от

автономного двигателя *9*. При использовании энергетического средства *1*, не имеющего вала отбора мощности, привод всех рабочих органов осуществляется от автономного двигателя *9*, а в качестве энергетического средства *1* мощного трактора – привод всех рабочих органов может осуществляться от

вала отбора мощности трактора. Переключение потока мощности к рабочим органам от автономного двигателя комбайна 9 и от вала отбора мощности осуществляется распределительным устройством 10, которое представляет собой двухпозиционную муфту, например, кулачковую, планетарную или фрикционную.

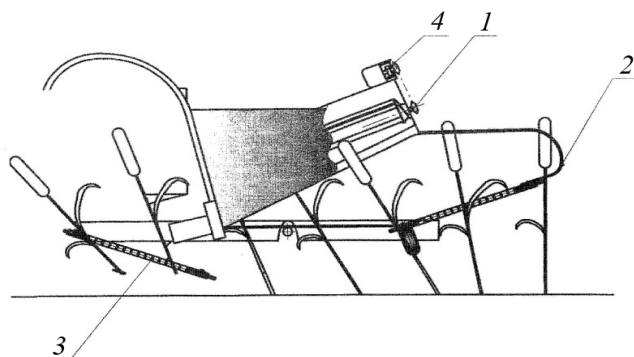
Все модели разработанных комбайнов оборудованы специальными модулями (рис. 6).

Основными рабочими органами ПВМК являются битеры. В МСУ исследуемых комбайнов были установлены щелевые битеры с транспортирующей пластиной (рис. 7) с постоянной кривизной лопасти.

Модуль комбайна, изготовленного по патенту РФ № 2199203 [6], обмолачивает растения на корню одного ряда, а модуль комбайна, изготовленного по патенту РФ № 2535255 [7], – два ряда растений.

Авторами А. И. Рядновым и О. А. Федоровой выполнена работа по обоснованию числа модулей комбайна с молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа. При оптимизации числа модулей за ее критерий принята максимальная производительность соргоуборочного комбайна при допустимом уровне потерь урожая.

Зерно, обмолоченное ПВМК, может подаваться в бункер метателями вентиляторного типа, пневматическим



Р и с. 6. Схема модуля комбайна для уборки метелочных культур:  
1 – ПВМК; 2 – нормализатор; 3 – промежуточный транспортер; 4 – синхронизирующая передача

Fig. 6. Scheme of a combine harvester module for harvesting panicles:  
1 – direct flow offset threshing chamber (DFOTC); 2 – normalizer; 3 – intermediate conveyor;  
4 – timing drive



Р и с. 7. Щелевые битеры с транспортирующей пластиной  
Fig. 7. Slotted beaters with a transporting plate



устройством или винтовым конвейером. А. И. Рядновым обоснована конструктивно-технологическая схема пневмотранспортера зерна комбайна для уборки метелочных культур.

В связи с существенным варьированием высоты растений сорго различных видов и сортов и необходимостью обеспечения высокой надежности технологического процесса уборки, а следовательно, снижения потерь урожая комбайн оборудован многоступенчатым телескопическим навесным устройством.

До настоящего времени разработана теоретическая модель обмолота метелочных культур инерционно-очесного МСУ [8], оптимизированы параметры МСУ [9], изучены пути повышения производительности соргоуборочного комбайна, дана оценка пропускной способности рабочих органов, качества обмолота МСУ и показателей надежности систем соргоуборочного комбайна.

Так как в комбайне впервые использовано МСУ инерционно-очесного типа, то при его изучении учитывались результаты исследований ряда научных работ, в которых представлены результаты исследований очесного [9; 10–12] и инерционного [13; 14] способов обмолота, режимов работы [15], степени использования уборочных машин [16] по объему выполняемых работ [17], по влиянию сроков уборки на физико-механические характеристики сорго, в частности, на содержание полифенолов и флавоноидов [18]. Рассмотрены также различные характеристики сорго, учитываемые при проектировании техники для уборки сорго [19; 20].

### Материалы и методы

Методической базой выбора эффективной технологии уборки веничного сорго явилась теория эффективности

технических систем<sup>1</sup>, в соответствии с которой разработан комплексный критерий, включающий в себя совокупность частных показателей и их относительную важность.

Первый этап выбора частных показателей – анализ факторов, влияющих на эффективность технологии уборки сорго, среди которых размерно-массовые характеристики растений и зерна, их влажность, густота и засоренность стеблестоя, равномерность созревания, варьирование высоты растений, технические характеристики и регулировки рабочих органов соргоуборочной машины и ее скоростной режим, уровень механизации, квалификация механизаторов, нагрузка на одну машину и другое.

Второй этап – опрос экспертов, ранжирование факторов по относительной важности, выбор частных показателей, имеющих максимальные значения коэффициентов относительной важности.

Выбраны следующие частные показатели эффективности технологии уборки веничного сорго:

1. Себестоимость уборки – определялась как сумма эксплуатационных затрат, приходящаяся на единицу уборочной площади;
2. Сохранность метелки – оценивалась косвенным путем по массе элементов метелки в зерновом ворохе;
3. Доля вымолоченного зерна – определялась как отношение массы вымолоченного зерна к сумме масс вымолоченного зерна и зерен, оставшихся на метелке;
4. Потери метелок – определялись с учетом количества метелок на поле после уборки и в момент изготовления веников;
5. Суммарные потери зерна – определялись по стандартной методике;
6. Производительность соргоуборочной машины – определялась площа-

<sup>1</sup> Надежность и эффективность в технике: справ. в 10 т. / Ред. совет: В. С. Абдуевский и др. М.: Машиностроение, 1986. Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. 328 с.

дью сорго, убранный машиной в единицу времени;

7. Трудоемкость уборки – оценивалась суммой затрат труда на выполнение технологических операций с начала уборки до получения готового сырья для изготовления веников;

8. Удельная мощность машин, используемых на уборке сорго, – определялась как отношение суммы мощностей двигателей всех машин, используемых на уборке сорго, к убранный площади;

9. Материалоемкость машин, используемых на уборке, – оценивалась как отношение массы всех машин, используемых на уборке, к убранный площади сорго.

Третий этап – оценка частных показателей эффективности по результатам экспериментальных исследований.

Все экспериментальные исследования проводились на уборке веничного сорго на полях хозяйств Волгоградской области в течение пяти уборочных сезонов.

После обработки экспериментальных данных была дана оценка каждого частного показателя и с учетом значений коэффициентов их относительной важности рассчитан комплексный критерий эффективности для существующей и предлагаемой технологий уборки веничного сорго.

### Результаты исследования

Предложено оценивать эффективность технологии уборки сорго не по отдельным частным показателям, а по комплексному критерию.

В соответствии с теорией эффективности технических систем<sup>2</sup> наиболее приемлемой при выборе технологии уборки веничного сорго из ряда возможных технологий является концепция оптимизации, при которой выбранная технология  $u \in U$  должна обеспечивать максимальный эффект.

В этом случае функция агрегирования имеет вид:

$$\phi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} W_i}{\prod_{i=m_1+1}^m W_i}, \quad (1)$$

где  $i = \overline{1, m_1}$  – частные показатели, которые необходимо увеличивать, а  $i = \overline{m_1 + 1, m}$  – уменьшать.

Числитель функции (1) можно отождествлять с целевым эффектом, а знаменатель – с затратами на его достижение.

Так как выбранные частные показатели эффективности, входящие в первую и вторую группы, неоднородны, имеют различные размерности и физический смысл, а функция агрегирования (1) является векторной величиной, то для приведения функции (1) к скалярному виду используем эквивалентное преобразование: вводим отношение фактических значений  $W_i$  к соответствующим требуемым  $W_i^t$ .

Тогда, функция (1) примет вид:

$$\phi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \frac{W_i}{W_i^t}}{\prod_{i=m_1+1}^m \frac{W_i}{W_i^t}}. \quad (2)$$

Обозначив:

$$\prod_{i=1}^{m_1} \frac{W_i}{W_i^t} = K_1, \quad \prod_{i=m_1+1}^m \frac{W_i}{W_i^t} = K_2, \quad (3)$$

получим:

$$\phi(W) = \frac{K_1}{K_2}. \quad (4)$$

В идеальном варианте  $K_1 = 1$  и  $K_2 = 1$ .

Экспертная оценка показала, что выбранные частные показатели эффективности технологии уборки веничного

<sup>2</sup> Там же.

сорго неравнозначны, имеют различную относительную важность. Для учета степени влияния каждого отдельного частного показателя на величину комплексного критерия определены коэффициенты их относительной важности  $\gamma_i$ .

При этом  $\gamma_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$ .

С учетом  $\gamma_i$  функция агрегирования, критерий эффективности (2), примет вид:

$$\phi(W) = \frac{\prod_{i=1}^m \gamma_i \frac{W_i}{W_i'}}{\prod_{i=m_1+1}^m \gamma_i \frac{W_i}{W_i'}} \quad (5)$$

а с учетом обозначений (3):

$$\phi(W) = \frac{K_1 \prod_{i=1}^{m_1} \gamma_i}{K_2 \prod_{i=m_1+1}^m \gamma_i} \quad (6)$$

Пусть:

$$K_1 \prod_{i=1}^{m_1} \gamma_i = K_1^* \quad \text{и} \quad K_2 \prod_{i=m_1+1}^m \gamma_i = K_2^* \quad (7)$$

тогда комплексный критерий эффективности:

$$\phi(W) = \frac{K_1^*}{K_2^*} \quad (8)$$

По значению комплексного критерия эффективности рассматриваемых технологий уборки веничного сорго можно определить наилучшую, с точки зрения их комплексной оценки по совокупности ряда частных показателей.

С учетом преимуществ и недостатков используемых в настоящее время технологий уборки веничного сорго, а также возможностей соргоуборочного комбайна, реализующего инерционно-

очесный способ обмолота метелочных культур, предложена новая технология уборки веничного сорго, включающая в себя следующие технологические операции:

1. Обмолот на корню веничного сорго с одновременным скашиванием обмолоченных растений жаткой комбайна;
2. Сбор скошенных и обмолоченных растений в тракторный прицеп;
3. Сбор вымолоченного зерна в бункер комбайна с последующей выгрузкой в транспортное средство;
4. Транспортировка обмолоченных и срезанных растений к месту хранения;
5. Скирдование обмолоченных растений с подсушиванием их активным вентилированием с последующим изготовлением веников, щеток и другого.

Фактические значения частных показателей эффективности существующей и предлагаемой технологий уборки веничного сорго определены экспериментальным или расчетным путем. Требуемые значения частных показателей эффективности принимались равными лучшим значениям, полученным при экспериментах с некоторыми допущениями.

Значения исследуемых частных показателей эффективности представлены в таблице 1.

Используя значения частных показателей эффективности, представленные в таблице 1, были определены

отношения  $K_i = \frac{W_i}{W_i'}$  и значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  (табл. 2).

Определены коэффициенты важности всех частных показателей эффективности уборки веничного сорго  $\gamma_i$  (табл. 3).

По зависимости (7) рассчитаны значения коэффициентов  $K_1^*$  и  $K_2^*$ , а по зависимости (8) – комплексный критерий эффективности для существующей и предлагаемой технологий уборки веничного сорго.

По комплексному критерию эффективности предлагаемая техноло-

Таблица 1

Table 1

**Значения частных показателей эффективности уборки**  
**Values of particulate harvesting performance indicators**

№ п / п No.	Частные показатели / Particular indicators	Технология уборки / Harvesting process		Требуемые значения частных показателей / Required values of particular indicators
		существующая / current technology	предлагаемая / proposed technology	
1	Себестоимость уборки $C$ , тыс. руб/га / Cost of harvesting $C$ , thousands rubles/ha	60,0	45,00	35,00
2	Сохранность метелки $H$ , % / Broom integrity $H$ , %	90,0	99,00	100,00
3	Доля вымолоченного зерна $D$ , % / Share of threshed out corn $D$ , %	97,0	98,60	99,00
4	Потери метелок ( $M$ ), % / Loss of brooms $M$ , %	15,0	5,00	5,00
5	Суммарные потери зерна $S$ , % / Total corn loss $S$ , %	2,9	1,00	1,00
6	Производительность соргоуборочной машины $P$ , га/ч / Broom corn harvester performance $P$ , ha/hr	0,1	0,34	0,34
7	Трудоемкость уборки ( $T$ ), чел.-ч./га / Labor input of harvesting $T$ , man-hr/ha	30,0	10,00	10,00
8	Удельная мощность машин, используемых на уборке сорго $N$ , кВт/га / Specific power of harvesting machines $N$ , kW/ha	21,4	20,00	20,00
9	Материалоемкость машин, используемых на уборке $G$ , кг/ га / Materials intensity of harvesting machines $G$ , kg/ha	1220,0	1110,00	1000,00

Таблица 2

Table 2

**Расчетные значения  $K_i$ ,  $K_1$  и  $K_2$**   
**Calculated values of  $K_i$ ,  $K_1$ , and  $K_2$**

Технология уборки / Harvesting process	$K_H$	$K_D$	$K_P$	$K_1$	$K_C$	$K_M$	$K_S$	$K_T$	$K_N$	$K_G$	$K_2$
Существующая / Current technology	0,90	0,98	0,29	0,26	1,71	3,00	2,90	3,00	1,07	1,22	58,40
Предлагаемая / Proposed technology	0,99	0,99	1,00	0,99	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,43

**Значение  $\gamma_i$**   
 **$\gamma_i$  values**

Частный показатель / Particular indicator	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>G</i>
$\gamma_i$	0,149	0,188	0,075	0,153	0,119	0,115	0,081	0,058	0,062

гия уборки эффективнее применяемой в настоящее время более чем в 160 раз.

### Обсуждение и заключение

Предложенная технология уборки веничного сорго базируется на применении разработанного навесного соргоуборочного комбайна, оборудованного МСУ инерционно-очесного типа. Применение предложенной технологии позволит существенно снизить суммарные потери зерна (в 2,9 раза), потери метелок и трудоемкость работ (в 3 раза) и в 3,4 раза повысить производительность приме-

няемых машин. При этом расчетные значения коэффициентов  $K_1^*$  и  $K_2^*$  равны: для существующей технологии  $K_1^* = 5,44 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_2^* = 0,35 \cdot 10^{-4}$  и предлагаемой  $K_1^* = 20,71 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_2^* = 0,008 \cdot 10^{-4}$ .

Комплексный критерий эффективности для существующей технологии  $\varphi(W_i) = 15,54$ , а для предлагаемой –  $\varphi(W_i) = 2588,75$ .

Таким образом, предложенная технология уборки веничного сорго существенно эффективнее применяемой в настоящее время.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ряднов А. И. Совершенствование технологии уборки веничного сорго комбайнами с инерционно-очесным способом обмолота // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11. Ч. 1. С. 31–32. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=4301> (дата обращения: 21.10.2019).
2. Бурьянов А. И., Бурьянов М. А., Червяков И. В., Ковтунов В. В. Совершенствование технологии уборки сорго // Зерновое хозяйство России. 2017. № 4. С. 45–48. URL: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/84/85> (дата обращения: 21.10.2019).
3. Комбайн для уборки технических культур: пат. 2421974 Рос. Федерация. № 2010100341/21; заявл. 11.01.10; опубл. 27.06.11. Бюл. № 18. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2421974> (дата обращения: 21.10.2019).
4. Комбайн для уборки сорго: пат. 2498553 Рос. Федерация. № 2012103615/13; заявл. 10.06.12; опубл. 20.11.13. Бюл. № 32. URL: <https://findpatent.ru/patent/249/2498553.html> (дата обращения: 21.10.2019).
5. Прицепной комбайн для уборки метелочных культур: пат. 2496296 Рос. Федерация. № 2012109041/13; заявл. 11.03.12; опубл. 27.10.13. Бюл. № 30.
6. Щелевой битеер молотильно-сепарирующего устройства: пат. 2199203 Рос. Федерация. № 2015140386/13; заявл. 22.09.2015; опубл. 27.10.2016. Бюл. № 30. URL: [https://patents.s3.yandex.net/RU2601228C1\\_20161027.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2601228C1_20161027.pdf) (дата обращения: 21.10.2019).
7. Битеер молотильно-сепарирующего устройства: пат. 2535255 Рос. Федерация. № 2013133173/13; заявл. 16.07.2016; опубл. 10.12.2014. Бюл. № 34. URL: [https://patents.s3.yandex.net/RU2535255C1\\_20141210.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2535255C1_20141210.pdf) (дата обращения: 21.10.2019).



8. **Ряднов А. И., Федорова О. А.** Теоретическая модель обмола мотельных культур инерционно-очесным молотильно-сепарирующим устройством // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. Ч. 1. С. 253. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21393> (дата обращения: 21.10.2019).

9. **Кузнецов Н. Г., Шарипов Р. В., Федорова О. А.** Определение параметров молотильно-сепарирующего устройства инерционно-очесного типа // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3. С. 190–195. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-parametrov-molotilno-separiruyushego-ustroystva-inertsionno-ochesnogo-tipa> (дата обращения: 21.10.2019).

10. **Алдошин Н. В., Лылин Н. А., Мосяков М. А.** Уборка зернобобовых культур методом очеса // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 1. С. 67–74. URL: [http://www.vestnik.dalgau.ru/images/gurnal/vipusk\\_2017/nomer\\_1/Aldoshin.pdf](http://www.vestnik.dalgau.ru/images/gurnal/vipusk_2017/nomer_1/Aldoshin.pdf) (дата обращения: 21.10.2019).

11. **Алдошин Н. В., Мосяков М. А.** Совершенствование конструкции очесывающих устройств для уборки зернобобовых культур // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018. Вып. 2. С. 23–27. DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-23-27>

12. **Мкртчян С. Р., Игнатов В. Д., Жалнин Э. В., Стружкин Н. И.** Очесывающие жатки: состояние и перспективы развития // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 4. С. 18–21.

13. **Aldoshin N.** Methods of Harvesting of Mixed Crops // Proceeding of 6<sup>th</sup> International Conference on Trends in Agricultural Engineering. Part 1. Prague, Czech Republic: Czech University of Life Sciences Prague, 2016. Pp. 26–32. URL: <http://2016.tae-conference.cz/proceeding/TAE2016-004-N-Aldoshin.pdf> (дата обращения: 21.10.2019).

14. **Скворцов А. К., Иленёва С. В., Герман А. Л.** Достижения и перспективы в инерционно-очесном обмолае // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2006. № 3. С. 71–76.

15. **Иленёва С. В., Скворцов А. К., Герман А. Л.** Результаты обмола зерновых культур молотилкой инерционного воздействия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 4. С. 96–99. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-obmolota-zernovyh-kultur-molotilkoy-inertsionnogo-vozddeystviya> (дата обращения: 21.10.2019).

16. **Masek J., Novak P., Jasinskas A.** Evaluation of Combine Harvester Operation Costs in Different Working Conditions // Engineering for Rural Development. 2017. № 16. Pp. 1180–1185. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N254>

17. **Mimra M., Kavka M.** Risk Analysis Regarding a Minimum Annual Utilization of Combine Harvesters in Agricultural Companies // Agronomy Research. 2017. Vol. 15, no. 4. Pp. 1700–1707. DOI: <http://dx.doi.org/10.15159/ar.17.022>

18. **Vasylieva N., Pugach A.** Economic Assessment of Technical Maintenance in Grain Production of Ukrainian Agriculture // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2017. Vol. 23, Issue 2. Pp. 198–203. URL: <https://www.agrojournal.org/23/02-04.html> (дата обращения: 21.10.2019).

19. Changes in Physicochemical Characteristics of Sorghum Among Different Varieties and at Different Harvest Stages after Heading / S. K. Kim [et al.] // Korean Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 50, no. 3. Pp. 260–266. DOI: <https://doi.org/10.9721/KJFST.2018.50.3.260>

20. **Mathanker S. K., Hansen A. C.** Harvesting System Design and Performance // Engineering and Science of Biomass Feedstock Production and Provision. 2014. Pp. 85–139. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4_5)

*Поступила 09.04.2019; принята к публикации 14.06.2019; опубликована онлайн 31.12.2019*

*Об авторах:*

**Ряднов Алексей Иванович**, профессор кафедры эксплуатации и технического сервиса машин в АПК ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор сельскохозяйственных наук, ResearcherID: Y-7315-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, alex.rjadnov@mail.ru

**Федоренко Вячеслав Филиппович**, научный руководитель ФГБНУ «Росинформагротех» (141261, Россия, р. п. Правдинский, ул. Лесная д. 60), академик РАН, доктор технических наук, профессор, ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>, fedorenko@rosinformagrotech.ru

**Федорова Ольга Алексеевна**, профессор кафедры технических систем в АПК ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор технических наук, ResearcherID: Y-8291-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-1101>, foa\_77@mail.ru

**Мишуrow Николай Петрович**, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Росинформагротех» (141261, Россия, р. п. Правдинский, ул. Лесная д. 60), кандидат технических наук, ResearcherID: A-8970-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1058-6952>, mishurov@rosinformagrotech.ru

**Давыдова Светлана Александровна**, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский пр., д. 5), кандидат технических наук, ResearcherID: Y-7174-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>, davidova-sa@mail.ru

*Заявленный вклад соавторов:*

А. И. Ряднов – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, проведение экспериментальных исследований, критический анализ полученных результатов, подготовка начального варианта текста и формирование выводов; В. Ф. Федоренко – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, подготовка начального варианта текста и формирование выводов; О. А. Федорова – проведение экспериментальных исследований, критический анализ полученных результатов и доработка текста; Н. П. Мишуrow – доработка текста; С. А. Давыдова – литературный и патентный анализ, проведение теоретических исследований.

**Благодарности:** Авторы благодарят доцента ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» Р. В. Шарипова за подготовку опытного соргоуборочного комбайна к экспериментальным исследованиям и оптимизацию конструктивных параметров рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства инерционно-очесного типа.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Rjadnov A.I. Improving the Process for Harvesting Broom Corn Using Combine Harvester with an Inertial and Stripping Threshing Method. *Mezhdunarodnyiy zhurnal prikladnyih i fundamentalnyih issledovaniy* = International Journal of Applied and Fundamental Research. 2013; (11):31-32. Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=4301> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
2. Buryanov A.I., Buryanov M.A., Chervyakov I.V., Kovtunov V.V. Improvement of Harvesting Technology of Sorghum. *Zernovoe hozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017; (4):45-48. Available at: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/84/85> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
3. Combine Harvester for Harvesting Industrial Crops: Patent 2421974 Russian Federation. No. 2010100341/21; appl. 11.01.2010; publ. 27.06.2011. Bulletin No. 18. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2421974> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)

4. Combine Harvester for Harvesting Sorghum: Patent 2498553 Russian Federation. No. 2012103615/13; appl. 10.06.2012; publ. 20.11.2013. Bulletin No. 32. Available at: <https://findpatent.ru/patent/249/2498553.html> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
5. Trailed Harvester for Harvesting Paniculates: Patent 2496296 Russian Federation. No. 2012109041/13; appl. 11.03.12; publ. 27.10.2013. Bulletin No. 30. (In Russ.)
6. Threshing-Separating Device Slotted Beater: Patent 2199203 Russian Federation. No. 2015140386/13; appl. 22.09.2015; publ. 27.10.2016. Bulletin No. 30. Available at: [https://patents.s3.yandex.net/RU2601228C1\\_20161027.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2601228C1_20161027.pdf) (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
7. Beater of Beating and Separating Device: Patent 2535255 Russian Federation. No. 2013133173/13; appl. 16.07.2016; publ. 10.12.2014. Bulletin No. 34. Available at: [https://patents.s3.yandex.net/RU2535255C1\\_20141210.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2535255C1_20141210.pdf) (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
8. Rjadnov A.I., Fedorova O.A. Theoretical Model for Threshing Paniculates with Inertial Stripping Threshing Separating Device. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2015; (2):253. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21393> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
9. Kuznetsov N.G., Sharipov R.V., Fedorova O.A. Determination of the Parameters of Inertial Stripping Threshing Separating Device. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* = News of the Nizhnevolzhsk Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2014. (3):190-195. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-parametrov-molotilno-separiruyuschego-ustroystva-inertsionno-ochesnogo-tipa> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
10. Aldoshin N.V., Lylin N.A., Mosyakov M.A. Legumes Harvesting with Combing (Stripping) Method. *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far East Agricultural Journal. 2017; (1)67-74. Available at: [http://www.vestnik.dalgau.ru/images/gurnal/vipusk\\_2017/nomer\\_1/Aldoshin.pdf](http://www.vestnik.dalgau.ru/images/gurnal/vipusk_2017/nomer_1/Aldoshin.pdf) (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
11. Aldoshin N.V., Mosyakov M.A. Improving the Design of the Combing Device for Harvesting of Leguminous Plants. *Vestnik federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Goryachkin Moscow State Agroengineering University Bulletin. 2018; (2):23-27. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-23-27>
12. Mkrtchyan S.R., Ignatov V.D., Zhalnin E.V., Struzhkin N.I. Combing Harvesters: State and Prospects of Development. *Selskohozyaystvennyye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2013; (4):18-21. (In Russ.)
13. Aldoshin N. Methods of Harvesting of Mixed Crops. In: Proceeding of 6<sup>th</sup> International Conference on Trends in Agricultural Engineering. Part 1. Prague, Czech Republic: Czech University of Life Sciences Prague; 2016. p. 26-32. Available at: <http://2016.tae-conference.cz/proceeding/TAE2016-004-N-Aldoshin.pdf> (accessed 21.10.2019). (In Eng.)
14. Skvortsov A.K., Ilenyova S.V., German A.L. Achievements and Prospects in the Inertial-Combing Type Threshing. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* = News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2006; (3):71-76. (In Russ.)
15. Ilenyova S.V., Skvortsov A.K., German A.L. Results of Threshing Grain Grind Inertial Impact. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* = News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2009; (4):96-99. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-obmolota-zernovyh-kultur-molotilkoy-inertsionnogo-vozdeystviya> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)
16. Masek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of Combine Harvester Operation Costs in Different Working Conditions. *Engineering for Rural Development*. 2017; 16:1180-1185. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N254>



17. Mimra M., Kavka M. Risk Analysis Regarding a Minimum Annual Utilization of Combine Harvesters in Agricultural Companies. *Agronomy Research*. 2017; 15(4):1700-1707. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.15159/ar.17.022>

18. Vasylieva N., Pugach A. Economic Assessment of Technical Maintenance in Grain Production of Ukrainian Agriculture. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017; 23(2):198-203. Available at: <https://www.agrojournal.org/23/02-04.html> (accessed 21.10.2019). (In Russ.)

19. Kim S.K., Jung G.H., Lee J.E., et al. Changes in Physicochemical Characteristics of Sorghum Among Different Varieties and at Different Harvest Stages after Heading. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 2018; 50(3):260-266. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.9721/KJFST.2018.50.3.260>

20. Mathanker S.K., Hansen A.C. Harvesting System Design and Performance. *Engineering and Science of Biomass Feedstock Production and Provision*. 2014; 85-139. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4_5)

*Received 09.04.2019; revised 14.06.2019; published online 31.12.2019*

*About the authors:*

**Aleksey I. Rjadnov**, Professor of Chair of Operation and Maintenance of Machines in the Agro-Industrial Complex, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetsky Prospekt, Volgograd 400002, Russia), D.Sc. (Agriculture), ResearcherID: Y-7315-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, [alex.rjadnov@mail.ru](mailto:alex.rjadnov@mail.ru)

**Vyacheslav F. Fedorenko**, Scientific Director of Rosinformagrotech (60 Lesnaya St, Pravdinskiy 141261, Russia), Academician of RAS, D.Sc. (Engineering), Professor, ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>, [fedorenko@rosinformagrotech.ru](mailto:fedorenko@rosinformagrotech.ru)

**Olga A. Fedorova**, Professor of Chair of Technical Systems in the Agro-Industrial Complex, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetsky Prospekt, Volgograd 400002, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: Y-8291-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-1101>, [foa\\_77@mail.ru](mailto:foa_77@mail.ru)

**Nikolay P. Mishurov**, Deputy Director for Research of Rosinformagrotech (60 Lesnaya St, Pravdinskiy 141261, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: A-8970-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1058-6952>, [mishurov@rosinformagrotech.ru](mailto:mishurov@rosinformagrotech.ru)

**Svetlana A. Davydova**, Leading Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1 Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: Y-7174-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>, [davidova-sa@mail.ru](mailto:davidova-sa@mail.ru)

*Contribution of the authors:*

A. I. Rjadnov – scientific guidance, formulation of the basic concept of the study, conducting experimental research, critical analysis of the results, writing the draft and drawing the conclusions; V. F. Fedorenko – scientific guidance, formulation of the basic concept of the study, writing the draft and drawing the conclusions; O. A. Fedorova – conducting experimental research, critical analysis of the results and revision of the text; N. P. Mishurov – revision of the text; S. A. Davydova – literary and patent analysis, theoretical studies.

**Acknowledgements:** The authors thank R. V. Sharipov, the Associate Professor of the Volgograd State Agrarian University, for preparation of the experimental broom corn combine harvester for studies and optimization of the tools.

*All authors have read and approved the final manuscript.*