

УДК 631.361.2:633.174

UDC 631.361.2:633.174

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ИНЕРЦИОННО-ОЧЕСНОГО ТИПА<sup>1</sup>**

**THRESHING AND SEPARATING DEVICE OF INERTIA-DRESSING TYPE CONSTRUCTIONAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OPTIMIZATION**

Ряднов Алексей Иванович  
д.с.х. н., профессор

Ryadnov Alexey Ivanovitch  
Dr.Sci.Agr., professor

Шарипов Ренат Вильевич  
к.т.н., доцент

Sharipov Renat Vilyevitch  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Федорова Ольга Алексеевна  
к.т.н., доцент  
*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия*

Fedorova Olga Alexeevna  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Federal state budget educational institution of vocational training Volgograd state agrarian university, Volgograd, Russia*

[alex.rjadnov@mail.ru](mailto:alex.rjadnov@mail.ru), 8-903372995

[alex.rjadnov@mail.ru](mailto:alex.rjadnov@mail.ru), 8-9033729954

В статье приведены результаты оптимизации конструктивных и технологических параметров молотильно-сепарирующего устройства инерционно-очесного типа, используемого в комбайне для уборки технических культур

The results of the constructional and technological parameters optimization of inertia-dressing type threshing and separating device used by the combine for industrial crops harvesting are given in the article

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ИНЕРЦИОННО-ОЧЕСНОГО ТИПА, ЩЕЛЕВОЙ БИТЕР, ОБМОЛОТ НА КОРНЮ, ВЕНИЧНОЕ СОРГО

Keywords: OPTIMIZATION, THRESHING AND SEPARATING DEVICE, INERTIA-DRESSING TYPE, SLOT BEATER, THRESHING AT THE ROOT, SORGHUM

Современное сельскохозяйственное производство настоятельно требует решение проблемы уборки сельскохозяйственных культур с минимальными затратами труда и средств и высоким качеством. Особую актуальность имеет проблема снижения или полного исключения доли ручного труда при уборке веничного сорго. Существующая технология уборки и машины для ее выполнения не отвечают агротехническим требованиям по качеству обмолота метелок (в метелках остается до 3% необмолоченного зерна, метелка сохраняется только на 90% и менее), уборка требует значительных затрат ручного труда. В связи с этим, решение перечисленных проблем актуально в настоящее время.

<sup>1</sup> Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ по проекту «Разработка и исследование инерционно-очесного способа обмолота зерновых колосовых и метелочных культур на корню и технологии для его реализации», договор № НК 13-08-01085\13.

В Волгоградском ГАУ разработано несколько модификаций комбайна для уборки сорго на корню [1,2], составной частью которых является молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) «щелевые битеры с транспортирующей пластиной» (рис.1) по патенту РФ №2199203 [3].

В настоящей работе представлены результаты оптимизации конструктивных и технологических параметров (МСУ). Исследования проведены при обмолоте веничного сорго.

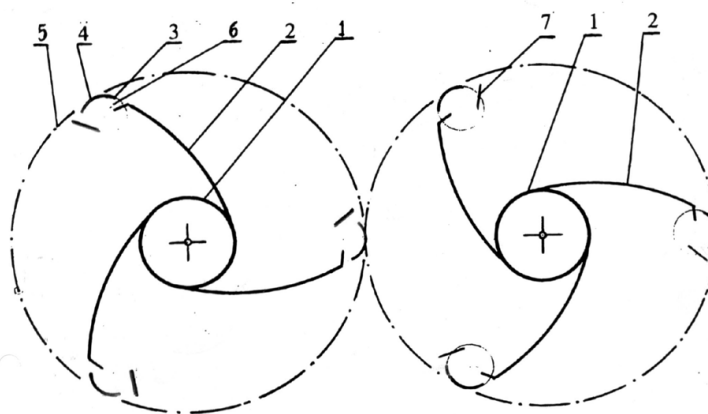


Рисунок 1 – Схема МСУ инерционно-очесного типа «Щелевой битер с транспортирующей пластиной»

1- вал; 2- лопасть; 3- очесывающая кромка; 4- выступ; 5- описанная окружность; 6- щель; 7- транспортирующая пластина.

Молотильный зазор  $\delta$  в таком МСУ просторный. В МСУ инерционного типа применяется технологическая схема, согласно которой в зазоре проходят лишь метелки, а толщина распластанной по лопасти метелки составляет 8...10 мм. Поэтому зазор  $\delta$  принят равным 10 мм. Этот размер удовлетворяет и условию прохождения ножки метелки веничного сорго, максимальный диаметр которой равен 10 мм. Ширина щели битера должна быть 5...6 мм с учетом длины зерновки. Радиус кривизны выступа принят 10 мм, радиус кривизны обмолачивающей кромки – 0,7 мм, радиус кривизны лопасти – в пределах 60...100 мм.

При обмолоте растений на корню их подача в МСУ осуществляется вершиной вперед под углом к плоскости осей валцов.

МСУ работает следующим образом. Приемные вальцы подают метелки веничного сорго вершиной вперед в молотильный зазор. Лопасты, за счет трения метелки об их поверхность, затягивают метелку в молотильный зазор, причем метелка располагается в плоскости вращения вальцов. Молотильный зазор колеблется, периодически перемещается от одного вальца к другому. Амплитуда колебаний равна величине молотильного зазора.

Лопасты вальцов поочередно проглаживают метелку от основания к вершине. Лопасты передают метелку от одного вальца к другому с помощью выступа.

При движении метелки в колебаниях от одного вальца к другому, выступ лопасти является центром, вокруг которого вращается масса зерновки на гибкой упругой связи. Центр вращения подвижен и перемещается к вращающейся массе, то есть масса зерновки вращается на уменьшающемся радиусе. Это явление названо захлестыванием. В результате такого захлестывания зерновка прижата к лопасти, она скользит по лопасти, западает в углубление и затем - в щель. Обмолачивающая кромка обламывает плодоножку. Зерновка по инерции проходит сквозь щель в относительном с вальцом движении и выбрасывается за пределы зоны обмолота транспортирующей пластиной. Обмолоченная часть метелки обладает очень малой массой по сравнению с зерновкой, она колеблется вместе с молотильным зазором. Захлестывания в этом случае не происходит и обмолоченная часть метелки не воспринимает энергии двигателя.

В результате проведенной экспертной оценки важности показателей эффективности уборки веничного сорго, разработаны требования, которым должно отвечать оптимизируемое молотильно-сепарирующее устройство:

1. Качество получаемого сырья для производства веников должно оцениваться следующими показателями:

– сохранность метелки. Метелка должна быть неповрежденной. Этот показатель определяется косвенно – по степени засоренности зернового вороха элементами метелки;

– полнота вымолота зерна из метелки. Этот показатель определяется недомолотом зерна из метелки.

2. Обмолачивающее устройство должно соответствовать физико-механическим свойствам веничного сорго в период биологической спелости – способность обмолачивать растения при влажности листостебельной массы до 75%.

3. Обмолачивающее устройство должно производить обмолот, затрачивая минимально необходимое количество энергии. Оценивается по затрачиваемой мощности на единицу обмолачиваемой массы.

4. Обмолачивающее устройство должно быть высокопроизводительным. Косвенно оценивается скоростью подачи растений на обмолот.

5. Обмолачивающее устройство должно обеспечивать возможность механизированной подачи обмолачиваемых растений, возможность поточного движения обмолачиваемой массы.

6. Зерно, полученное после обмолота веничного сорго, должно быть пригодно для посева. Оценивается по всхожести семян.

Рассматривая эти требования и анализируя результаты поисковых опытов, выявили параметры, которые в наибольшей степени влияют на показатели работы изучаемого МСУ. К этим параметрам относятся:

1. Частота вращения вальцов;
2. Скорость подачи обмолачиваемой массы;
3. Диаметр обмолачивающих вальцов;
4. Число лопастей на вальце.

Изменения значений этих параметров влияют на качественные показатели работы молотильно-сепарирующего устройства.

Выберем границы диапазона изменения рассматриваемых параметров.

1. Частота вращения валцов. Изучив принцип действия МСУ инерционно-очесного типа, пришли к выводу, что частоту вращения валцов ограничивают два фактора. Первый фактор – это окружная скорость очесывающей кромки вальца. Она должна быть больше критической скорости, при которой возможен обмолот. Критическая скорость обмолота в свою очередь зависит от многих факторов, основными из которых являются: влажность зерна и листостебельной массы метелки, прочность плодоножки, масса зерновок, профиль лопасти. Второй фактор – частота колебаний метелки. С уменьшением частоты колебаний падает скорость движения частей метелки и, следовательно, снижается и сила инерции, прижимающая ветви с зернами к лопасти. При частоте колебаний, меньшей критической (при прочих равных условиях) ветви, центральной части метелки не будут сепарироваться на поверхность лопасти и не будут обмолачиваться.

Поэтому частота вращения в каждом конкретном случае ограничивается одним из этих двух факторов.

Окружная скорость очесывающей кромки вальца должна быть как можно ниже, что обеспечивает низкую повреждаемость метелки и зерна. Окружная скорость, при которой начинается повреждение элементов метелки либо зерна сверх допустимых значений, ограничивает частоту вращения валцов сверху.

2. Скорость подачи обмолачиваемой массы.

Скорость подачи ограничивается способностью обмолачивающего устройства качественно проводить обмолот.

При скорости подачи, равной нулю, скорость очесывающей кромки относительно обмолачиваемой массы равна окружной скорости вальца.

При увеличении скорости подачи относительная скорость

очесывающей кромки по обмолачиваемой массе снижается на величину скорости подачи. При увеличении скорости подачи до величины окружной скорости вальца относительная скорость очесывающей кромки по обмолачиваемой массе равна нулю – обмолота не происходит.

При скорости подачи, равной разнице между окружной скоростью кромки и минимальной скоростью очесывающей кромки, относительная скорость кромки равняется критической скорости обмолота.

Следовательно, скорость подачи обмолачиваемой массы должна лежать в пределах от нуля до максимальной линейной скорости очесывающей кромки с вычетом минимальной скорости обмолота  $V_{под} \in (0; V_{оч\max} - V_{об\min})$ .

Следовательно, с увеличением окружной скорости валцов скорость подачи обмолачиваемой массы растет.

Скорость подачи увеличивается также при увеличении числа лопастей на валце.

Качественный обмолот растений возможен при подаче на лопасть не более максимально возможной.

При увеличении числа лопастей на валце нагрузка на лопасть уменьшается – следовательно, можно увеличивать скорость подачи.

### 3. Диаметр обмолачивающих валцов.

Исследуемое МСУ имеет обмолачивающий зазор, который по величине должен превышать толщину метелки в распластанном состоянии и толщину ножки метелки, проходящей сквозь него.

Молотильный зазор в данной работе определяется двумя плоскостями, параллельными друг другу, одна из которых касается крайней точки одного вальца, а другая – крайней точки другого. В процессе вращения валцов зазор изменяется по величине и положению относительно точки соприкосновения описанных окружностей валцов. По результатам графического анализа, построен график изменение величины

зазора при повороте вальцов (рис.2), из которого следует, что минимальная величина зазора для трехлопастных вальцов соответствует углу поворота, равном  $\alpha=38^\circ$ , для четырехлопастных -  $\alpha=30^\circ$ , а для двухлопастных -  $\alpha=45^\circ$ . Данное расположение вальцов является лимитирующим, поэтому величину молотильного зазора рассчитываем для данного положения.

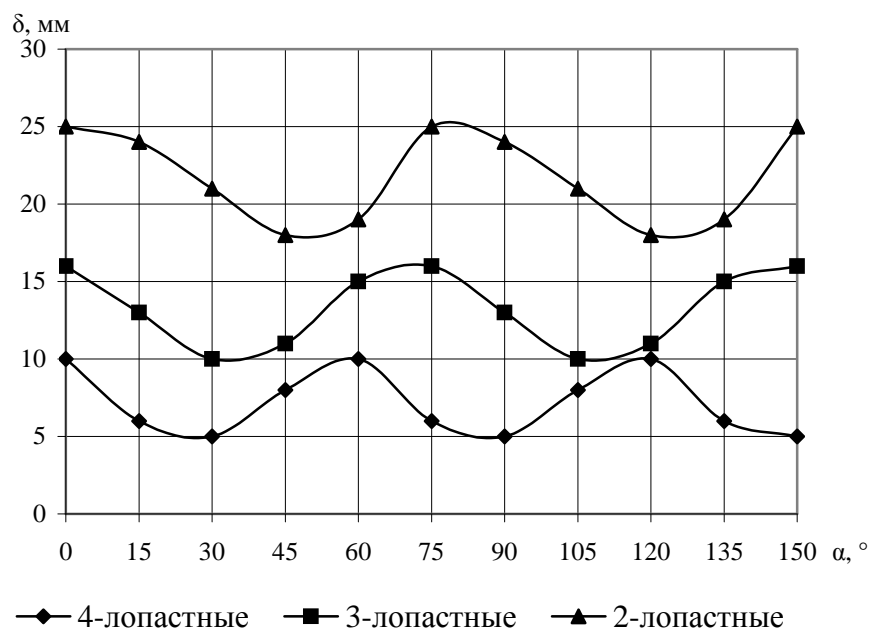


Рисунок 2 –Изменение молотильного зазора от угла поворота вальцов

Величину молотильного зазора определим как суммарную высоту сегментов  $h$  (рис. 3) описанных окружностей вальцов, образованных параллельными линиями, перпендикулярными межосевой линии и проведенными из точек лопастей, максимально приближенных друг к другу.

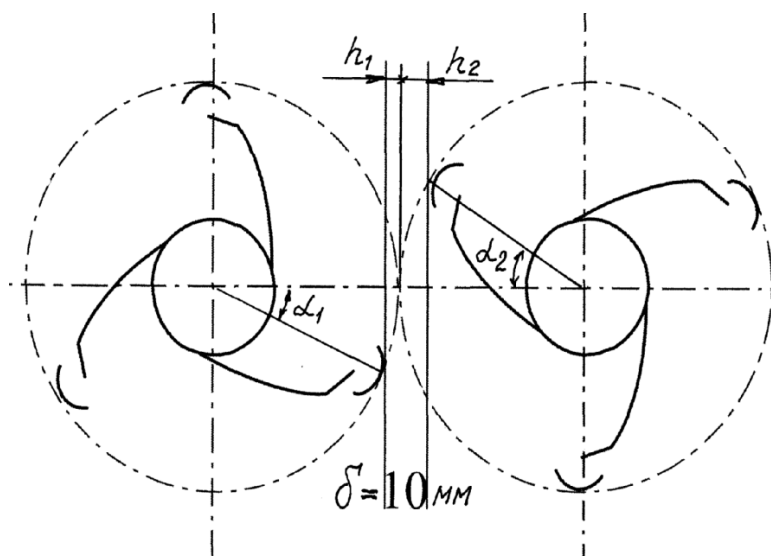


Рисунок 3 – К определению молотильного зазора

Высота сегмента  $h_1$  и  $h_2$  определяется по формулам:

$h_1 = R(1 - \cos \alpha_1)$ ,  $h_2 = R(1 - \cos \alpha_2)$ , тогда величина молотильного зазора равна:

$$d = R((1 - \cos \alpha_1) + (1 - \cos \alpha_2)) \quad (1)$$

Задаваясь величиной молотильного зазора, определяем минимально допустимый радиус вальца

$$R_{\min} = \frac{d}{((1 - \cos \alpha_1) + (1 - \cos \alpha_2))} \quad (2)$$

Величина молотильного зазора задана исходя из результатов изучения размерно-массовых и физико-механических свойств растений сорго веничного. Так толщина метелки в распластанном виде находилась в пределах 6...10 мм, а толщина (диаметр) ножки метелки - в пределах 8...15 мм. Определение молотильного зазора и способа его определения принято из условия прохождения через обмолачивающий зазор жесткой прямой ножки метелки, расположенной перпендикулярно межосевой линии вальцов (при ручной подаче, обмолате на корню и при поточной подаче транспортером).



Подставив в выражение (2) заданное значение молотильного зазора  $\delta=10$  мм, получили минимальный радиус вальцов для двухлопастных -  $R_{\min}=17$  мм, для трехлопастных- $R_{\min}=37$  мм, для четырех лопастных -  $R_{\min}=51$  мм.

Соответственно имеем диаметр вальца  $D_{2\min}=34$  мм;  $D_{3\min}=74$  мм;  $D_{4\min}=102$  мм.

В связи с тем, что исследование данного МСУ проводится нами по плану Рехтшафнера, когда значение диаметра вальца может не совпасть с числом лопастей на вальце, за минимальный диаметр принимаем диаметр четырех лопастных вальцов  $D_{\min}=110$  мм, который допустим для другого числа лопастей. За максимальный диаметр в опытах принимаем значение  $D_{\max}=150$  мм, согласно предварительным исследованиям по подобному МСУ за среднее значение принимаем  $D=130$  мм.

#### 4. Число лопастей на вальце

В предыдущих исследованиях установлено, что число лопастей на вальце должно быть от 1 до 6 штук.

Увеличение числа лопастей на вальцах оказывает сильное влияние на значения других параметров.

С увеличением числа лопастей на вальце его диаметр при равных условиях увеличивается. Это объясняется тем, что необходимо обеспечить должное расстояние между лопастями для свободной укладки ветвей метелки на лопасть. Расстояние между крайними точками двух соседних лопастей должно быть больше длины озерненной части ветвей, укладываемых силой инерции на лопасть. Если диаметр соответствует двухлопастному вальцу, то при увеличении числа лопастей без изменения диаметра вальца, часть зерна на ветвях не сможет попасть на лопасть и будет необмолочено.

С увеличением числа лопастей на вальце частота прочесываний метелки за 1 оборот вальца возрастает, следовательно, скорость подачи

можно увеличивать прямо пропорционально числу лопастей. При той же скорости подачи для достижения той же интенсивности прочесываний частоту вращения можно снижать, но только до частоты вращения, при которой окружная скорость очесывающей кромки будет больше критического значения  $V_{очес} > V_{крит}$ .

Нами для проведения опытов оставлено три варианта вальцов с количеством лопастей : два, три и четыре.

От изучения однолопастных вальцов отказались как из-за их несбалансированности, так и заведомо низкой производительности. От вальцов с 5 и 6 лопастями отказались ввиду необходимости увеличения диаметра вальцов нижнего уровня значимости.

В результате аналитических исследований процесса обмолота метелок веничного сорго МСУ с рабочим органом «щелевой битек с транспортирующей пластиной», проведения поисковых опытов, были выделены основные факторы, влияющие на процесс обмолота. Определены уровни варьирования факторов, в пределах которых обеспечиваются удовлетворительные показатели полноты вымолота зерна и засоренности зернового вороха. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс обмолота метелок сорго веничного и уровни их варьирования, приведены в табл.

В соответствии с принятой методикой для исследования области оптимума был реализован план Рехтшафнера для четырехфакторного эксперимента.

На основании экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты  $B_0$ ,  $B_i$ ,  $B_{ij}$ ,  $B_{ii}$  уравнения регрессии:

$$Y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 . \quad (3)$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии (3) оценивалась по критерию Стьюдента. Незначимые коэффициенты удалялись и выполнялся повторный расчет коэффициентов регрессионной модели. В результате

расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде.

Математическая модель второго порядка для описания недомолота зерна сорго в МСУ с рабочим органом «щелевой битер с транспортирующей пластиной» имеет вид:

$$Y_1 = 2,438 - 0,733x_1 - 0,821x_2 + 0,277x_3 - 0,931x_4 + 0,318x_1x_2 + 0,171x_1x_3 + 0,161x_1x_4 + 0,031x_2x_3 + 0,083x_2x_4 - 0,217x_3x_4 + 0,325x_1^2 + 0,423x_2^2 + 0,665x_3^2 + 0,393x_4^2 \quad (4)$$

Математическая модель второго порядка для описания содержания незерновой части растения при обмолоте в МСУ с рабочим органом «щелевой битер с транспортирующей пластиной» имеет вид:

$$Y_2 = 0,614 + 0,069x_1 + 0,014x_2 - 0,183x_3 + 0,012x_4 + 0,071x_1x_2 - 0,032x_1x_3 + 0,088x_1x_4 + 0,081x_2x_3 + 0,091x_2x_4 + 0,096x_3x_4 + 0,327x_1^2 + 0,352x_2^2 + 0,239x_3^2 + 0,214x_4^2 \quad (5)$$

Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера.

Получено, что при исследовании недомолота  $F_H=0,024$  и засоренности  $F_3=0,013$ . Во всех случаях  $F_{0,05}>F$  (здесь  $F_{0,05}=2,1646$  – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5%). Таким образом, математические модели адекватны результатам экспериментов.

Анализ уравнений (4) и (5) выполняли с помощью двумерных сечений. При этом решали компромиссную задачу. В качестве основного критерия оптимизации был принят показатель недомолота зерна из метелки растения. Дополнительным критерием оптимизации был принят показатель засоренности полученного зернового вороха.

При решении компромиссной задачи требовалось найти значения факторов, дающих минимальный недомолот зерна веничного сорго при значениях засоренности зернового вороха на допустимом уровне.

Результаты оптимизации факторов и решения компромиссной задачи представлены в таблице.

Таблица – Оптимальные значения факторов

Фактор	Исследование недомолота	Исследование засоренности	Рекомендуемые значения факторов
X <sub>1</sub>	$\frac{0,846}{4 \text{ шт}}$	$\frac{-0,069}{3 \text{ шт}}$	$\frac{0}{3 \text{ шт}}$
X <sub>2</sub>	$\frac{0,593}{140 \text{ мм}}$	$\frac{-0,052}{130 \text{ мм}}$	$\frac{0,2...0,6}{135...140 \text{ мм}}$
X <sub>3</sub>	$\frac{-0,221}{0,36 \text{ м/с}}$	$\frac{0,406}{0,48 \text{ м/с}}$	$\frac{-0,5...0,2}{0,30...0,44 \text{ м/с}}$
X <sub>4</sub>	$\frac{1,028}{1405 \text{ мин}^{-1}}$	$\frac{-0,094}{1180 \text{ мин}^{-1}}$	$\frac{0,5...0,8}{1300...1360 \text{ мин}^{-1}}$

Примечание. В числителе – в кодированном виде, в знаменателе – в раскодированном.

Таким образом, по результатам многофакторного эксперимента и решения компромиссной задачи определены оптимальные геометрические и кинематические параметры этого устройства применительно к обмолоту веничного сорго: число лопастей на вальце – 3; диаметр вальцов – 135...140 мм; скорость подачи обмолачиваемой массы 0,30-0,44 м/с; частота вращения вальцов 1300-1360 мин<sup>-1</sup>. При этом обеспечивается сохранность метелки до 99% и полнота вымолота зерна из метелки до 98,6%.

#### Список литературы

1. Ряднов, А.И. Универсальный агрегат для уборки сорго [Текст]/А.И. Ряднов, Р.В. Шарипов, А.В. Семченко, К.А. Матвеева//Сельский механизатор №4, 2010г, - С.6.
2. Пат.2421974 Российская Федерация А01D 41/08. Комбайн для уборки технических культур [Текст] / Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В.; заявитель и патентообладатель - ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА – №2010100341/21; заявл. 11.01.10; опубл. 27.06.11, Бюл.№18.
3. Пат.2199203 Российская Федерация А01D 41/08. Щелевой битев с транспортирующей пластиной [Текст] / Ряднов А.И., Скворцов А.К., Шарипов Р.В., Иленева С.В.; заявитель и патентообладатель - ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА – №2000128584; заявл. 15.11.2000; опубл. 27.02.03, Бюл.№6.

#### References

1. Rjadnov, A.I. Universal'nyj agregat dlja uborki sorgo [Tekst]/A.I. Rjadnov, R.V. Sharipov, A.V. Semchenko, K.A. Matveeva//Sel'skij mehanizator №4, 2010g, - S.6.
2. Pat.2421974 Rossijskaja Federacija A01D 41/08. Kombajn dlja uborki tehničkih kul'tur [Tekst] / Rjadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V.; zajavitel' i patentoobladatel' -

FGOU VPO Volgogradskaja GSHA – №2010100341/21; zajavl. 11.01.10; opubl. 27.06.11, Bjul.№18.

3. Pat.2199203 Rossijskaja Federacija A01D 41/08. Shhelevoj biter s transportirujushhej plastinoj [Tekst] / Rjadnov A.I., Skvorcov A.K., Sharipov R.V., Ileneva S.V.; zajavitel' i patentoobladatel' - FGOU VPO Volgogradskaja GSHA – №2000128584; zajavl. 15.11.2000; opubl. 27.02.03, Bjul.№6.