

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОТОРА ОЧЁСЫВАЮЩЕЙ ЖАТКИ

Федин Михаил Андреевич, аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: fedinmix@mail.ru

Кухарев Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф., ректор, ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: penz_gau@mail.ru

Сёмов Иван Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: semiw@mail.ru

Ключевые слова: жатка, ротор, гребёнка, канал, очёсывающая, тангенциальный.

Цель исследований – повысить качество уборки зерновых уборкой очёсывающей жаткой «ОЗОН» с экспериментальным ротором. Уборка методом очёса – разновидность прямого способа уборки зерновых. Данный метод ещё не нашёл широкого применения в сельскохозяйственной практике из-за несовершенства уборочных агрегатов, которые не позволяют производить уборку без потерь. Метод основан на очёсывании колосков зерна, при этом на поле остаётся нескошенная стерня. В настоящее время на современном рынке присутствуют три основных производителя очёсывающих жаток, такие как Shelbourne Reynolds (Великобритания), ПАО «Пензмаш» (Российская Федерация) – жатки «ОЗОН» и УКР.Агро-Сервис (Украина) – жатки «Славянка». Зарубежные жатки обладают высокой ценой для отечественного сельхоз-товаропроизводителя, весьма дороги в эксплуатации и не всегда приспособлены к отечественным условиям работы. Для решения данной проблемы Пензенским государственным аграрным университетом в сотрудничестве с ПАО «Пензмаш» была разработана экспериментальная конструкция очёсывающего ротора, позволяющая работать на повышенных скоростях с минимальными потерями. Для обоснования оптимальных конструктивных и режимных параметров были проведены теоретические исследования предлагаемого устройства. В результате исследований были получены зависимости взаимодействия гребёнки с колосом при его контакте в горизонтальной плоскости. Разделив гребёнку на две зоны (зона захвата колоса и зона очёса тангенциальным каналом) и распределив силы, действующие на колос в данных зонах, путём математических преобразований и вычислений выразили углы альфа и бета, вычисляя которые, можно теоретически рассчитать оптимальный угол сужения между очёсывающими гребёнками и углом поворота асимптоты тангенциальной функции, образующей боковую стенку зуба тангенциального канала гребёнки. Путём математических преобразований получены уравнения, позволяющие найти координаты колоса в любой момент времени. Проанализировав полученные данные, можно определить наиболее изнашивающиеся части зубьев гребёнок, а в процессе проектирования усилить данные места конструктивно, значительно повысив долговечность службы гребёнок.

THEORETICAL RESEARCH OF THE ROTOR WHEEL OF THE REAPING MACHINE

Fedin M. A., graduate student of the department «Mechanization of technological processes in agro-industrial complex», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya, 30 str.

E-mail: fedinmix@mail.ru

Kukharev O. N., dr. of techn. sciences, prof., rector FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya, 30 str.

E-mail: penz_gau@mail.ru

Semov I. N., cand. of techn. sciences, associate professor of the department «Mechanization of technological processes in agro-industrial complex», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya, 30 str.

E-mail: semiw@mail.ru

Key words: header, rotor, comb, channel, combing, tangential.

The aim of the research is to improve the quality of grain harvesting with the «OZON» combing Reaper with an experimental rotor. Harvest with the method of combing is a kind of straight harvest of grain. This method isn't widely used in agriculture because of the imperfection of the harvesting device, which don't let to do the harvest without lose. The method is based on stripping grain spikes while field is an unmown stubble. Nowadays at the modern market there are three main producers of stripper header such as Shelboyrne Reynolds (Great Britain), PAO Penza Machines (the Russian Federation) stripper header Ozon and UKR, Agriservice (the Ukraine) – Slavyanka. Foreign machines have high price for the native producer, moreover they are very expensive in using and cannot always work in Russian conditions. For solving this problem Penza State Agricultural University together with PAO Penza Machines worked out an experimental construction of the reaping rotor which allows to work on high speed with shortest waste. For proving the best possible constructive and operating conditions, a theoretical research of this tool was conducted. Thus we got the dependence of cooperation of stripper fingers and spike in its contact in horizontal plane. Having divided the stripper fingers into two zones (the zone of catching the spike and the zone of combing by tangential channel) and having spread the power influencing the spike in these zones, with the help of mathematical calculations we got angle ALFA and angle BETA. Finding them it is possible to work out theoretically the optimal angle of narrowing between stripper fingers and the angle of turning asymptote of tangential function making the side wall of the cutter of the tangential channel of the stripper fingers. With the help of mathematical calculations we received the equations which let us to find the coordinates of the spike anytime. Having analyzed the obtained data, it is possible to define the most wearing parts of the cutter of the stripping fingers and during constructing to reinforce these parts structurally and increase the longevity of using the stripper fingers.

Применяемые в настоящее время технические средства для уборки зерновых культур не в полной мере удовлетворяют агротехническим требованиям. В основном возникают трудности с уборкой зерновых. Среди многих нерешённых проблем производства зерна наиболее острой является проблема уборки урожая в агротехнические сроки (7-12 дней) и устранения, таким образом, значительных потерь зерна. Потери зерна от самоосыпания через 20 дней после наступления полной спелости составляют от 18,4 до 20,2%. Поэтому наиболее целесообразно производить уборку хлебов в короткий период времени, обусловленный агротехническими сроками.

По большей части это связано с тем, что реализуемый классический метод, основанный на том, что в молотильный аппарат кроме зерна из колоса поступает и незерновая часть, ведёт к дополнительным нагрузкам на молотильно-сепарирующее устройство (МСУ), снижает его пропускную способность, что напрямую влияет на производительность процесса. Решением данной проблемы является уборка зерновых очёсывающим методом, при котором комбайны оснащаются очёсывающими жатками, производящими счёсывание зерновой части стебля без полного его среза. За счет этого снижается поступление массы в МСУ, что увеличивает производительность, снижает потери, число травмированных зерен, засоренность ворохом, а также уменьшает удельные затраты топлива, позволяет избежать поломок и преждевременного срабатывания комбайнов [1, 2].

Цель исследований – повысить качество уборки зерновых уборкой очёсывающей жаткой «ОЗОН» с экспериментальным ротором.

Задача исследований – определить необходимые теоретические параметры, необходимые для проектирования экспериментального очёсывающего ротора.

В настоящее время отечественный производитель серийно выпускает только жатки типа «ОЗОН». Но они не в полной мере удовлетворяют агротехническим требованиям и имеют потери зерна при работе на повышенных скоростях.

Для улучшения качества очёса, снижения потерь зерна за жаткой при работе на повышенных скоростях ФГБОУ ВО Пензенским ГАУ совместно с заводом ПАО «Пензмаш» разработана конструкция ротора, оснащённого гребёнкой с тангенциальным каннлом.

Теория уборки методом очёсывания растений на корню была широко освещена в работах А. И. Бурьянова [3], М. А. Бурьянова [4], Э. В. Жалнина [5, 6], О. В. Моисеенко [7], С. Д. Ридного [8], А. И. Савченкова [9], П. А. Шабанова [10, 11, 12] и др., но данные работы были рассчитаны на частные случаи, поэтому возникает необходимость проведения теоретических исследований предлагаемой конструкции.

Материалы и методы исследований. Предлагаемое устройство (рис. 1) состоит из каркаса 1, очёсывающего ротора 2, на котором закреплены гребёнки 3, шнека 4, передающего очёсанный ворох в наклонную камеру комбайна обтекателя 7.

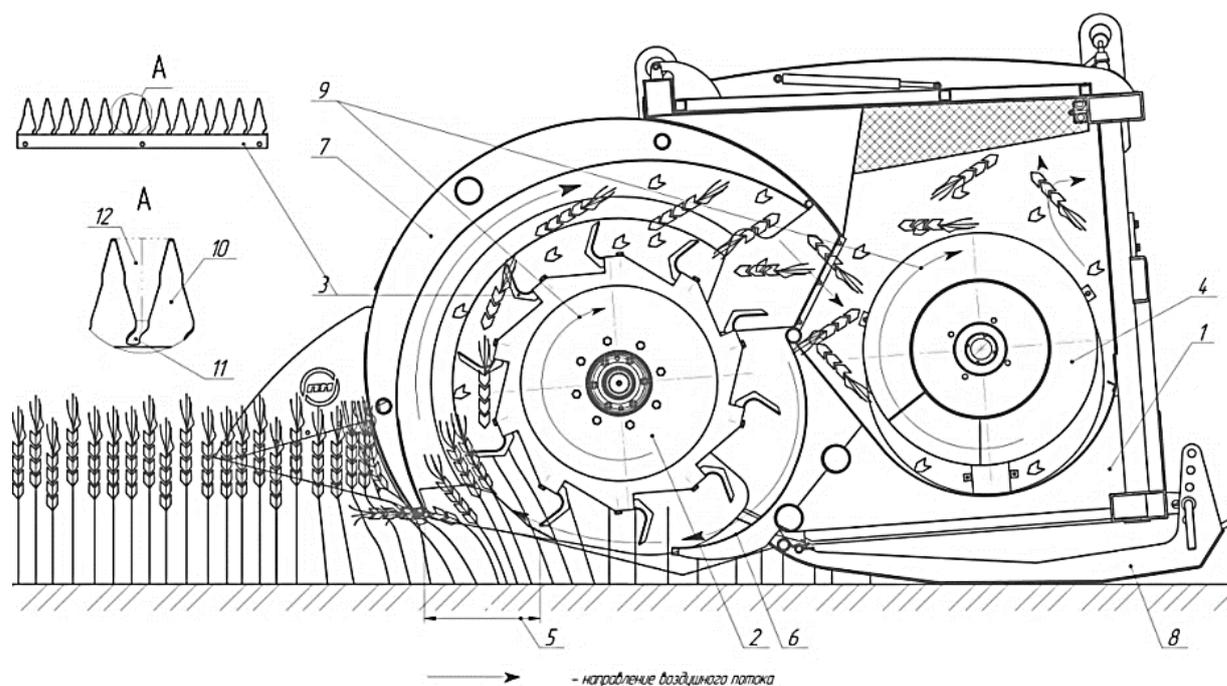


Рис. 1. Технологическая схема работы однороторной жатки с новой конструкцией очёсывающего ротора:
 1 – каркас; 2 – очёсывающий ротор; 3 – съёмные гребёнки; 4 – шнек; 5 – зона очёса; 6 – подбарабанье; 7 – обтекатель;
 8 – лыжа; 9 – направления вращения шнека и ротора; 10 – очёсывающий зуб; 11 – тангенциальный канал;
 12 – зона захвата колоса

С помощью гидроцилиндров регулируется зона очёса 5 растений очёсывающим барабаном в зависимости от состояния хлебостоя на поле. Жатка, приводимая в движение комбайном, передвигается по полю на опорных лыжах 8, вращение с наклонной камеры комбайна передаётся на редуктор, далее на цапфу очёсывающего ротора 2 с изменением частоты вращения (вращение на шнек передаётся без изменений частоты). Внедряясь в хлебостой, гребёнка 3 направляет стебли растений в зону захвата колоса 12. При дальнейшем движении колоса по кромке зуба 10 он попадает в канал 11 и начинает перемещаться в нём как в поперечном, так и в продольном направлении, в этот момент начинается отрыв колоса основанием рабочей поверхности.

В дальнейшем продукты очёса за счёт полученной кинетической энергии от гребёнки 3 и воздушным потоком, создаваемый ротором, перемещаются к транспортирующему шнеку 4. Шнек 4 транспортирует продукты очёса в зерноуборочный комбайн для полного обмолота, сепарации зерна от растительных остатков и его сбора в бункер.

По сравнению с существующими аналогами предлагаемая конструкция ротора очёсывающего устройства обеспечивают качественную уборку урожая зерновых и семенников трав при минимальных материальных затратах.

Результаты исследований. Для обоснования оптимальных конструктивных и режимных параметров были проведены теоретические исследования предлагаемого устройства. Для того чтобы рассмотреть все силы, действующие на колос при взаимодействии с гребёнкой в горизонтальной плоскости, рассмотрим зону захвата колоса. Для этого построим схемы сил, действующих в горизонтальной плоскости на колос при взаимодействии с гребёнкой (рис. 2), разложим их по осям x и y и согласно принципу Д'Аламбера составим уравнения:

$$x: N \cos \alpha - F_{yп} \cos \alpha - F_{тр} \sin \alpha = 0; \quad (1)$$

$$y: N \sin \alpha - F_{yп} \sin \alpha + F_{тр} \cos \alpha - F_{ц} + F_y = 0, \quad (2)$$

где N – сила реакции опоры, действующая на колос со стороны зуба очёсывающей гребёнки, Н; $F_{yп}$ – сила упругости стебля, Н; $F_{тр}$ – сила трения колоса о зуб гребёнки, Н; $F_{ц}$ – центробежная сила, действующая на семя со стороны диска, Н; F_y – сила удара зуба гребёнки по колосу, Н; R – расстояние от центра ротора до места контакта зуба очёсывающей гребёнки с колосом (радиус ротора), м.

Рассмотрев силы, действующие в горизонтальной плоскости на колос при взаимодействии с гребёнкой в момент захвата колоса (рис. 2), путём математических преобразований и вычислений выразили угол α , вычислив который, можно определиться с углом сужения между очёсывающими гребёнками

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\left(g + \frac{\omega^2}{R} \right) - (10^{-3} K \frac{g}{s} I) / (\mu g) \right). \quad (3)$$

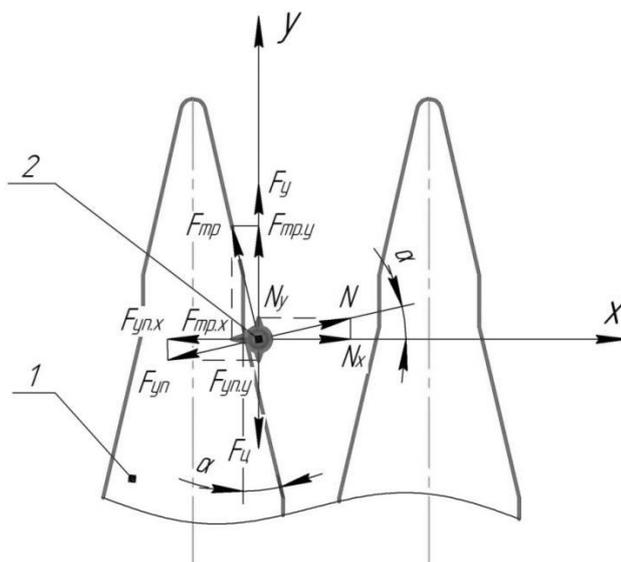


Рис. 2. Схема сил, действующих в горизонтальной плоскости на колос при взаимодействии с гребёнкой в момент захвата колоса:

1 – зуб гребёнки; 2 – колос растения; F_y – сила удара зуба по колосу; F_{mp} – сила трения колоса о зуб гребёнки; $F_{mp.x}$ и $F_{mp.y}$ – горизонтальные и вертикальные составляющие силы трения; N – сила реакции опоры; N_x и N_y – горизонтальные и вертикальные составляющие силы реакции опоры; F_{yn} – сила упругости стебля; $F_{yn.x}$ и $F_{yn.y}$ – горизонтальные и вертикальные составляющие силы упругости стебля; $F_{ц}$ – центробежная сила

Интегрируя два полученных выражения (1) и (2), получим уравнения, позволяющие найти координаты колоса в любой момент времени при захвате колоса очёсывающей гребёнкой и при движении его до входа в тангенциальный канал

$$x = \sqrt{\left\{ \frac{R}{\cos \alpha} \cdot W \right\}} \cdot t, \quad (4)$$

$$y = \begin{cases} \frac{1}{2 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)} \left[\sqrt{\frac{4 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)}{1} \cdot Q \cdot t^2 + 1 - \frac{1}{2} \log \left(\frac{\left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right) \cdot Q}{1} \cdot t^2 \right)} + \right. \\ \left. \log \left(\sqrt{\frac{4 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)}{1} \cdot Q \cdot t^2 + 1 - 1} \right) \right] \\ \frac{1}{2 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)} \left[-\sqrt{\frac{4 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)}{1} \cdot Q \cdot t^2 + 1 - \frac{1}{2} \log \left(\frac{\left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right) \cdot Q}{1} \cdot t^2 \right)} + \right. \\ \left. \log \left(\sqrt{\frac{4 \left(\frac{\sin \alpha}{R} - \frac{1}{R} \right)}{1} \cdot Q \cdot t^2 + 1 + 1} \right) \right] \end{cases} \quad (5)$$

Анализируя и решая уравнения, можно построить график движения колоса в межзубовом пространстве. Траектория движения близко похожа на график положительной ветви тангенциальной функции.

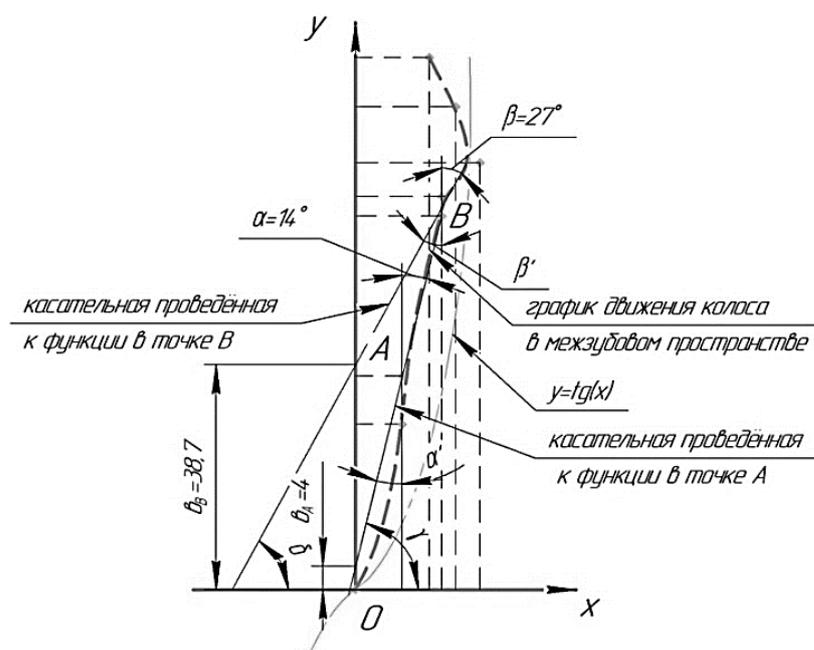


Рис. 3. График траектории движения колоса в межзубовом пространстве:

α – угол сужения между очёсывающими гребёнками; β – угол поворота асимптоты тангенциальной функции, образующей боковую стенку зуба гребёнки; b_A и b_B – коэффициенты, отвечающие за сдвиг функции по оси Y; γ – угол между касательной к графику движения колоса в межзубовом пространстве, проведённой в точке A и осью X; δ – угол между касательной к графику движения колоса в межзубовом пространстве, проведённой в точке B и осью X

Так как полученная функция сложная в своём построении и восприятии, были использованы программные обеспечения GeoGebra и FBK Grapher для построения графика (рис. 3).

В результате анализа графика (рис. 3) были получены уравнения касательных в точках A и B.

$$y_A = k_A x + b_A, \quad (6)$$

$$y_B = k_B x + b_B, \quad (7)$$

где k_A – коэффициент наклона функции для касательной в точке A; k_B – коэффициент наклона функции для касательной в точке B; b_A и b_B – коэффициенты, отвечающие за сдвиг функции по оси Y, $b_A = 4$ мм, $b_B = 38,7$ мм.

$$k_A = \operatorname{tg} \gamma, \quad (8)$$

$$k_B = \operatorname{tg} \delta, \quad (9)$$

где γ – угол между касательной к графику движения колоса в межзубовом пространстве, проведённой в точке A, и осью X, $\gamma = 76^\circ$; δ – угол между касательной к графику движения колоса в межзубовом пространстве, проведённой в точке B, и осью X, $\delta = 63^\circ$;

Подставляя полученные значения и уравнения (6) и (7) функции y_A и y_B примут вид:

$$y_A = 4,01x + 4 \quad (10)$$

$$y_B = 1,96x + 38,7, \quad (11)$$

Определим значения интересующих углов:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 90^\circ - \gamma, \quad (12)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 90^\circ - 76^\circ = 14^\circ,$$

$$\alpha_1 = \alpha^\circ = 14^\circ.$$

Определили угол поворота функции $\alpha = 14^\circ$, который будет отражать угол сужения прорези между зубьями очёсывающих гребёнок.

$$\beta_1 = 180^\circ - 90^\circ - \delta, \quad (13)$$

$$\beta_1 = 180^\circ - 90^\circ - 63^\circ = 27^\circ,$$

$$\beta_1 = \beta^\circ = 27^\circ. \quad (14)$$

Аналогично определили угол $\beta = 27^\circ$, который равняется углу поворота асимптоты тангенциальной функции, образующей боковую стенку зуба гребёнки.

Полученные данные будут использованы в процессе проектирования, так как по ним можно определить наиболее изнашивающиеся части зубьев гребёнок, конструктивно усилив данные места, можно значительно повысить долговечность службы гребёнок.

Заключение. Представленные результаты теоретических исследований взаимодействия гребёнки с колосом при его контакте в горизонтальной плоскости позволяют рассчитать оптимальный угол сужения между очёсывающими гребёнками, который равен $\alpha = 14^\circ$, и угол поворота асимптоты тангенциальной функции $\beta = 27^\circ$, образующей боковую стенку зуба тангенциального канала гребёнки. По уравнениям координат движения колоса в любой момент времени в двух зонах гребёнки возможно определить наиболее изнашивающиеся части зубьев гребёнок, а в процессе проектирования усилить данные места конструктивно, значительно повысив долговечность службы гребёнок. Опираясь на полученные теоретические расчёты некоторых параметров ротора, в дальнейшем планируется выполнение эскизного проектирования очёсывающего ротора новой конфигурации и его изготовление.

Библиографический список

1. Федин, М. А. Определение потерь зерна за очёсывающей жаткой с ротором, оснащённым гребёнкой с тангенциальным каналом / М. А. Федин, О. Н. Кухарев, И. Н. Сёмов // Нива Поволжья. – 2017. – №4. – С. 175-181.
2. Леменкин, А. М. Технология уборки зерновых методом очесывания на корню: состояние и перспективы / А. М. Леменкин, В. И. Кравчук, А. С. Кушнарков. – Дисидницкое, 2010. – 123 с.
3. Бурьянов, А. И. Моделирование процесса очеса зерновых культур однобарабанной жаткой / А. И. Бурьянов, М. А. Бурьянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – №4. – С. 2-5.
4. Бурьянов, М. А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Бурьянов Михаил Алексеевич. – Зеленоград : Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – 2011. – 194 с.
5. Жалнин, Э. В. Сравнительная оценка очесывающих адаптеров различных конструкций / Э. В. Жалнин, А. Т. Табашников [и др.] // Научно-технический бюллетень ВИМ. – М. : ВИМ, 1992. – Вып. 83. – С. 21.
6. Жалнин, Э. В. Технология уборки зерновых комбайновым агрегатом / Э. В. Жалнин, А. И. Савченков. – М. : Россельхозиздат, 1981. – С. 144.
7. Моисеенко, О. В. Исследование параметров и режимов работы приспособления для образования стерневых кулис : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Моисеенко Олег Викторович. – Челябинск : Челябинский государственный агроинженерный университет. – 2008. – 130 с.
8. Ридный, С. Д. Эффективность работы очесывающей жатки / С. Д. Ридный, Е. В. Герасимов, А. Ю. Фусточенко // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013 : Сб. научных трудов SWorld. – Одесса : КУПРИЕНКО. – 2013. – Т. 6, Вып. 6. – С. 58.
9. Шабанов, П. А. Обмолот на корню – дальнейшее развитие двухфазного способа обмолота зерновых культур / П. А. Шабанов, Н. П. Шабанов // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – №8. – С. 8-10.
10. Кухарев, О. Н. Классификация очёсывающих устройств / О. Н. Кухарев, И. Н. Сёмов, М. А. Федин // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России : сб. статей Международной науч.-практ. конференции молодых ученых. – Пенза : РИО ПГСХА, 2016. – Том III. – С. 72-74.
11. Кухарев, О. Н. Исследование размерных характеристик зерна пшеницы / О. Н. Кухарев, И. Н. Сёмов, М. А. Федин // Участие молодых ученых в решении актуальных вопросов АПК России : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза : РИО ПГСХА, 2016. – С. 20-23.
12. Кухарев, О. Н. Исследование физико-механических составляющих стебля растения / О. Н. Кухарев, И. Н. Сёмов, М. А. Федин // Участие молодых ученых в решении актуальных вопросов АПК России : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза : РИО ПГСХА, 2016. – С. 17-20.

Bibliography

1. Fedin, M. A. Determination of losses of grain with a cleaning Reaper with a rotor, equipped with a Reaper with a tangential channel / M. A. Fedin, O. N. Kukharev, I. N. Semov // Niva Povolzhya. – 2017. – №4. – P. 175-181.
2. Lemenkin, A. M. Technology of grain harvesting method of otesyvanija standing: status and prospects / A. M. Lemenkin, V. I. Kravchuk, A. S. Kushnarov. – Disidnitskoe, 2010. – 123 p.

3. Bur'yanov, A. I. Modeling of the process of the grain crops by a single-grain harvester / A. I. Buryanov, M. A. Buryanov / Mechanization and electrification of agriculture. – 2012. – №4. – P. 2-5.
4. Bur'yanov, M. A. Parameters and modes of process flock crops mounted on the combine header : dis. ... kand. tech. sciences : 05.20.01 / Bur'yanov Mikhail Alekseevich. – Zelenograd : North Caucasus research Institute of mechanization and electrification of agriculture. – 2011. – 194 p.
5. Zhalnin, E. V. Comparative assessment of the combing adapters of various designs / E. V. Zhalnin, A. T. Tabashnikov [et al.] // Scientific and technical Bulletin All-Russian Institute of mechanization. – M. : All-Russian Institute of mechanization, 1992. – Vol. 83. – P. 21.
6. Zhalnin, E. V. Technology of grain harvesting by combine unit / E. V. Zhalnin, A. I. Savchenkov. – Moscow : Rosselkhozisdat, 1981. – P. 144.
7. Moiseenko, O. V. Study of parameters and modes of operation of the device for the formation of stubble wings : dis. ... kand. tech. sciences : 05.20.01 / Moiseenko Oleg Viktorovich. – Chelyabinsk : Chelyabinsk state Agroengineering University. – 2008. – 130 p.
8. Ridnyi, S. D. The Efficiency of the combing harvester / S. D. Ridniy, E. V. Gerasimov, A. Yu. Fustochenko // Modern directions of theoretical and applied researches 2013 : Sat. scientific works SWorld. – Odessa : KUPRIENKO. – 2013. – T. 6, Vol. 6. – P. 58.
9. Shabanov, P. A. The further development of the two – phase method of threshing of grain crops / P. A. Shabanov, N. P. Shabanov // Achievements of science and technology of agriculture. – 2006. – №8. – P. 8-10.
10. Kukharev, O. N. Classification of cleaning devices / O. N. Kukharev, I. N. Semov, M. A. Fedin // Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia : collection of articles of the International scientific and practical conference of young scientists. – Penza : PC Penza SAA, 2016. – Vol. III. – P. 72-74.
11. Kukharev, O. N. Study of the size characteristics of wheat grain / O. N. Kukharev, I. N. Semov, M. A. Fedin // Participation of young scientists in solving topical issues of the agro-industrial complex of Russia : collection of articles of the all-Russian scientific-practical conference. – Penza : PC Penza SAA, 2016. – P. 20-23.
12. Kukharev, O. N. Study of physical and mechanical components of the plant stem / O. N. Kukharev, I. N. Semov, M. A. Fedin // Participation of young scientists in solving topical issues of the agro-industrial complex of Russia : collection of articles of the all-Russian scientific-practical conference. – Penza : PC Penza SAA, 2016. – P. 17-20.