

УДК 631.356

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
УБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ  
КАРТОФЕЛЯ)**

Павлов Виталий Александрович  
аспирант

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н., профессор

Юхин Иван Александрович  
к.т.н.

Панкова Елена Анатольевна  
к.т.н.  
*Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

В статье предложено схемно-конструктивное решение сепарирующего рабочего органа картофелеуборочной машины, которое позволяет при работе в тяжелых условиях уборки повысить эффективность отделения корнеклубнеплодов от стеблей ботвы и растительных остатков, снизить количество повреждений клубней

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ,  
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНАЯ МАШИНА,  
СЕПАРИРУЮЩИЙ РАБОЧИЙ ОРГАН, ПРОЦЕСС  
УБОРКИ

UDC 631.356

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF  
HARVESTING OPERATIONS (ON THE  
EXAMPLE OF POTATOES)**

Pavlov Vitaliy Aleksandrovich  
postgraduate student

Uspensky Ivan Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., professor

Yukhin Ivan Aleksandrovich  
Cand.Tech.Sci

Pankova Elena Anatolievna  
Cand.Tech.Sci  
*Ryazan State Agrotechnological University Named  
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

The article presents the scheme-constructive solution for the separating working organ of the potato harvester, that allows to improve separation efficiency of root crops off the stems tops of vegetable and plant residues in difficult harvesting conditions, as well as reducing the amount of damage to tubers

Keywords: POTATOES, POTATO HARVESTER,  
SEPARATING WORKING ORGAN,  
HARVESTING PROCESS

Среди всех продовольственных культур картофель занимает важное место в жизни человека. Картофель - превосходный продукт питания. Благодаря высокому содержанию углеводов, и прежде всего крахмала, картофель в значительной мере восполняет потребность человека в калориях. Биологически ценным продуктом его делает высокое содержание минеральных солей, железа и витаминов. Исходя из этого, можно сделать вывод, что значение картофеля в питании человека в будущем не только не снизится, а, наоборот, возрастет. Производство данной культуры во всем мире растет быстрыми темпами, что обусловлено ежегодно возрастающим спросом на данную культуру.

Существенное влияние на товарные качества картофеля оказывает процесс уборки [1]. К снижению товарных качеств продукта и нарушению агротехнических требований приводит несовершенство конструкций

рабочих органов картофелеуборочной техники. Осенний период уборки ужесточает требования, предъявляемые к надежности и эксплуатационно-технологическим свойствам картофелеуборочной техники. Погодные условия данного времени года бывают настолько тяжелыми, что техника не справляется с поставленными задачами [2].

С целью повышения эффективности работы картофелеуборочных машин в сложных условиях выявлена необходимость совершенствования конструкций сепарирующих устройств, в том числе выносного типа [3, 4, 5]

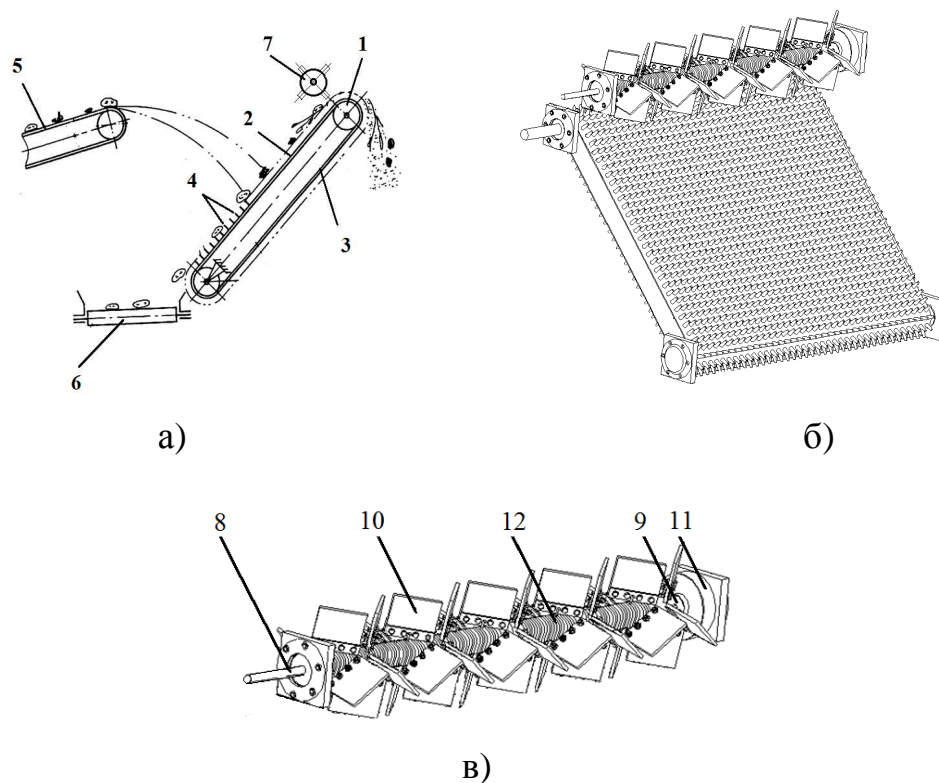
По результатам анализа существующих конструкций сепарирующих органов можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением является дальнейшее улучшение конструкций сепарирующих горок и разработка клубнеотражающих устройств, которые соответствовали бы требованиям максимальной производительности при низких значениях повреждений, потерь и высокой чистоте клубней в таре при сложных условиях работы [6].

Из трудов Колчина Н.Н. [7] установлено, что в мировом сельском хозяйстве интенсивно растет уровень его комплексной механизации на основе широкой автоматизации технологий машинного производства картофеля и другой сельскохозяйственной продукции с использованием методов логистики, точного (precision) и, в перспективе, интеллектуального (smart) земледелия с использованием глобальной спутниковой навигационной системы GPS с целью повышения эффективности, качества работ и обеспечения современных нормативных требований условий труда обслуживающего персонала и экологии.

В настоящее время нашей научно-исследовательской группой под руководством профессора И.А. Успенского ведется работа по совершенствованию сепарирующих устройств картофелеуборочных машин [8, 9].

Разработано несколько перспективных схемно-конструктивных решений, одно из которых предлагается вашему вниманию (рис.1) [10].

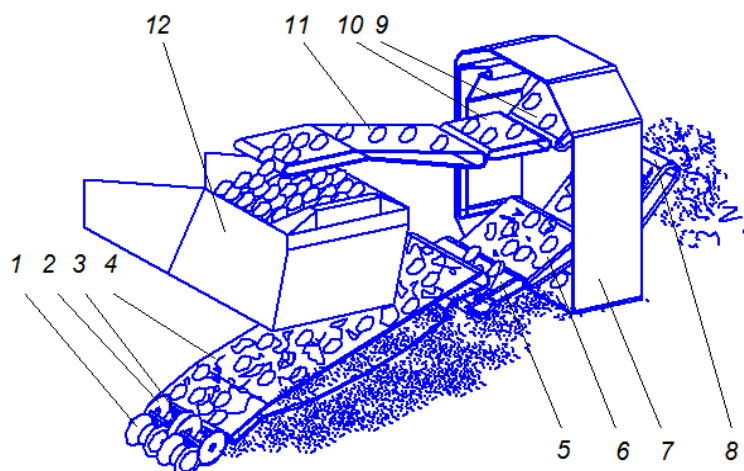
Данное устройство в технологической схеме комбайна (рассмотрим на примере технологической схемы комбайна AVR-220BK Variant)(рис.2) предлагается разместить над сепарирующей горкой 8.



а) схема работы устройства; б) общий вид расположения клубнеотражателя над сепарирующей горкой; в) общий вид клубнеотражателя.

1 - разделительная горка; 2 - рабочая ветвь пальчатого полотна; 3 - обратная ветвь пальчатого полотна; 4 - поверхность пальцев; 5 - подающий транспортер; 6 - выгрузной транспортер; 7 - клубнеотражатель; 8 - приводной вал; 9 - отбойный валик; 10 - эластичные лопасти; 11 - храповый механизм; 12 – пружины.

Рисунок 1. - Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей.



1 - комкоразрушающие катки; 2 - дисковые ножи; 3 - лемех; 4 - основной конвейер; 5 - каскадный конвейер; 6 - дополнительный конвейер; 7 - ковшовый конвейер; 8 - сепарирующая горка; 9 - дополнительная сепарирующая горка; 10 - промежуточный конвейер; 11 - переборочный стол; 12 - бункер.

Рисунок 2. - Технологическая схема картофелеуборочного комбайна AVR-220BK Variant.

Рассмотрим взаимодействие клубнеотражателя с компонентом (телом неправильной формы, составляющими частями которого являются клубень с налипшей на него почвой и ботвой) как наиболее сложным и неблагоприятным случаем.

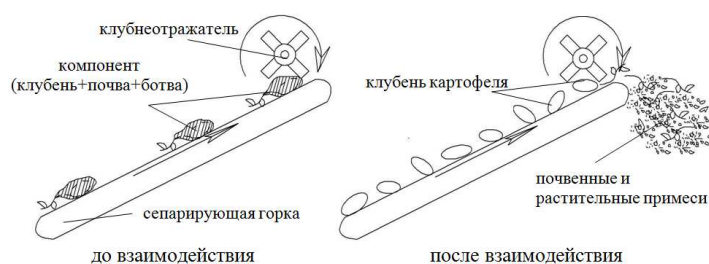
Быстрота и качество разделения компонента на составляющие зависит от степени и количества силовых воздействий на него со стороны рабочих органов выносной сепарации. Задача клубнеотражателя – интенсифицировать процесс разделения путем силового воздействия на компоненты. При этом возможны следующие случаи:

Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не может сойти с полотна горки и движется к клубнеотражателю, в

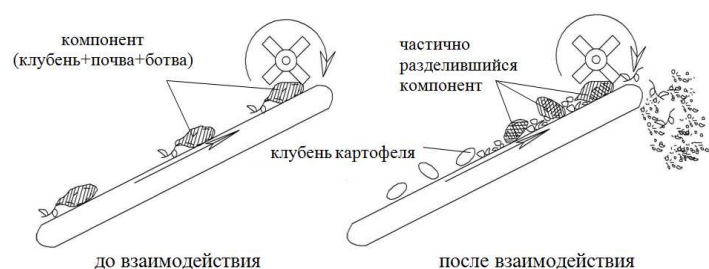
результате силового воздействия со стороны последнего компонент разделяется на составляющие (клубень, почва, ботва), затем клубень сходит с полотна горки, а примеси выносятся на поле (рис. 3 а).

Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не может сойти с полотна горки и движется к клубнеотражателю, в результате силового воздействия со стороны последнего компонент частично разделился (от клубня отделилась часть почвы или ботвы), принял иное положение на поверхности полотна наиболее благоприятное для схода, покатился, в результате чего разделился окончательно, клубень сходит с полотна горки, а примеси выносятся на поле (рис. 3 б).

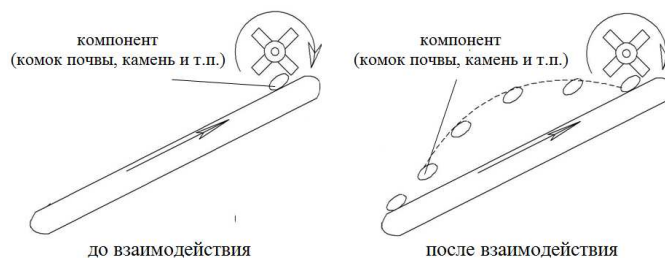
Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не может сойти с полотна горки и движется к клубнеотражателю, в результате силового воздействия со стороны последнего разделения не произошло, компонент откинут клубнеотражателем на пальчатое полотно и вновь движется к клубнеотражателю. Процесс будет повторяться до тех пор, пока компонент не покинет полотно (рис. 3 в).



а) компонент после взаимодействия с клубнеотражателем полностью разделился



б) компонент после взаимодействия с клубнеотражателем разделился частично, последующее разделение произошло на полотне горки



в) компонент (камень, комок почвы) после взаимодействия с клубнеотражателем не разделился

Рисунок 3. - Возможные случаи сепарации при взаимодействии компонента с клубнеотражателем.

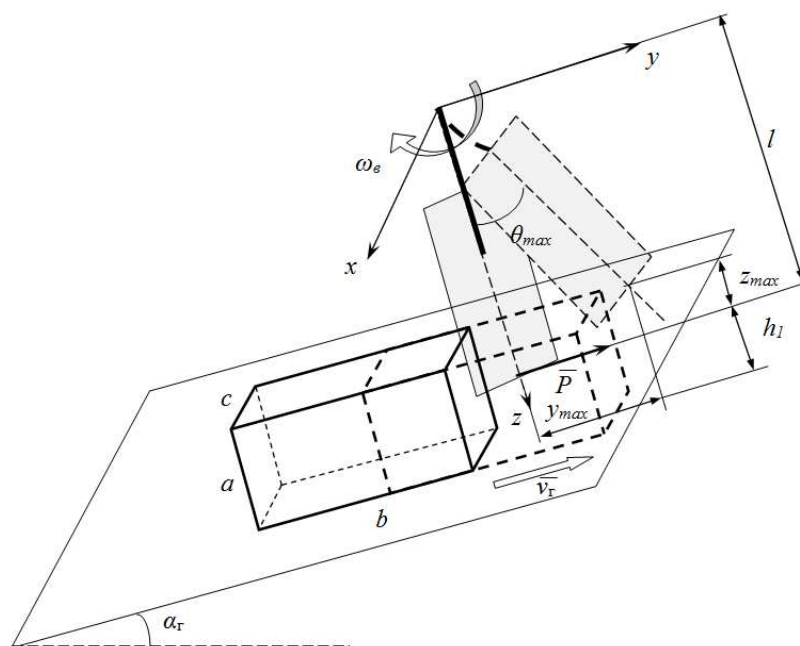
При выборе параметров сепарирующих рабочих органов в первом случае следует ориентироваться на то, чтобы ударное воздействие со стороны клубнеотражателя не повреждало клубни, во втором случае силовое воздействие должно обеспечивать предание компоненту наиболее благоприятного для схода положения на пальчатом полотне, не повреждая клубни, в третьем случае повторное взаимодействие компонента с клубнеотражателем может привести к повреждению эластичного покрытия пластин, т.к. компонентом может оказаться камень или твердый комок почвы, и необходим предохраняющий механизм с определенными параметрами для данного случая, позволяющий своевременно удалять такие компоненты с горки.

Из рассмотренных случаев на практике наиболее целесообразно обеспечивать выполнение 2 и 3 варианта, что позволит повысить эффективность разделения компонентов картофельного вороха и снизить повреждения клубней при повышении надежности устройства.

В связи с тем, что разработанный рабочий орган выносной сепарации предлагается к использованию в тяжелых условиях,

рассмотрим наиболее неблагоприятную для схода с полотна горки форму компонента - форму прямоугольного параллелепипеда с размерами  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и центром тяжести в точке  $C$  (рис. 4).

С целью снижения потерь и повреждений клубней рассмотрим взаимодействие пластины с компонентом. При данном взаимодействии происходит изгиб пружины-скрепки и рабочий зазор между полотном горки и отбойным валом увеличивается. Для выбора оптимального зазора необходимо определить максимальный прогиб пластины (рис. 4).



$a, b, c$  – геометрические размеры компонента (высота, длина, ширина), м;  $P$  – сила, взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н;  $\alpha_g$  – угол наклона горки, рад;  $\omega_g$  – угловая скорость вращения вала клубнеотражателя, рад/с;  $v_g$  – скорость движения поверхности горки, м/с;  $\theta_{max}$  – максимальный угол поворота пружины-скрепки, рад;  $y_{max}$  – максимальный прогиб отбойного элемента по оси  $y$ , м;  $P_{max}$  – максимальная сила, Н;  $l$  – расстояние от конца пластины до поверхности отбойного валика, м;  $z_{max}$  – максимальное перемещение лопасти по оси  $Z$ , м;  $h_1$  – зазор между концом лопасти и поверхностью горки при наибольшем их сближении, м

Рисунок 4. – Схема взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя (для определения прогиба пластин).

В результате предварительных расчетов была определена минимальная сила необходимая для предания компоненту наиболее благоприятного для схода с горки положения:

$$P > b \cdot c \cdot \rho_k g (\cos \alpha_2 b - \sin \alpha_2 a), \quad (1)$$

где  $\alpha_2$  – угол наклона горки, рад;

$a, b, c$  – геометрические размеры компонента (высота, длина, ширина), м;

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;

$\rho_k$  – плотность компонента,  $кг/м^3$ ;

Принимаем, что при деформации пластины имеет место прямой поперечный изгиб. Дифференциальное уравнение изогнутой оси подпружиненного элемента:

$$E_{nc} \cdot I_x \cdot \frac{d^2 y}{dZ^2} = M(z), \quad (2)$$

где  $E_{nc}$  – модуль Юнга материала пружины-скрепки, МПа;

$I_x$  – момент инерции сечения пружины-скрепки,  $м^4$ ;

$M(z)$  – изгибающий момент в сечении, Нм.

Имеем:

$$M(z) = P \cdot z, \quad (3)$$

где  $z$  – расстояние от основания пружины-скрепки до искомого сечения, м.

Для круглого сечения пружины-скрепки момент инерции рассчитывается по выражению:

$$I_x = \frac{\pi \cdot r^4}{4}, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус проволоки пружины-скрепки, м.

Подставляя в (1) выражения (2) и (3) получим:



$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{4P \cdot z}{E_{nc} \cdot \pi \cdot r^4}, \quad (5)$$

Проинтегрируем данное выражение два раза. При первом интегрировании получим угол поворота данного сечения, при втором – прогиб по оси  $y$ . В заделке, т.е. у основания вала, прогиб и угол поворота равны нулю. Максимальные значения данных параметров будут на конце пластины, т.е. на расстоянии  $l$  от вала. Максимальный прогиб и угол поворота будут при максимальном значении изгибающей силы, которая достигается, если в состав компонента входит максимум почвы и растительных примесей. В результате имеем:

$$\theta_{\max} = \frac{2P_{\max} \cdot l^2}{E_{nc} \cdot \pi \cdot r^4}, \quad (6)$$

$$y_{\max} = \frac{4P_{\max} \cdot l^3}{3E_{nc} \cdot \pi \cdot r^4}, \quad (7)$$

где  $\theta_{\max}$  – максимальный угол поворота пружины-скрепки, рад;

$y_{\max}$  – максимальный прогиб отбойного элемента по оси  $y$ , м;

$P_{\max}$  – максимальная сила, Н;

$l$  – расстояние от конца пластины до поверхности отбойного валика, м.

Предлагаемое схемно-конструктивное решение устройства в тяжелых условиях работы позволяет повысить эффективность отделения корнеклубнеплодов от стеблей ботвы и растительных остатков, снизить количество повреждений клубней. Разработанное устройство повышает эффективность процесса сепарации на продольной горке и снижает повреждения клубней при повышении надежности выполнения технологического процесса картофелеуборочной машиной. По результатам проведенных полевых исследований установлено, что у усовершенствованного картофелеуборочного комбайна AVR 220 ВК Variant при использовании усовершенствованного органа выносной

сепарации по сравнению с серийными машинами увеличивается чистота клубней в таре с 72,3 до 87,8%, а потери и повреждения клубней уменьшаются с 5,4 до 1,9% и с 7,2 до 4,03% соответственно, при этом появляется возможность повышения рабочей скорости движения агрегатов при уборке с 4,2 до 4,5 км/ч, что позволяет увеличить производительность работы с 0,38 до 0,43 га/ч соответственно.

### Список литературы

1. Туболев, С.С. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С.С. Туболев, С.И. Шеломенцев, К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук. – М.: Агроспас, 2010, 316 с.
2. Петров, Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. - 2-е изд. переработ. и доп. - М.: Машиностроение, 1984, 320 с.
3. Рембалович, Г.К. Результаты исследования эксплуатационной надежности органов вторичной сепарации картофелеуборочных машин [Текст] / Г. К. Рембалович, Р. В. Безносюк, И. А. Успенский // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Серия Агроинженерия. – 2009. - №3. – С. 40 – 42.
4. Рембалович, Г.К. Перспективы повышения технологической надежности рабочих органов картофелеуборочных машин при работе в сложных условиях [Текст] / Г. К. Рембалович, А.А. Кутыркин, Н.В. Бышов, И. А. Успенский // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем», Саранск, 2009, С. 321-323
5. Павлов, В.А. Перспективный орган выносной сепарации с лопастным отбойным валиком / В.А. Павлов, Р.В. Безносюк, Г.К. Рембалович, И.А. Успенский // В сб. «Интеграция науки с сельскохозяйственным производством»: Материалы научно-практической конференции, посвященной деятельности Университетского комплекса в Рязанской области». Рязанский ГАТУ – Рязань, 2011, С. 54-57
6. Замешаев, В.В. Обоснование параметров и разработка органа вторичной сепарации картофелеуборочных машин: дис ... канд. техн. наук. 05.20.01 / В.В. Замешаев – Рязань: 2002. - 158 с.
7. Основные тенденции развития высокопроизводительной техники / Колчин Н.Н. [и др.] // Тракторы и сельхозмашины – 2012. - № 4. – С. 46-51
8. Бышов, Д.Н. Инновационные решения вторичной сепарации: результаты испытаний в картофелеуборочных машинах [Текст] / Д. Н. Бышов [и др.] // Вестник ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 2011. - №4. – С. 34 – 37.
9. Рембалович, Г.К. Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции [Текст] / Г. К. Рембалович [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2012. - №3. – С. 6 – 8.
10. Пат. 2454850 Российская Федерация, МПК А01D 33/08. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей [Текст] / Павлов В. А., Рембалович Г. К., Безносюк Р. В., Бышов Н. В., Паршков А. В., Успенский И. А., Борычев С. Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный

агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (RU). - № 2011105511; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19. – 12 с. : ил.

### References

1. Tubolev, S.S. Mashinnye tehnologii i tehnika dlja proizvodstva kartofelja / S.S. Tubolev, S.I. Shelomencev, K.A. Pshechenkov, V.N. Zejruk. – M.: Agrosbras, 2010, 316 s.
2. Petrov, G. D. Kartofeleuborochnye mashiny / G.D. Petrov. - 2-e izd. pererabot. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1984, 320 s.
3. Rembalovich, G.K. Rezul'taty issledovaniya jekspluatacionnoj nadezhnosti organov vtorichnoj separacii kartofeleuborochnyh mashin [Tekst] / G. K. Rembalovich, R. V. Beznosjuk, I. A. Uspenskij // Vestnik FGOU VPO MGAU. Serija Agroi zhenerija. – 2009. - №3. – S. 40 – 42.
4. Rembalovich, G.K. Perspektivy povysheniya tehnologicheskoy nadezhnosti rabochih organov kartofeleuborochnyh mashin pri rabote v slozhnyh uslovijah [Tekst] / G. K. Rembalovich, A.A. Kutyrkin, N.V. Byshov, I. A. Uspenskij // Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovaniya mehanicheskikh i jenergeticheskikh sistem», Saransk, 2009, S. 321-323
5. Pavlov, V.A. Perspektivnyj organ vynosnoj separacii s lopastnym otbojnym valikom / V.A. Pavlov, R.V. Beznosjuk, G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij // V sb. «Integracija nauki s sel'skohozjajstvennym proizvodstvom»: Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj dejatel'nosti Universitetskogo kompleksa v Rjazanskoj oblasti». Rjazanskij GATU – Rjazan', 2011, S. 54-57
6. Zameshaev, V.V. Obosnovanie parametrov i razrabotka organa vtorichnoj separacii kartofeleuborochnyh mashin: dis ... kand. tehn. nauk. 05.20.01 / V.V. Zameshaev – Rjazan': 2002. - 158 s.
7. Osnovnye tendencii razvitiya vysokoproizvoditel'noj tehniki / Kolchin N.N. [i dr.] // Traktory i sel'hozmashiny – 2012. - № 4. – S. 46-51
8. Byshov, D.N. Innovacionnye reshenija vtorichnoj separacii: rezul'taty ispytanij v kartofeleuborochnyh mashinah [Tekst] /, D. N. Byshov [i dr.] // Vestnik FGBOU VPO RGATU. – 2011. - №4. – S. 34 – 37.
9. Rembalovich, G.K. Povyshenie nadezhnosti tehnologicheskogo processa i tehnicheskikh sredstv mashinnoj uborki kartofelja po parametram kachestva produkcii [Tekst] / G. K. Rembalovich [i dr.] // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2012. - №3. – S. 6 – 8.
10. Pat. 2454850 Rossijskaja Federacija, MPK A01D 33/08. Ustrojstvo dlja otdelenija korneklubneplodov ot primesej [Tekst] / Pavlov V. A., Rembalovich G. K., Beznosjuk R. V., Byshov N. V., Parshkov A. V., Uspenskij I. A., Borychev S. N.; zajavitel' i pantentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva» (RU). - № 2011105511; zajavl. 14.02.2011; opubl. 10.07.2012, Bjul. № 19. – 12 s. : il.