

УДК 633.49

UDC 633.49

05.00.00 Технические науки

05.00.00 Technical sciences

ИЗЫСКАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КЛУБНЕЙ ПРИ МАШИННОЙ УБОРКЕ КАРТОФЕЛЯ

INVESTIGATION OF ADVANCED MEANS TO REDUCE THE DAMAGE OF TUBERS WHILE POTATO MACHINE HARVESTING

Голиков Алексей Анатольевич
к.т.н.

РИНЦ SPIN-код=8540-7098

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Golikov Alexey Anatolevich
Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code=8540-7098

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Верещагин Николай Иванович

д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код=4632-6757

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Vereshchagin Nikolai Ivanovich

Dr.Sci.Tech., professor

RSCI SPIN- code =4632-6757

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

Самой трудо- и энергоемкой частью технологии машинного производства картофеля является процесс уборки, который осуществляется в основном комбайнами. Современные картофелеуборочные машины обеспечивают требуемые показатели эффективности в благоприятных условиях эксплуатации. В неблагоприятных условиях (которые, в первую очередь, характеризуются повышенной или пониженной влажностью почвы) полнота сепарации клубней от примесей снижается, а потери и повреждения продукции растут. Данная ситуация связана с несовершенством сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин. В процессе машинной уборки на сепарирующих рабочих органах отсеивается до 1000 тонн почвы с 1 Га. Вследствие этого производительность картофелеуборочных комбайнов в целом определяется пропускной способностью их сепараторов. В настоящее время наиболее широкое распространение и применение получили прутковые элеваторы. Одним из существенных недостатков является то, что в условиях пониженной влажности почвы наблюдается значительный рост повреждений клубней, основная причина которого заключается в контакте клубненосного вороха с боковинами рамы уборочной машины. Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что повышение эффективности и качества функционирования рабочих органов сепарации картофелеуборочных машин является актуальной научно-технической задачей для сельского хозяйства

The most labor- and energy-intensive part of potato machine production technology is harvesting which is done mainly with harvesters. Modern potato harvesters meet the required efficiency data in favorable conditions. In erroneous conditions (primarily characterized by high or low soil moisture) the efficiency of separating the tubers from impurities is reduced, and the loss and damage of the products increase. This situation is due to the imperfection of the separation device of potato harvesters. Up to 1000 tons of soil per 1 ha is separated at the separation device in the process of harvesting. As a result, the potato harvesters capacity on the whole is determined by their separators output. Nowadays, rod elevators are most widespread and used. One of the main drawbacks is the significant increase of tubers damage in a case of low soil moisture mainly caused by the contact of the tubers pile with the side frames of the harvesting machine. From the above reasoning, one can confirm that the increase of capacity and functioning quality of potato harvesters' separation devices is an urgent scientific-and-technical task of agriculture

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ, СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, КЛУБЕНЬ, КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНАЯ МАШИНА, ПОВРЕЖДЕНИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

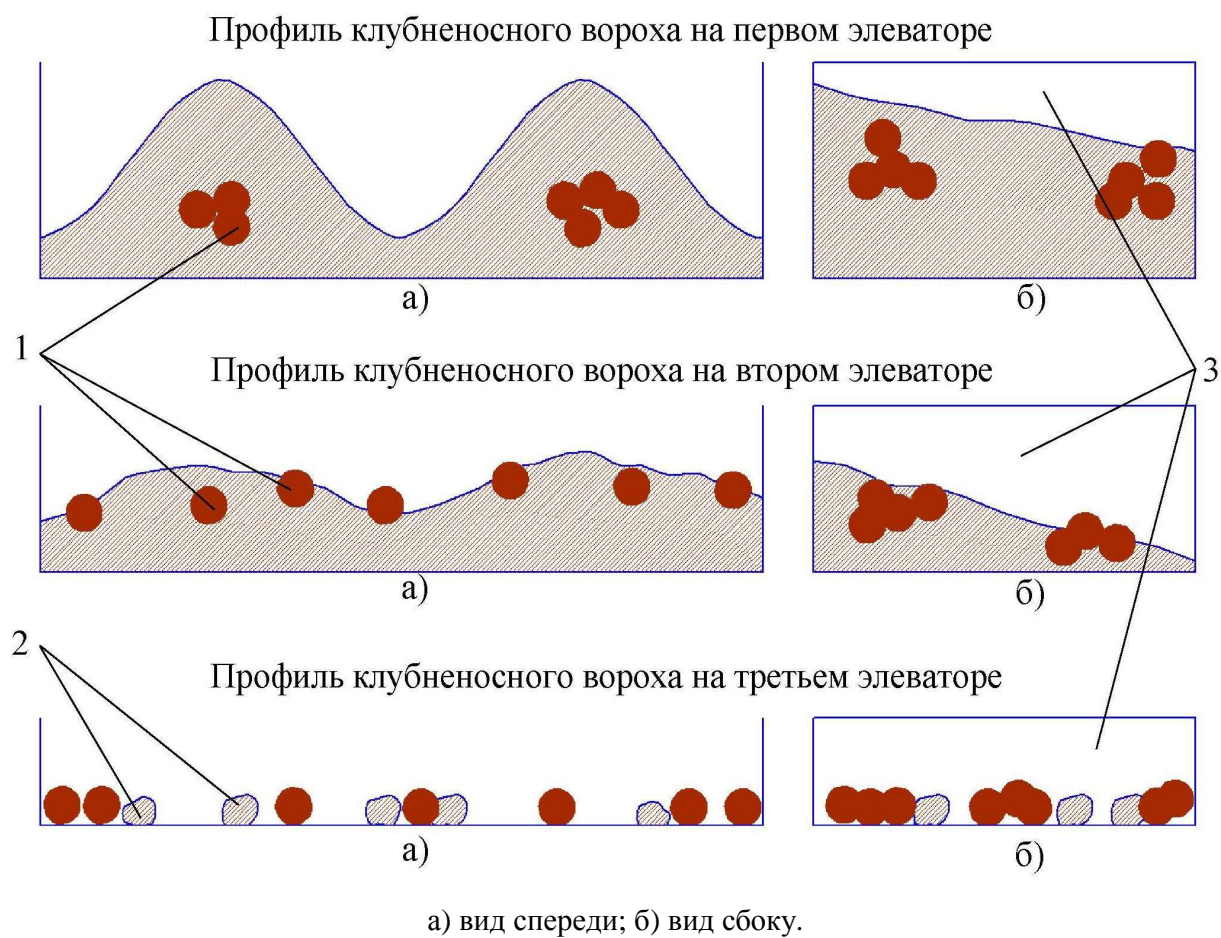
Keywords: POTATOES, SEPARATOR, TUBER, POTATO HARVESTER, DAMAGES, PERFORMANCE

Современные картофелеуборочные машины в общем виде представляют собой сложный технологический механизм, состоящий из отдельных технологических блоков, среди которых можно выделить подкапывающие, сепарирующие рабочие органы, устройства для накопления и выгрузки продукции и т.д. Все многообразие и сложность конструкции является результатом научно-технического прогресса от ручного возделывания культуры до технологий и техники «умного земледелия» [1, 2, 3]. Причем эффективность работы всей системы непременно будет зависеть от слаженности функционирования каждого из приведённых выше отдельных технологических блоков. В общем случае картофелеуборочный комбайн обеспечивает требуемые показатели эффективности функционирования при благоприятных условиях эксплуатации [1, 2].

В неблагоприятных условиях эксплуатации полнота сепарации клубней от примесей снижается, а потери и повреждения продукции растут [4]. Данная ситуация связана в первую очередь с несовершенством сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин [5, 6, 7]. Так подавляющее большинство повреждений клубней возникает от взаимодействия с неупругими поверхностями рабочих органов, например, с жесткими боковинами рамы комбайна (рис. 1). Причем ситуация усугубляется тем, что основная масса почвы отсеивается на первом элеваторе (до **90 %**), а на последующие - поступают преимущественно клубни с растительными примесями (повышая тем самым вероятность получения травмы клубнем) [6]. В связи с чем, дальнейшее развитие уборочной техники непосредственно связано с устранением или частичной ликвидацией данного негативного фактора [4].

Одним из возможных способов решения поставленной задачи является использование упругих материалов в качестве покровного слоя жестких поверхностей рабочих органов картофелеуборочных машин или

внедрения устройств в их конструкцию, способных предотвратить взаимодействия клубней с потенциально опасными элементами [4, 8]. Основываясь на результатах проведенных анализа существующих аналогов и теоретических исследований, был разработан и запатентован [9] рабочий орган сепарации картофелеуборочных машин, представленный на рисунке 2.

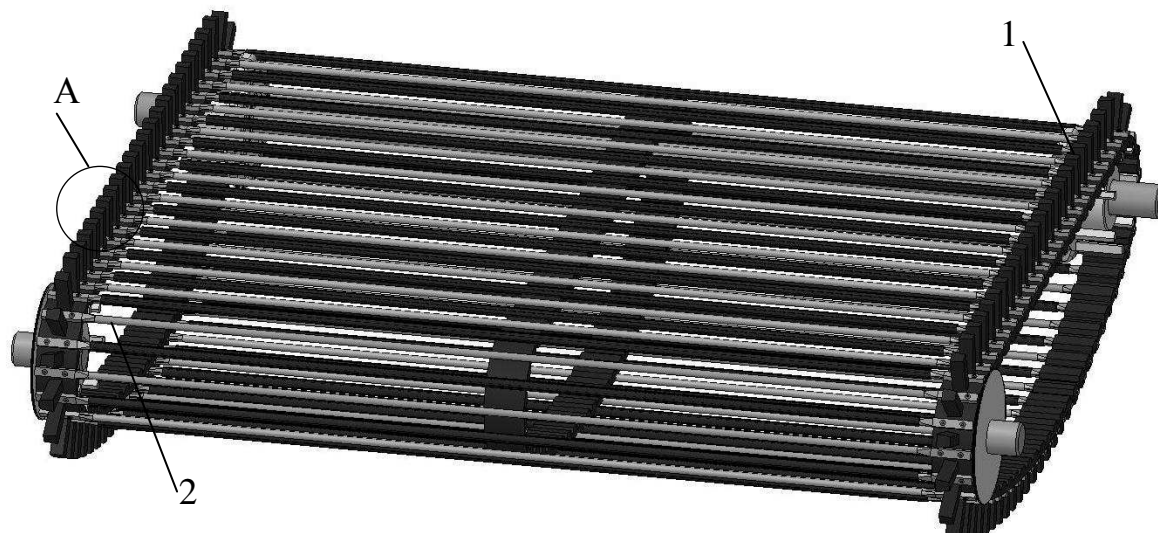


1 - клубни; 2 – почвенные комки; 3 – боковины картофелеуборочных машин.

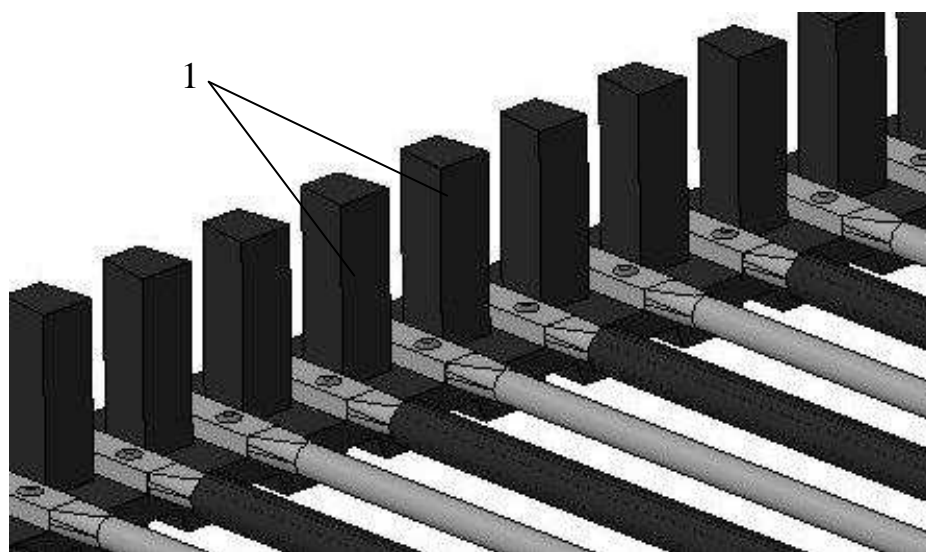
Рисунок 1 – Условный профиль клубненосного вороха на различных этапах сепарации

Сепарирующее устройство картофелеуборочной машины, содержит установленное на раме полотно просеивающего пруткового элеватора, и снабжено упругими элементами ограничения контакта клубней с рамой, выполненными в виде эластичных прутков, расположенных вдоль полотна элеватора с его боков параллельно раме и симметрично относительно его

центральной оси. Они закреплены консольно к внешней стороне элеватора между его прутками, и имеют сечение в форме равнобедренной трапеции, причем большее основание трапеции направлено в сторону центральной оси элеватора [9].



а)



б)

а) технологическая схема; б) местный вид.
1 – упругие элементы; 2 - прутки элеватора.

Рисунок 2 – Сепарирующее устройство клубнеуборочной машины

Применение предложенного устройства позволяет не только существенно снизить количество повреждений клубней картофеля о

жесткие боковины рамы, но так же исключить возможность забивания компонентами клубненосного вороха пространства между ней и упругими элементами, создавая предпосылки к повышению эксплуатационной производительности картофелеуборочной машины [9].

С целью обоснования конструктивных параметров упругих элементов рабочего органа сепарации были выполнены следующие лабораторно-полевые испытания устройства с обработкой результатов по методу многофакторного корреляционно-регрессионного анализа в соответствии с СТО АИСТ 8.5–2010.

Разработанный рабочий орган сепарации был смонтирован на серийном картофелекопатель КТН-2В (рис. 3). После анализа и обработки результатов исследований было установлено, что наиболее близким уравнением регрессии, описывающим процесс повреждаемости клубней, оказалось уравнение экспоненциального вида, так как коэффициент множественной корреляции наиболее близок к единице (0.99717) и средняя ошибка аппроксимации минимальна (1.41684).

Окончательно полученное уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$y = e^{(1.766 - 0.174x_1 - 0.182x_2 + 0.044x_3 + 0.339x_4)}$$

где x_1 – площадь основания упругого элемента, см^2 ;

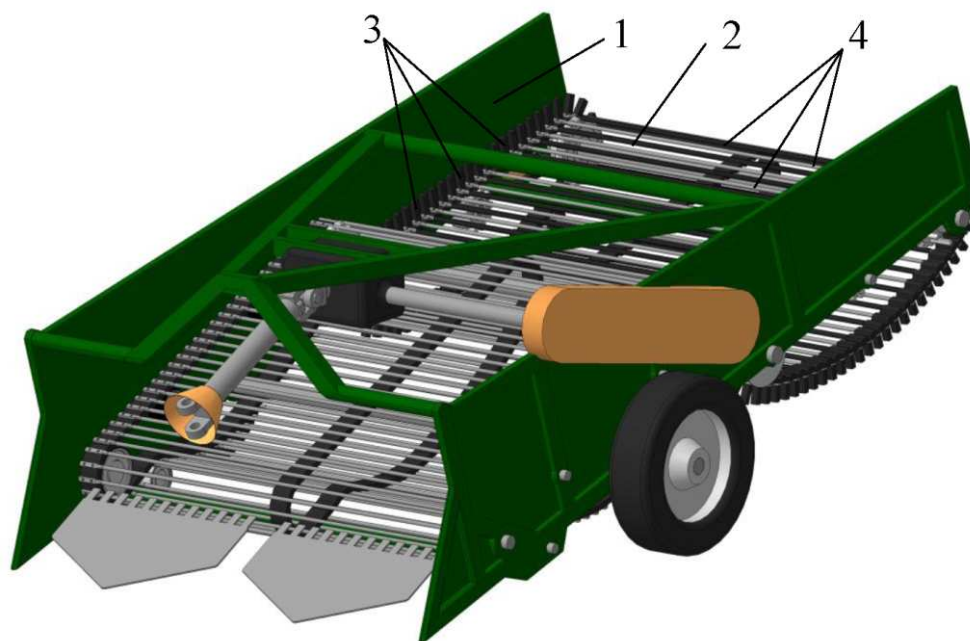
x_2 – высота упругого элемента, м;

x_3 – урожайность картофеля, т/га;

x_4 – скорость движения экспериментальной установки, км/ч.

В ходе выполнения лабораторно-полевых исследований было установлено, что для достижения наиболее значительного технологического эффекта, а именно максимального снижения повреждений клубней, необходимо использовать упругие элементы

трапецевидной формы, имеющие высоту $H_{эл}=6$ см и площадь основания $S_{осн}=5.94$ см² [4]. Применение в конструкции сепарирующего рабочего органа уборочной машины ограничителей контакта клубней с заданными характеристиками позволило добиться снижения повреждений клубней при оптимальном скоростном режиме на 30.27% (с 10.14% на серийном КТН-2В до 7.07% на усовершенствованном картофелекопатель).



1 – рама; 2 – полотно элеватора; 3 – упругие элементы; 4 – прутки элеватора.

Рисунок 3 - Схема картофелекопателя КТН-2В оснащённого усовершенствованным рабочим органом сепарации

В процессе эксплуатации уборочной техники наступление технологического отказа машины характеризуется превышением хотя бы одним из показателей качества выполнения процесса машинной уборки картофеля установленных границ АТТ.

В ходе научно-исследовательской работы нами была предложена математическая модель вероятностной оценки наступления технологического отказа картофелеуборочной машины, оснащенной усовершенствованным рабочим органом сепарации [4, 10].

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{m_2 - \frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right)}{\sqrt{\frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right) \right)}} \right) - \\
 & + z_1 \cdot \Phi \left(\frac{m_1 - \frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right)}{\sqrt{\frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\Delta i}}{N_{\Delta i}} \right) \right)}} \right) + \\
 & + z_2 \cdot \left(\frac{v_{\text{маш}} \cdot B \cdot n_{\text{сп}}}{S_{\Delta} \cdot H_{\text{эл}} \cdot v_{\text{эл}} \cdot B_{\text{эл}}} \cdot \kappa_1 \cdot \left(\frac{\frac{H_{\text{сп}}}{2} \int_0^{\frac{B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_{\Delta}}{B} - \frac{Y \cdot S_{\Delta}}{\rho} \right) + \kappa_2 \cdot \frac{Y \cdot S_{\Delta}}{\rho} \right) + \\
 & + z_3 \cdot \int_0^{0.8} \left(1 - \frac{\sqrt[1-b]{\frac{\rho_{\text{нр}} \cdot v_{\text{маш}} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{\text{сп}}}{S_{\Delta}} \cdot v_{\text{нр}} - l \cdot a \cdot B_{\text{эл}} \cdot (1-b)}}{\frac{\rho_{\text{нр}} \cdot v_{\text{маш}} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{\text{сп}}}{S_{\Delta}} \cdot v_{\text{нр}}} \right) d\chi
 \end{aligned}$$

где m_1 – нижняя граница повреждений клубней; m_2 – верхняя граница повреждений клубней; $m_{\text{общ}}$ – исследуемое количество клубней, кг; $m_{\text{кл}}$ – условно принятая масса клубня, кг; N_i – действующее значение нагрузки на клубень, Н; $N_{\Delta i}$ – допустимое значение нагрузки i -го диапазона, Н; $H_{\text{сп}}$ – высота грядки, м; n – количество исследуемых клубней, шт; B – ширина грядки, м; $p(B_i)$ – вероятность появления клубня i -го диапазона; Y – урожайность картофеля, кг/м²; ρ – удельный вес клубней, кг/м³; S_{Δ} – площадь учетной делянки, м²; $v_{\text{маш}}$ – скорость картофелеуборочной машины, м/с; κ_1 – коэффициент изменения объема примесей; κ_2 – коэффициент изменения объема клубней; $n_{\text{сп}}$ – количество убираемых рядков; $v_{\text{эл}}$ – линейная скорость усовершенствованного элеватора, м/с; $B_{\text{эл}}$ – расстояние между рядами упругих элементов

(активная ширина сепаратора), м; l – длина элеватора, м; $V_{пр}$ – объем примесей в исследуемом ворохе, м³; z_1, z_2, z_3 – коэффициенты значимости факторов; $H_{эл}$ – высота упругого элемента, м; $\rho_{пр}$ – удельный вес примесей, кг/м³; B – ширина грядки, м.

Располагая необходимыми знаниями касательно условий проведения уборочных работ, имеем возможность спрогнозировать наступление технологического отказа агрегата при помощи предложенной выше математической модели вероятностной оценки применительно к конкретным режимам работы картофелеуборочной машины [10].

На заключительном этапе исследовательской работы были проведены полевые испытания разработанного рабочего органа сепарации, размещенного на базе серийного картофелеуборочного комбайна, работающего по классической компоновочной схеме (замене подвергся дополнительный элеватор картофелеуборочной машины). Полученные результаты были занесены в таблицу 1.

Таблица 1 Результаты хозяйственных испытаний картофелеуборочных машин

№ п/п	Показатели работы	Агротехнические и эксплуатационные показатели картофелеуборочных машин	
		серийная модель	усовершенствованная модель
1	Рабочая скорость машины, км/ч	4.1	4.4
2	Глубина хода лемеха, см	20	20
3	Ширина захвата, м	1.5	1.5
4	Сорт картофеля	«Сантэ»	
5	Средняя годовая наработка машины, га	40	40
6	Производительность за 1 ч, га:		
	- основного времени, га/ч	0.58	0.62
	- сменного времени, га/ч	0.34	0.37
7	Потери клубней (от общей массы), %:	1.9	1.9
	- оставлено на поверхности	1.6	1.5
	- оставлено в почве	0.3	0.4

Продолжение таблицы 1

8	Повреждения клубней, всего по массе, %	8.6	5.1
9	Чистота картофельного вороха (по массе), %:		
	- клубни	92.8	92.4
	- почвенные комки	4.1	4.7
	- почва на клубнях	2.4	2.3
	- камни	0.4	0.4
	- растительные примеси	0.3	0.2

Полевые испытания усовершенствованной картофелеуборочной машины подтвердили эффективность использования разработанного рабочего органа сепарации (в сравнении с серийной моделью повреждения клубней снизились с **8.6 %** до **5.1 %**). При этом были созданы предпосылки к повышению эксплуатационной скорости машины с **4.1** до **4.4 км/ч**, а следовательно увеличению производительности с **0.34** до **0.37 га/ч** при соблюдении АТТ к качеству выполнения уборочных работ.

Литература

1. Основные тенденции развития высокопроизводительной техники для картофелеводства / Н.Н. Колчин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – С. 46-

51.

2. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин: учебное пособие / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Сорокин [и др.]. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2005. –282 с.

3. Голиков, А.А. Перспективные направления развития сепарирующих устройств корнеклубнеуборочных машин / А.А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 20. - С. 103-105.

4. Голиков А.А. Совершенствование технологического процесса и рабочего органа сепарации картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Голиков. – Рязань, 2014. - 138 с.

5. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля [Электронный ресурс] / Г.К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. – №88. - С. 509 – 518. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

6. Успенский, И.А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Успенский. – М., 1997. - 36 с.

7. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве / Г.К. Рембалович [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2013. №1. - С. 23-25.

8. Пат. 2464765 Российская Федерация, МПК А01D17/10. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рембалович Г.К. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - № 2011105634/02; заявл. 15.02.2011; опубл. 27.10.2012, бюл. № 30.

9. Пат. 129345 Российская Федерация, МПК А01D17/00. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рембалович Г.К. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - №2012133070/13; заявл. 01.08.2012; опубл. 27.06.2013, бюл. №18.

10. Математическая модель вероятностной оценки наступления технологического отказа картофелеуборочной машины [Электронный ресурс] / А.А. Голиков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №99. - С. 189 – 200. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/11.pdf>.

References

1. Osnovnye tendencii razvitija vysokoproizvoditel'noj tehniki dlja kartofelevodstva / N.N. Kolchin [i dr.] // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. – S. 46-51.

2. Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochnih organov kartofeleuborochnyh mashin: uchebnoe posobie / N.V. Byshov, I.A. Uspenskij, A.A. Sorokin [i dr.]. – Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2005. –282 s.

3. Golikov, A.A. Perspektivnye napravlenija razvitija separirujushhih ustrojstv korneklubneuborochnyh mashin / A.A. Golikov // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2013. - № 20. - S. 103-105.

4. Golikov A.A. Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa i rabocheho organa separacii kartofeleuborochnyh mashin: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / A.A. Golikov. – Rjazan', 2014. - 138 s.

5. Povyshenie jekspluatacionno-tehnologicheskikh pokazatelej transportnoj i special'noj tehniki na uborke kartofelja [Jelektronnyj resurs] / G.K. Rembalovich [i dr.] //

Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2013. - №88. - S. 509 - 518. - Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

6. Uspenskij, I.A. Osnovy sovershenstvovaniya tehnologicheskogo processa i snizhenija jenergozatrata kartofeleuborochnyh mashin: avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.20.01 / I.A. Uspenskij. - M., 1997. - 36 s.

7. Innovacionnye reshenija uborochno-transportnyh tehnologicheskikh processov i tehniceskikh sredstv v kartofelevodstve / G.K. Rembalovich [i dr.] // Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii. - 2013. №1. - S. 23-25.

8. Pat. 2464765 Rossijskaja Federacija, MPK A01D17/10. Separirujushhee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Rembalovich G.K. [i dr.]; patentoobladatel' FGBOU VPO RGATU. - № 2011105634/02; zajavl. 15.02.2011; opubl. 27.10.2012, bjul. № 30.

9. Pat. 129345 Rossijskaja Federacija, MPK A01D17/00. Separirujushhee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Rembalovich G.K. [i dr.]; patentoobladatel' FGBOU VPO RGATU. - №2012133070/13; zajavl. 01.08.2012; opubl. 27.06.2013, bjul. №18.

10. Matematicheskaja model' verojatnostnoj ocenki nastuplenija tehnologicheskogo otkaza kartofeleuborochnoj mashiny [Jelektronnyj resurs] / A.A. Golikov [i dr.] // Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2014. - №99. - S. 189 - 200. - Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/11.pdf>.