

УДК 631.356.4, 631.243.4, 629.1

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ПОТЕРЬ КЛУБНЕЙ ПРИ УБОРКЕ И ХРАНЕНИИ КАРТОФЕЛЯ**

Безносук Роман Владимирович  
к.т.н.

РИНЦ SPIN-код = 1616-3982

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

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н. профессор

РИНЦ SPIN-код = 1831-7116

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

Харламова Наталья Юрьевна  
*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Ляшин Михаил Михайлович  
*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Пиманов Андрей Евгеньевич  
*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Желтоухов Антон Алексеевич  
РИНЦ SPIN-код = 3919-9491  
*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Картофель является высококорентабельной культурой и широко распространен в центральном регионе России. При механизированной уборке основной проблемой является высокий уровень повреждения клубней. В процессе взаимодействия с элементами рабочих органов происходит отделение почвенных примесей. Одним из способов снижения повреждений является уменьшение ускорений при соударении за счет применения упругих сред и материалов. При увеличении времени взаимодействия клубня с элементами конструкции изменение скорости существенно уменьшается, то есть снижается величина

UDC 631.356.4, 631.243.4, 629.1

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**INNOVATIVE SOLUTIONS TO REDUCE DAMAGE AND LOSS OF TUBERS DURING HARVESTING AND STORAGE OF POTATOES**

Beznosuk Roman Vladimirovich  
Candidate of Technical Science

RSCI SPIN-code = 1616-3982

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

Uspensky Ivan Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., professor

RSCI SPIN-code = 1831-7116

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

Kharlamova Natalia Yurievna  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Lyashin Mikhail Mikhailovich  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Pimanov Andrey Evgenievich  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Zheltoukhov Anton Alekseevich  
RSCI SPIN-code = 3919-9491  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Potatoes are a highly profitable crop and are widely distributed in the central region of Russia. With mechanized harvesting, the main problem is the high level of damage to tubers. When interacting with elements of working bodies, soil impurities are separated. One of the ways to reduce damage is decrement of accelerations during impact due to the use of elastic media and materials. With an increase in the interaction time of the tuber with structural elements, the velocity decreases significantly, that is, the acceleration value decreases. Thus, by reducing the velocity of interaction, using elastic materials and improving the design of working bodies, a reduction in losses and damage to potato

ускорения. Таким образом уменьшая скорость взаимодействия, применяя упругие материалы и совершенствуя конструкции рабочих органов достигается снижение потерь и повреждений клубней картофеля. Установлено, что скорость отскока определяется массой элемента конструкции, с которыми соударяется компонент. Поэтому, для снижения повреждаемости необходимо использовать элементы конструкции массой соизмеримой с компонентами картофельного вороха (клубнями), а в случае значительной массы элементов обеспечивать их демпфирующими покрытиями. Демпфирующие покрытия с регулируемой упругостью (наполняемые воздухом) способны существенным образом снижать ударные импульсы при изменяющихся условиях взаимодействия картофельного вороха с элементами конструкций машин. Авторским коллективом разработан комплекс устройств, позволяющий адаптировать существующие конструкции машин, применяемых при перегрузке в транспортное средство, последующей транспортировке, выгрузки и сортировании, а также при загрузке на хранение, которые обеспечивают снижение потерь и повреждений

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНАЯ МАШИНА, УБОРКА, ТРАНСПОРТИРОВКА, ХРАНЕНИЕ, КАРТОФЕЛЬ

tubers is achieved. It is established that the rebound velocity is determined by the mass of the structural element with which the component collides. Therefore, in order to reduce damage, it is necessary to use structural elements with a mass commensurate with the components of the potato pile (tubers), and in the case of a significant mass of elements, provide them with damping coatings. Damping coatings with adjustable elasticity (filled with air) are able to reduce shock pulses significantly under changing conditions of interaction of the potato pile with machine structural elements. The team of authors has developed a set of devices that allows adapting existing designs of machines used when reloading into a vehicle, subsequent transportation, unloading and sorting, as well as when loading into storage, which reduce losses and damage

Keywords: POTATO HARVESTER, HARVESTING, TRANSPORTATION, STORAGE, POTATOES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-188-020>

## Введение

Картофель является высокорентабельной культурой и широко распространен в центральном регионе России. При механизированной уборке основной проблемой является высокий уровень повреждения клубней [1].

На этапе механизированной уборки картофеля картофельный ворох поступает на рабочие органы картофелеуборочного комбайна [2, 3]. В процессе взаимодействия с элементами рабочих органов происходит отделение почвенных примесей [1]. Сепарация клубненосного вороха на прутковых элеваторах характеризуется интенсивным выделением почвенных примесей, что приводит к уменьшению почвенной прослойки между прутками и клубнями картофеля. Это приводит к увеличению силы

<http://ej.kubagro.ru/2023/04/pdf/20.pdf>

их взаимодействия, что вызывает повреждения клубней. Одним из способов снижения повреждений является уменьшение ускорений при соударении за счет применения упругих сред и материалов. При увеличении времени взаимодействия клубня с элементами конструкции изменение скорости существенно уменьшается, то есть снижается величина ускорения. Таким образом уменьшая скорость взаимодействия, применяя упругие материалы и совершенствуя конструкции рабочих органов достигается снижение потерь и повреждений клубней картофеля.

### **Материалы и методы исследований**

Рассмотрим прямой центральный удар компонента картофеля вороха с элементами конструкции, так как это способно вызвать наибольшее повреждение клубней. При переходе с одного рабочего органа машины на другой скорость компонентов будет несколько выше чем скорость другого рабочего органа.

Удар включает в себя две фазы, во время первой фазы происходит соприкосновение компонента картофеля вороха с элементами конструкции и деформация соударяющихся тел. Время удара  $t_1 = t + \tau_1$ . Во время первой фазы соударяющиеся тела находятся в контакте и имеют общую скорость  $U$ . Во время второй фазы начиная с наибольшей деформации происходит восстановление соударяющихся тел и они приобретают скорости  $U_1$  и  $U_2$ . Время второй фазы определяется полным или частичным восстановлением соударяющихся тел  $t_2 = t_1 + \tau_2$ . Ударные импульсы возникающие во время первой фазы удара, будут равны по модулю и противоположны по направлению для соударяющихся тел.

Соударение тел будет проходить по общей нормали к их поверхностям (рис. 1) проходящей через центр масс клубня. Так как мы не рассматриваем вращение тел, то движение будет поступательным, причем

$V_1 > V_2$ . Поэтому скорости клубня и элемента конструкции будут направлены вдоль линии удара, что позволяет читать удар центральным.

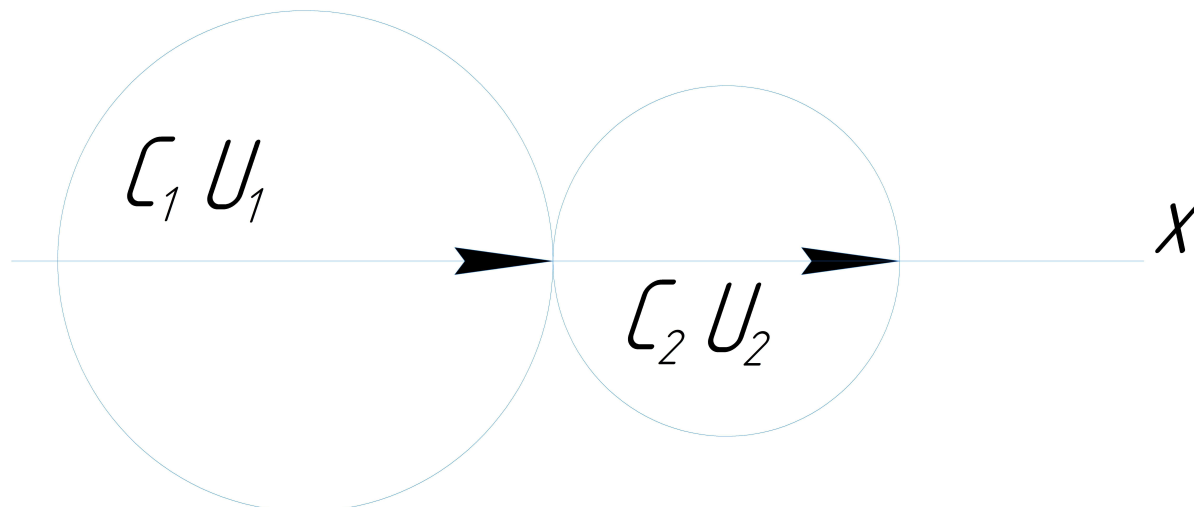


Рисунок 1 - Расчетная схема к определению взаимодействию компонентов картофельного вороха

Во время первой фазы ударные импульсы  $S_1$  и  $S'_1$  будут равны по значению, но противоположны по направлению. Для каждого из соударяющихся тел ударные импульсы будут внешними:  $S_1$  соответствует компоненту картофельного вороха, а импульс  $S'_1$  – элементу конструкции.

Так как ударные импульсы равны между собой, то можно записать:

$$(m_1 + m_2)U - (m_1V_1 + m_2V_2) = 0$$

$$U = \frac{m_1V_1 + m_2V_2}{m_1 + m_2}$$

где  $m_1$  - масса компонента картофельного вороха;

$m_2$  - масса элемента конструкции;

$V_1$  - скорость движения компонента картофельного вороха до соударения;

$V_2$  - скорость элемента конструкции до соударения.

$U$  - скорость компонента картофельного вороха и элемента конструкции во время удара.

Тогда с учетом значения общей скорости  $U$  и рассмотрев отдельно каждое соударяющееся тело найдем ударные импульсы

$$m_1(U - V_1) = -S_I$$

$$m_2(U - V_2) = S_I'$$

$S_I$  - ударный импульс компонента картофельного вороха;

$S_I'$  - ударный импульс элемента конструкции.

Найдем ударные импульсы после восстановления соударяющихся тел учитывая, что до этого момента они имели общую скорость  $U$ , а затем приобрели скорости отскока  $U_1$  и  $U_2$ , которые пропорциональны ударным импульсам второй фазы удара:

$$m_1(U_1 - U) = -S_{II}$$

$$m_2(U_2 - U) = S_{II}'$$

Коэффициент восстановления соударяющихся тел показывает взаимосвязь ударных импульсов для разных фаз соударения:

$$\frac{S_{II}}{S_I} = k \quad \text{и} \quad \frac{S_{II}'}{S_I'} = k$$

$$S = S_I + S_{II} = (1 + k)S_I$$

С учетом коэффициента восстановления можно записать скорости отскока компонента картофельного вороха и элемента конструкции на основании ударного импульса первой фазы:

$$m_1(U_1 - U) = -kS_I$$

$$m_2(U_2 - U) = -kS_I'$$

Тогда скорость отскока компонента картофельного вороха можно записать в виде

$$U_1 = U + k(U - V_1) = U(1 + k) - kV_1$$

$$U_2 = U + k(U - V_2) = U(1 + k) - kV_2$$

Рассматривая совместно уравнения ударных импульсов для первой и второй фазы удара окончательные скорости компонента картофельного вороха и элемента конструкции будут равны:

$$U_1 = V_1 - (1 + k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2)$$

$$U_2 = V_2 - (1 + k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2)$$

Так как масса компонента картофельного вороха (клубни картофеля) в среднем составляют 0,15 кг то построим зависимость скорости его отскока в зависимости от массы элемента конструкции в программе Mathcad.

### Результаты исследований и обсуждение

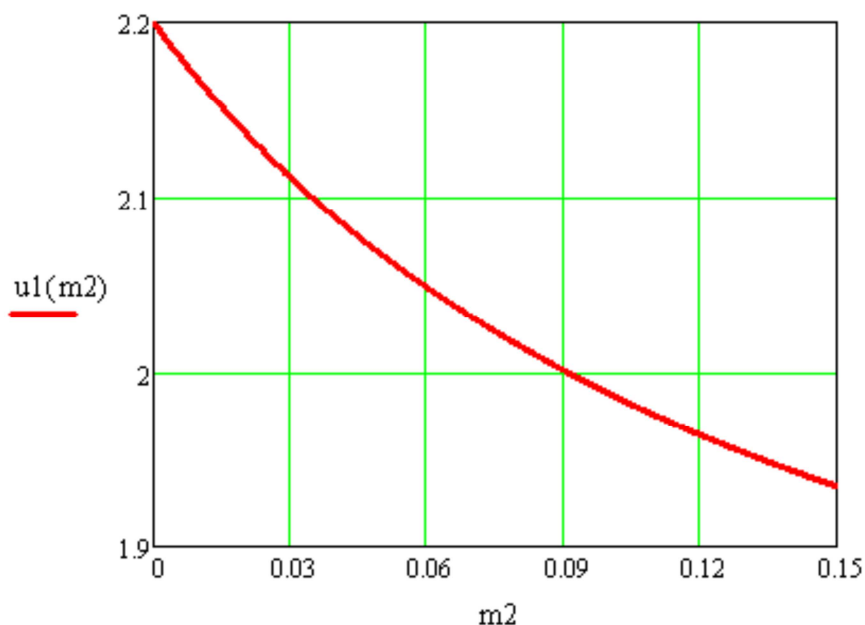


Рисунок 2 - Зависимость скорости отскока компонента картофельного вороха в зависимости от массы элемента конструкции.

Анализируя рисунок 2 можно видеть, что скорость отскока определяется массой элемента конструкции, с которыми соударяется компонент. Недостаточная масса элемента конструкции не ограничивает скорость компонента картофельного вороха (клубня картофеля). В тоже время значительная масса элемента конструкции будет существенно увеличивать ударный импульс и приводить к повреждениям клубней картофеля. Поэтому, для снижения повреждаемости необходимо использовать элементы конструкции массой соизмеримой с компонентами картофельного вороха (клубнями), а в случае значительной массы элементов обеспечивать их демпфирующими покрытиями.

Демпфирующие покрытия с регулируемой упругостью (наполняемые воздухом) способны существенным образом снижать ударные импульсы при изменяющихся условиях взаимодействия картофельного вороха с элементами конструкций машин.

Авторским коллективом Рязанского ГАТУ в рамках реализации научно-исследовательских направлений на протяжении десятилетий разрабатываются технические решения, позволяющие интенсифицировать процесс сепарации картофеля с минимизацией количества поврежденной клубней на органах просеивной и выносной сепарации в картофелеуборочных машинах. Однако вопрос снижения потерь и повреждений при выгрузке из накопительного бункера требует дальнейшего совершенствования.

Предложено техническое решение для накопительного бункера картофелеуборочного комбайна выполненное в виде лотка с установленными в шахматном порядке прорезиненными выступами. Выступы расположены по всей рабочей поверхности лотка. При выгрузке картофельного вороха из бункера клубни, попадая на лоток, взаимодействуют с прорезиненными выступами скатываясь снижают скорость меняя постоянно направление движения. Для равномерного распределения поступающего картофеля в кузов транспортного средства лоток снабжен приводом для изменения углов наклона. Ограничение скорости движения по лотку уменьшает в конечном итоге скорость соударения с клубнями в кузове.

На этапе загрузки кузова транспортного средства необходимо обеспечить синхронность движения машинно-тракторного агрегата и транспортного средства для равномерной загрузки кузова. Важно загрузку кузова транспортного средства осуществлять постепенно, продвигаясь вдоль кузова, что обеспечивает минимальную высоту выгрузки и движение ее клубней по насыпи. При этом важно обеспечить не только оптимальные



параметры маневрирования, но и оптимальную загрузку кузова транспортного средства для исключения потерь клубней при транспортировке. Учитывая, что при перевозке клубней картофеля применяются не только грузовые автомобили, но и специальная сельскохозяйственная техника (например, многозвенные прицепные автопоезда) необходимо обеспечить точное позиционирование кузова последних относительно выгрузного устройства. Следует отметить, что затрудненный визуальный контроль операторов двух машин и несогласованность их действий зачастую приводит к неравномерной загрузке кузова транспортного средства, что приводит к высоким потерям и повреждениям клубней картофеля при транспортировке.

Разработан комплекс, состоящий из датчиков оценки расположения кузова транспортного средства относительно выгрузного устройства картофелеуборочного комбайна. Датчики измеряют расстояния относительно друг друга и выводят значения на дисплей оператора, что позволяет в режиме реального времени оценивать координаты расположения выгрузного транспортера картофелеуборочного комбайна относительно кузова транспортного средства. Предлагаемый комплекс позволяет повысить точность равномерной загрузки кузова транспортного средства и исключить ошибки оператора.

При загрузке хранилища насыпью возможно в значительных объемах клубней по насыпи картофеля. Для уменьшения динамических нагрузок хранилище разделено упругими поперечными надувными перегородками.

Хранилище сельскохозяйственной продукции оборудовано двумя магистральными каналами, содержащими воздухопроводы и регулируемые заслонки. Воздуховоды изготовлены из листового перфорированного материала. К боковым стенкам камеры закладки сельскохозяйственной продукции закрепляют надувные панели, выполненные из с



газонепроницаемого материала и имеющие несущий надувной каркас, которые соединены с устройством нагнетания воздуха. Установка кондиционирования воздуха соединена с магистральными каналами и оборудована вентиляторами и нагревательными элементами.

В процессе загрузки хранилища сельскохозяйственной продукции по мере наполнения устанавливаются воздуховоды, закрепляя их к магистральным каналам через окна в которых установлены регулирующие заслонки. По мере дальнейшей загрузки хранилища сельскохозяйственной продукции с помощью устройства нагнетания воздуха в надувные панели подается воздух под давлением, и они надуваются. За счет внутреннего несущего надувного каркаса надувные панели принимают форму прямоугольной перегородки и перекрывают часть хранилища сельскохозяйственной продукции разделяя ее на секции. По мере дальнейшей загрузки, когда загруженная сельскохозяйственная продукция полностью зафиксировывает положение надувные панели подачу газовой среды, прекращают и под воздействием загруженной сельскохозяйственной продукции надувные панели сдуваются. При этом их положение остается неизменным. В процессе работы хранилища с заложеной сельскохозяйственной продукцией, окружающий воздух проходит предварительную подготовку в системе кондиционирования и подается через магистральные каналы и воздуховоды в хранилище. В зависимости от периода хранения задаются необходимые параметры воздушной смеси: температура, влажность и производительность. Установка кондиционирования может работать как в режиме подачи окружающего воздуха, так и в режиме рециркуляции, что позволяет снизить затраты на подогрев холодного воздуха. Так как объем хранимой сельскохозяйственной продукции разделен на секции надувными панелями из газонепроницаемого материала, то за счет дозированной подачи

воздушной смеси с помощью регулирующих заслонок происходит точное регулирование условия хранения.

### **Заключение**

В результате теоретических исследований установлено, что ударный импульс определяется начальной скоростью компонентов и изменением скорости в результате соударения. На величину ударного импульса влияет коэффициент восстановления, который определяется упругостью материалов и характер удара. Поэтому, для снижения повреждаемости необходимо использовать элементы конструкции массой соизмеримой с компонентами картофельного вороха (клубнями), а в случае значительной массы элементов обеспечивать их демпфирующими покрытиями. Демпфирующие покрытия с регулируемой упругостью (наполняемые воздухом) способны существенным образом снижать ударные импульсы при изменяющихся условиях взаимодействия картофельного вороха с элементами конструкций машин.

### **Список литературы**

1. Рембалович, Г.К. Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях рязанской области / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А.Костычева. – 2013. - №1(17). – С. 64-68
2. Рембалович, Г.К. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. - №1. – С. 23-25.
3. Успенский, И.А. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. - №1 (49). – 2018. – С. 262-269

### **References**

1. Rembalovich, G.K. Analiz jekspluatacionno-tehnologicheskikh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam i pokazatelej ih raboty v uslovijah rjazanskoj oblasti / G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij, A.A. Golikov [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A.Kostycheva. – 2013. - №1(17). – S. 64-68

2. Rembalovich, G.K. Innovacionnye reshenija uborochno-transportnyh tehnologicheskikh processov i tehniceskikh sredstv v kartofelevodstve / G.K Rembalovich, N.V. Byshov, S.N. Borychev [i dr.] // Sel'skhozajstvennye mashiny i tehnologii. – 2013. - №1. – S. 23-25.
3. Uspenskij, I.A. Ocenka perspektivnoj tehnologicheskoy shemy kartofeleuborochnogo kombajna / I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich, M.Ju. Kostenko [i dr.] // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. - №1 (49). – 2018. – S. 262-269