

4. Seed Cleaning "To Go". Custom-built mobile plant delivers seed cleaning service to farmers' bin // Seed Today. – 2001. – P. 32-34.

5. US 5873226 McLeod harvesting system and method / Robert H. McLeod; filed Nov. 1, 1996, publication Feb. 23, 1999. – P. 21.

6. US 6422937 B1 Method and apparatus for harvesting crops wherein crops are cleaned at a remote site / Robert H. McLeod, Wilfried Oswald; filed Jun. 9, 2000, publication Jul. 23, 2002. – P. 21.

7. Palapin A.V. Metodologiya obosnovaniya energoemkosti kompleksnoi uborki zernovykh mnogofunktsional'nymi agregatami // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyi zhurnal KubGAU) [Elektron-

nyi resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – № 03 (087). S. 210-222. – IDA [article ID]: 0871303014. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/14.pdf>.

8. Prototype system brings "dirty" grain from field to a cleaner back at the bins "Work Going Great" on Revolutionary Harvest Idea // Farm Show. – 1998. – № 6 (22). Vol. 22. P. 2.

9. Patent Rossii № 2249939 S2, A01D91/04, A01D41/00, A01D41/04, A01D41/12, A01F7/00, B07B4/02, B65G67/24. Sposob i agregat dlya uborki urozhaya / Shadlich Devid Rodni, Parson Kenet Ross, Oswald Ulfrid i dr. – № 2001135796/12; zayavl. 09.06.2000; opubl. 27.07.2003, Byul. № 6. – 47 s.



УДК 631.356.4:658.562

А.В. Кузьмин, С.С. Остроумов, А.В. Косарева
A.V. Kuzmin, S.S. Ostroumov, A.V. Kosareva

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛУБНЕЙ С РОТОРНЫМ СЕПАРАТОРОМ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

THEORETIC FOUNDATIONS OF INTERACTION OF TUBERS WITH ROTARY SEPARATOR OF POTATO HARVESTER

Ключевые слова: уборка картофеля, повреждаемость клубней, картофелеуборочный комбайн, рабочие органы, совершенствование машин, удар клубней.

Современное производство картофеля зависит от многих факторов, в том числе от уровня механизации работ. Развитие механизированных технологий уборки картофеля сдерживают механические повреждения клубней. Уборка комбайнами представляется более перспективной. Исследования показали, что создать универсальную конструкцию комбайна, которая удовлетворяет многообразию условий выращивания картофеля проблематично. Картофелеуборочную технику необходимо производить для определенных конкретных условий: почвы, климата. Механическая повреждаемость клубней картофеля, зависит от конструктивных особенностей машины и от конструкции рабочих органов. Исследования выявили наибольшую зависимость повреждаемости клуб-

ней картофеля от величины перепадов с одного рабочего органа на другой и от сепарирующих органов до 95% клубней. Проводились полевые испытания картофелеуборочных машин в условиях рядовой эксплуатации и при оптимизации рабочих режимов уборки. Анализировалась динамика процесса повреждаемости клубней картофеля при уборке комбайнами. Прутковые элеваторы наиболее эффективно сепарируют на легких почвах, какие распространены в Республике Бурятия. Но в Иркутской области чаще встречаются более тяжелые почвы. Поэтому в условиях Иркутской области необходимо применять роторные сепараторы. В процессе работы сепаратора имеет место удар клубней о поверхность сепаратора, который может вызвать повреждения картофеля. Действительное время удара равно 0,06 с. Часть кинетической энергии клубня переходит в потенциальную энергию деформации пальца ротора. Установлено, что угловая скорость вращения роторов должна быть 8-9 рад/с.

Keywords: *potato harvesting, mechanic damage of potato tuber, potato combine harvester, work tools, blow of potato tubers.*

Modern potato production depends on many factors including the level of mechanization. The development of mechanized technologies of potato harvesting is constrained by mechanical damage of tubers. Combine harvesting is more promising. Studies show that the creation of a universal design of a combine harvester which meets diverse requirements of potato cultivation is a problematic task. Potato harvesters should be manufactured for certain specific conditions of soil and climate. Mechanical damage of potato tubers depends on the design features of the harvester and the design of the work tools. The studies revealed the greatest dependence of potato

tuber damage (95%) on the drop height between the work tools and on separating tools. Field-tests of potato harvesters were performed in common operating conditions and under optimized harvesting operating regimes. The dynamics of tuber damage process at combine harvesting was analyzed. Chain elevators separate most effectively on light soils which are common in the Republic of Buryatia. Heavy soils are more common in the Irkutsk Region though, therefore rotor separators should be applied. During separator operation the impact of tubers with the surface of the separator occurs, and that may damage a tuber. The effective time of the impact amounts to 0.06 s. Some of the kinetic energy of a tuber is transferred to potential energy of deformation of a rotor pin. It is found that the angular velocity of rotation of the rotor should be 8-9 rad s.

Кузьмин Александр Викторович, д.т.н., проф., каф. «Технический сервис и общинженерные дисциплины», Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: 950-383-53-61. E-mail: Kuzmin_burgsha@mail.ru.

Остроумов Сергей Сергеевич, к.т.н., зам. ген. директора, ОАО «Иркутская продовольственная корпорация», г. Иркутск. Тел.: (3952) 50-37-01. E-mail: s.ostroumov@mail.ru.

Косарева Анна Викторовна, к.т.н., доцент, каф. «Технический сервис и общинженерные дисциплины», Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: 914-944-42-28. E-mail: anko\$ar@mail.ru.

Kuzmin Aleksandr Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technical Maintenance and General Engineering Courses, Irkutsk State Agricultural Academy. Ph.: 950-383-53-61. E-mail: Kuzmin_burgsha@mail.ru.

Ostroumov Sergey Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Deputy General Director, ОАО "Irkutskaya prodovolstvennaya korporatsiya", Irkutsk. Ph.: (3952) 50-37-01. E-mail: s.ostroumov@mail.ru.

Kosareva Anna Viktorovna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technical Maintenance and General Engineering Courses, Irkutsk State Agricultural Academy. Ph.: 914-944-42-28. E-mail: anko\$ar@mail.ru.

Введение

Одной из традиционно важных отраслей сельского хозяйства нашей страны является картофелеводство. В мировом масштабе производства сельскохозяйственной продукции картофель занимает видное место как одна из наиболее продуктивных культур умеренного пояса [1].

Современное производство картофеля зависит от многих факторов, в том числе от уровня механизации работ. Однако развитие механизированных технологий уборки картофеля сдерживают механические повреждения клубней. Кроме того, механические повреждения приводят к дополнительным потерям в виде повышенных отходов при использовании картофеля в столовых целях. К тому же картофель с механическими повреждениями очень быстро теряет в весе за счет усиленного испарения с поврежденной поверхности и быстрого дыхания. По некоторым данным потери веса после 4 мес. хранения составляют: у порезанных клубней – до 15%, с повреждением мякоти – до 12, а у неповрежденного картофеля – до 7-10% [2].

Технологический процесс уборки картофеля независимо от применяемых средств механизации включает следующие основные операции: подкапывание (выкапывание) клубней, отделение (сепарация) клубней от почвы, отрыв клубней от ботвы, удаление ботвы

и растительных примесей, отделение камней и других примесей, погрузка клубней в тару или в транспортные средства [3].

На первый взгляд уборка копателями выгоднее, чем уборка комбайнами. Так, производительность двухрядного комбайна составляет в среднем 0,44 га/ч, в то время как копателя – 0,6-0,7 га/ч, да и расход топлива у трактора меньше в 1,9 раза. К тому же техническое обслуживание и ремонт копателей проще. Но ручной подбор сопровождается большими потерями в виде присыпанных клубней. Так, по данным М.Б. Угланова, потери при уборке копателями достигают 30% [4]. Таким образом, уборка комбайнами нам представляется более перспективнее.

В Забайкалье, в 1930-1950-е годы основным способом уборки был отдельный с применением картофелекопателей и с последующим ручным подбором урожая. В 1960-е годы он постепенно заменяется на более производительное прямое комбайнирование, которое с этого периода и фактически до настоящего времени является главным способом уборки в картофелеводстве региона [5].

Наши исследования показали, что создать универсальную конструкцию комбайна, удовлетворяющую многообразию условий выращивания картофеля, проблематично. Поэтому картофелеуборочную технику необходи-

мо производить для определенных конкретных условий: почвы, климата и т.д. [6].

Объекты и методы

Кроме того, механическая повреждаемость клубней картофеля зависит не просто от конструктивных особенностей машины, но, конкретнее, от конструкции рабочих органов. Так, наши исследования и исследования других авторов выявили наибольшую зависимость повреждаемости клубней картофеля от величины перепадов с одного рабочего органа на другой и от сепарирующих органов до 95% клубней [6].

В результате теоретических исследований нами получена схема сепарирующей поверхности, установлены конструктивные и кинематические параметры роторного сепаратора. Для проверки теоретических выводов на практике и установления оптимальных параметров и режимов работы роторного сепаратора проводились экспериментальные исследования.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось: определить производительность роторного сепаратора, полностью выделения растительных и почвенных примесей, повреждаемость клубней и обосновать эффективность использования сепаратора в составе картофелеуборочной машины [8].

Для составления плана эксперимента были определены четыре фактора, действующие на объект исследования:

- угол наклона сепарирующей поверхности – φ ;
- подача массы на сепаратор – q ;
- частота вращения роторов – n ;
- величина перекрытия пальцев роторов – s .

В работе применено центральное композиционное ротабельное равномер-планирование 2-го порядка. С целью изучения траектории движения клубней по сепарирующей поверхности и проверки их соответствия расчетным данным, а также определения времени удара клубня о ротор проводили кино съемку процесса работа сепаратора. Использовали кинокамеры, имеющие скорость съемки 48 кадров в 1 с и 64 кадра 1 с. Методики определения показателей соответствовала ГОСТу.

Анализируя сепарирующие органы картофелеуборочных машин, следует отметить, что в последнее время в качестве сепарирующих органов наиболее широкое распространение получили прутковые элеваторы как наименее повреждающие клубни. Однако прутковые элеваторы наиболее эффективно сепарируют на легких почвах, какие распространены в Республике Бурятия. Но в Иркутской области чаще встречаются более тяже-

лые почвы. Поэтому в условиях Иркутской области и в других районах с тяжелыми почвами необходимо применять вместо прутковых сепараторов другие, более активные, рабочие органы, например, роторные сепараторы. Так, А.И. Бжезовская отмечала, что: «...роторные сепараторы позволяют создавать более высокие скорости соударения, необходимые для разрушения почвенных комков при допустимых повреждениях клубней» [7].

Рассмотрим процесс работы роторного сепаратора. В процессе работы сепаратора имеет место удар клубней о наклонную сепарирующую поверхность, который будет встречным и может вызвать повреждения картофеля.

Для того чтобы определить скорость отражения клубня после удара о ротор, применим теорему импульсов в проекциях на касательную и главную нормаль к поверхности ротора в точке падения клубня. Примем установку центра ротора так, чтобы клубень попадал в наивысшую точку ротора, тогда главная нормаль будет совпадать с осью ОУ, а касательная будет параллельна оси ОХ (рис.).

Запишем теорему импульсов в проекциях на выбранные оси координат [3]:

$$mv_{ox} - mv_x = \sum_{i=1}^n S_{ix}; \quad (1)$$

$$mv_{oy} - mv_y = \sum_{i=1}^n S_{iy}, \quad (2)$$

где v_x, v_y – проекции скорости падения частицы на оси координат;

v_{ox}, v_{oy} – проекции скорости отражения частицы на те же оси координат;

S_{ix}, S_{iy} – проекции ударного импульса i -й силы за время удара τ .

Применив теорему о среднем значении интеграла, можно записать:

$$mv_{ox} - mv_x = F_{mp.cp} \cdot \tau = fN_{cp} \cdot \tau; \quad (3)$$

$$mv_{oy} - mv_y = N_{cp} \cdot \tau, \quad (4)$$

где N_{cp} – среднее значение ударной нормальной реакции;

f – коэффициент трения скольжения картофеля по резине;

τ – время удара.

Определим среднее значение ударной нормальной силы, действующей на компоненты вороха при ударе о ротор:

$$N_{cp} = m \left[(1 + k_B) \cdot \left(\frac{\mu}{m} \operatorname{tg} \alpha + \frac{g}{v_n \cos \alpha} \right) - v_n (1 + k_B) \sin \alpha \right] / \tau, \quad (5)$$

где k_B – коэффициент восстановления скорости, характеризующий упругие свойства тел при ударе;

μ – постоянный коэффициент, равный силе сопротивления воздуха при $v=1$ м/с;

m – масса клубня;
 v_n – скорость схода компонентов вороха;
 α – угол наклона сепарирующей поверхности.

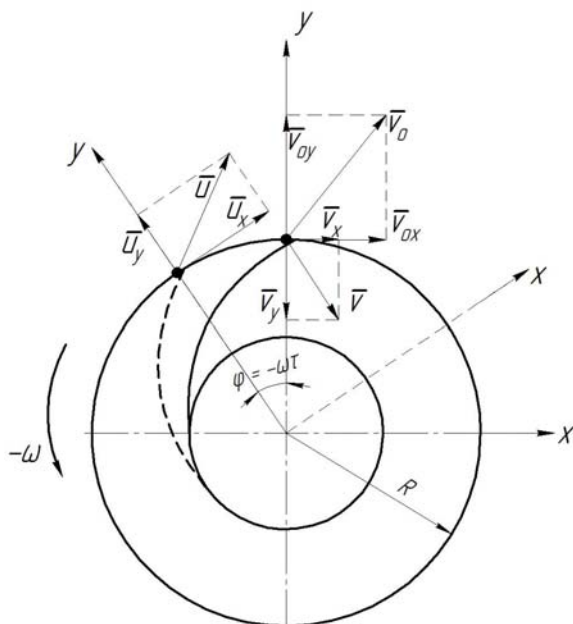


Рис. Удар клубня о палец ротора

Однако необходимо отметить, что пальцы роторов выполнены из резины и под воздействием ударной силы могут значительно изгибаться. В результате прогиба пальца ротора кинетическая энергия клубня перейдет в потенциальную энергию деформации пальца ротора, и вероятность повреждения клубня уменьшится [8].

Кроме того, значение N_{cp} можно определить и другим путём.

Из курса сопротивления материалов известно следующее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки:

$$EJs'' = M, \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала балки;
 J – момент инерции сечения балки;
 s – прогиб балки в результате приложения нагрузки;

M – изгибающий момент.

В нашем случае происходит динамическое нагружение пальца ротора, поэтому введём динамический коэффициент K_d , определяемый по формуле:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{S_{max}}},$$

где h – высота падения клубня с загрузочного транспортера;

S_{max} – максимальный прогиб пальца при статической деформации в точке приложения нагрузки.

Определим среднее значение времени удара τ , то есть времени контакта клубня с пальцем ротора:

$$\tau = \left[\ell_n^3 m (1 + k_B) \left(\frac{\mu}{m} \operatorname{tg} \alpha + \frac{g}{v_n \cos \alpha} \right) - v_n (1 + k_B) \sin \alpha \right] / 3EJS_{max} K_d. \quad (7)$$

Результаты и их обсуждение

Произведя вычисления по формуле (7), получим среднее значение времени удара $\tau = 0,05$ с. По результатам киносъёмки процесса падения клубней на наклонную сепарирующую поверхность определили действительное время удара, которое равно 0,06 с [8].

Для более точного рассмотрения удара клубня о сепарирующую поверхность необходимо учесть угол поворота ротора за время удара.

За время удара τ ротор повернётся на угол $\varphi = -\omega\tau$ (отрицательный знак показывает, что ротор вращается навстречу падающим клубням); ω – угловая скорость вращения ротора, $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$, где n – частота вращения ротора, об/мин.

Проекций скорости отражения на оси координат будут иметь вид:

$$u_x = v_{ox} \cos \varphi + v_{oy} \sin \varphi; \quad (8)$$

$$u_y = v_{oy} \cos \varphi - v_{ox} \sin \varphi. \quad (9)$$

Учитывая, что $\varphi = -\omega\tau$, $\operatorname{acos}(-\omega\tau) = \operatorname{acos}(\omega\tau)$ и $\operatorname{asin}(-\omega\tau) = -\operatorname{asin}(\omega\tau)$, выражения (8) и (9) запишутся так:

$$u_x = v_{ox} \cos(\omega\tau) - v_{oy} \sin(\omega\tau); \quad (10)$$

$$u_y = v_{oy} \cos(\omega\tau) - v_{ox} \sin(\omega\tau). \quad (11)$$

Из полученных уравнений следует, что встречное вращение ротора по отношению к падающему клубню уменьшит значение горизонтальной составляющей скорости отражения клубня u_x и увеличит вертикальную составляющую u_y , которой определяется возможность повреждения клубня ударом.

Результаты расчёта значений u_x и u_y для угловой скорости вращения ротора от 6 до 10 рад/с при действительном значении времени удара $\tau = 0,06$ с приведены в таблице.

Таблица
 Значения проекций скорости отражения клубня в зависимости от угловой скорости вращения роторов

ω , рад/с	6	7	8	9	10
u_x , м/с	1,92	1,76	1,59	1,42	1,24
u_y , м/с	2,65	2,76	2,86	2,95	3,03

Угловую скорость вращения роторов необходимо принять такой, чтобы значение u_y не могло вызвать повреждений клубня от удара о сепарирующую поверхность.

В.П. Горячкин отмечал, что количество поглощённой энергии, идущее на повреждение клубня, можно определить по формуле:

$$E_K = \frac{mv^2}{2}(1 - K_B^2).$$

Отсюда можно вычислить допустимую скорость удара:

$$v_{\text{дон}} = \sqrt{\frac{2E_K}{m(1 - K_B^2)}}. \quad (12)$$

Однако в нашем случае часть кинетической энергии клубня переходит в потенциальную энергию деформации пальца ротора при изгибе. Поэтому допустимая скорость соударения будет выше. Потенциальная энергия деформации при изгибе определяется по формуле:

$$E_n = \frac{1}{2} \frac{M^2}{EJ} \ell_n.$$

В результате вычислений получим $E_n = 0,24$ Дж.

Формула (8) примет вид:

$$v_{\text{дон}} = \sqrt{\frac{2(E_K + E_n)}{m \cdot (1 - K_B^2)}}. \quad (13)$$

Выводы

Основными критериями повреждаемости клубней картофеля являются допустимая скорость соударения, упруго-прочностные свойства клубней. Расчёт показывает, что в процессе работы исследуемого роторного сепаратора допустимая скорость соударения клубня с пальцем ротора не должна превышать 3,16-3,62 м/с. Таким образом, было установлено, что для устойчивого транспортирования вороха с клубнями, почвой и растительными примесями по сепарирующей поверхности угловую скорость вращения роторов необходимо принимать 8-9 рад/с [8].

Библиографический список

1. Литун Б.П., Замотаев А.И., Андрюшина Н.А. Картофелеводство зарубежных стран. – М.: Агропромиздат, 1988. – 167 с.
2. Umaerus V., Umaerus Magnhild, Screening methods for resistance to mechanical damage (Swed. With Engl. Summ.) // J. Swed. Seed. Ass. – 1976. – Vol. 86. – P. 48-64.
3. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
4. Угланов М.Б. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – Рязань, 1989 – 475 с.

5. Кушнарев А.Г. Картофель в Забайкалье. – Новосибирск: Наука, 2003. – 232 с.

6. Кузьмин А.В. Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – М.: РГАЗУ, 2005.

7. Бжезовская А.И. Исследование сопротивления клубней картофеля механическим повреждениям, вызываемым динамическими нагрузками: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Минск: НИИ механизации и электр. с.-х. нечерноземной зоны СССР, 1970.

8. Остроумов С.С. Параметры и режимы работы роторного сепаратора для повышения эффективности растительных примесей от клубней картофеля: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Л.: НПО «Нечерноземмагромаш», 1991.

References

1. Litun B.P., Zamotaev A.I., Andryushina N.A. Kartofelevodstvo zarubezhnykh stran. – M.: Agropromizdat, 1988. – 167 s.
2. Umaerus V., Umaerus Magnhild, Screening methods for resistance to mechanical damage (Swed. With Engl. Summ.) // J. Swed. Seed. Ass. – 1976. – Vol. 86. – P. 48-64.
3. Petrov G.D. Kartofeleuborochnye mashiny. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 320 s.
4. Uglanov M.B. Razrabotka kompleksa mashin dlya uborki kartofelya na osnove sovershenstvovaniya rabochikh organov i ratsional'nogo ikh sochetaniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05. 20. 01. – Ryazan', 1989 – 475 s.: il. – Bibliograf.: – S. 397-410.
5. Kushnarev A.G. Kartofel' v Zabaikal'e. – Novosibirsk: Nauka, 2003. – 232 s.
6. Kuz'min A.V. Metody snizheniya povrezhdaemosti klubnei kartofelya i sovershenstvovaniya kartofeleuborochnykh mashin: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01. – M.: RGAZU, 2005.
7. Bzhezovskaya A.I. Issledovanie soprotivleniya klubnei kartofelya mekhanicheskim povrezhdeniyam, vyzyvaemym dinamicheskimi nagruzkami: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Minsk: NII mekhanizats. i elektr. s.-kh. Nechernozemnoi zony SSSR, 1970.
8. Ostroumov S.S. Parametry i rezhimy raboty rotnogo separatora dlya povysheniya effektivnosti rastitel'nykh primesei ot klubnei kartofelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – L.: NPO «Nechernozemagromash», 1991.

