

Научная статья

УДК 631.362.3:635.21

DOI 10.48012/1817-5457\_2024\_3\_114-121

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛИ КЛУБНЯ С УЗЛАМИ ГРОХОТНОГО КАЛИБРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Иванов Алексей Генрихович✉, Первушин Владимир Федорович,  
Арсланов Фанис Рашидович, Хузяхметов Ильхам Ильгизович,  
Кудрявцев Александр Андреевич

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

✉ivalgen@inbox.ru

**Аннотация.** Калибрование клубней картофеля на фракции по размерам является важной операцией перед закладкой картофеля на хранение или при подготовке его к реализации или переработке. Среди многих калибрующих устройств выгодно выделяются грохотные установки благодаря низкой энергоемкости процесса и высокой точности. Одним из путей повышения их эффективности с точки зрения производительности и точности является использование механизмов привода решет с модифицированными законами их движения (с несколькими переменными знака ускорения). Однако важным условием сохранности картофеля при хранении является низкий уровень повреждаемости клубней при закладке на хранение. Ставится задача по разработке методики определения ударного воздействия на модель клубня картофеля рабочими органами и элементами грохотного калибрующего устройства. Это позволит получить объективную и инструментально контролируемую картину по возможному повреждению или достаточной защите от поврежденных клубней. В качестве модели используется полиуретановый элемент с помещенным внутрь датчиком удара. Он позволяет по радиоканалу переслать информацию на приемник, который может сигнал оцифровать и визуализировать. Разработаны методики тарировки датчика удара и исследования ударного взаимодействия модели клубня с частями грохотного устройства для калибрования картофеля. После проведения лабораторных экспериментов получена линейная тарировочная кривая, получено ее уравнение с высоким коэффициентом детерминации, установлен доверительный интервал для расчета силы ударного воздействия на клубень. После проверки на грохотном калибрующем устройстве установлено, что сила удара не превышает  $F = 75,39 \pm 14,83$  Н или диапазон 60,56...90,22 Н. С учетом допускаемого значения силы удара не более 120 Н требования повреждаемости не нарушаются.

**Ключевые слова:** грохот, калибрующее устройство, клубень, ворох, модель клубня, датчик удара, тарировка, доверительный интервал.

**Для цитирования:** Методика и результаты исследования ударного взаимодействия модели клубня с узлами грохотного калибрующего устройства / А. Г. Иванов, В. Ф. Первушин, Ф. Р. Арсланов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 114-121. [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_114-121](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_114-121).

**Актуальность.** Доработка картофеля после уборки, подготовка его к хранению или реализации предполагает применение калибрования клубней на фракции по размерам [2, 5, 11, 21–22]. Для этой операции используют разнообразные рабочие органы: роликовые, транспортные, дисковые, барабанные [1, 8, 12, 13–15]. На этом фоне хорошо зарекомендовали себя грохотные калибрующие устройства, которые за счет колебательного движения плоских решет обеспечивают транспортирование вороха картофеля и активное его разделение на фракции за счет относительно движения клубней по поверхности решета.

Это способствует повышению вероятности ориентирования клубней в отверстиях и проходу мелкой фракции сквозь них [3, 7, 9, 12, 19]. В работах авторов отмечается, что перспективным направлением повышения эффективности калибрующих машин является модификация законов движения их рабочих органов [1, 3, 15]. Таким образом, изучение работы грохотных калибрующих устройств с модифицированными законами движения решет, реализуемых за счет двукулисного механизма привода, является актуальной задачей.

**Цель исследований:** на основе разработанной методики изучить величину ударного

воздействия рабочих органов и частей грохотной калибрующей машины на модель клубня картофеля.

**Задачи исследования:** разработать методику лабораторных исследований по ударному воздействию частей грохотного калибрующего устройства на модель клубня картофеля; провести лабораторные исследования по ударному воздействию и оценить возможность получения повреждений клубнями в ходе калибрования.

**Материал и методы исследования.** Использовались частные методики лабораторных исследований, статистический анализ. Объектом экспериментальных исследований является калибрующее устройство грохотного типа. Предмет экспериментальных исследований – величина ударного воздействия частей грохотного калибрующего устройства на модель клубня картофеля. В качестве лабораторного оборудования применялись следующие приборы и инструменты: штангенциркуль ШЦ-1-300-0,1; ноутбук; весы электронные DEXP РТ-25L; набор инструмента для настройки установки; лабораторный комплект для исследования ударного взаимодействия; грохотное калибрующее устройство с двукулисным механизмом привода решет.

**Результаты исследований.** Исследуемое грохотное калибрующее устройство представлено на рисунке 1. Установка реализует параллельный принцип работы и при использовании двух решет, движущихся в противофазе, обеспечивает выделение трех фракций. Ворох картофеля транспортером 6 подается на верхнее решето. На рабочей поверхности колеблющегося решета остается крупная фракция, которая уходит в «сход». Мелкая и средняя фракции просыпаются вниз и разделяются на нижнем колеблющемся решете.

Повысить эффективность работы грохотных калибрующих машин можно за счет использования законов движения с более частой сменой знака ускорения привода [1, 3, 15]. Предлагается использовать муфту с двукулисным механизмом привода, который может обеспечить модифицированные законы движения решет [6].

В процессе работы грохотной установки ее рабочий орган выполняет две функции – калибрует и транспортирует материал, что предъявляет к механизму противоположные требования. Большая производительность будет обеспечена при быстром сходе вороха картофеля с решета, а высокая точность разделения на фракции – при достаточно большой продолжительности нахождения клубней на решете.

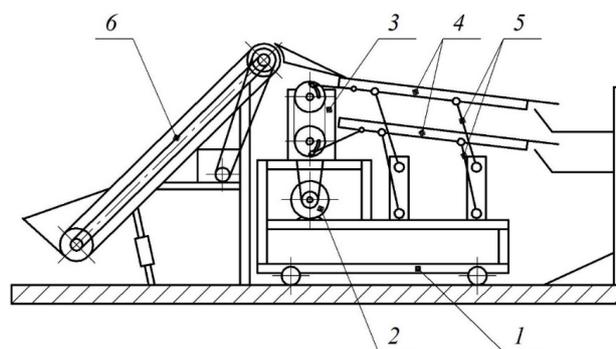


Рисунок 1 – Схема грохотной картофелесортировки:

1 – рама; 2 – асинхронный электродвигатель;  
3 – привод с кривошипами; 4 – решета;  
5 – поводки; 6 – подающий транспортер

Следует отметить, что для привода решет с колебательным движением используются кривошипно-шатунные схемы с регулируемой частотой вращения кривошипа и с переменным радиусом кривошипа. Однако данный механизм не может реализовать весь потенциал калибрующей машины. Повысить эффективность работы грохотных калибрующих машин можно за счет использования законов движения с более частой сменой знака ускорения привода [3, 6, 15]. Предлагается использовать муфту, описанную в работе [6], с двукулисным механизмом привода, который может обеспечить модифицированные законы движения решет [15].

Одним из недостатков грохотных калибрующих устройств, применяемых в сельском хозяйстве, считается ударное воздействие рабочих органов на обрабатываемый материал. Это негативно сказывается на качестве продукта за счет его повреждаемости. Например, клубни картофеля, получившие внутренние или внешние повреждения, являются возможным источником развития гнили и потерь урожая при хранении. Наша задача состоит в использовании системы объективного контроля за повреждаемостью клубней. Изучению вопроса повреждаемости клубней в процессе ударного взаимодействия посвятили свои работы многие ученые [4, 7, 9, 11, 16–19]. Они исследовали прямой и косой удары, влияние отскока от фасонной поверхности. Ими было установлено, что высота падения клубней не должна превышать 0,3 м, скорость соударения – не более 1 м/с, сила взаимодействия – не более 200 Н (при статическом нагружении).

Один из способов определения реальной силы удара на клубень при взаимодействии его с рабочим органом был предложен учены-

ми Удмуртского ГАУ. Для моделирования процесса удара был использован макет клубня, выполненный из полиуретана. Внутри макета в полости размещается автономный датчик удара, который может посылать сигнал об интенсивности удара в блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а затем на логический анализатор сигнала (рис. 2). Полиуретан был выбран из тех соображений, что он достаточно плотный и упругий, как и реальный клубень. Также размеры макета были подобраны таким образом, чтобы можно было оценить воздействие на крупный клубень. Именно крупные клубни испытывают наибольшую силу удара и легко повреждаются. При этом они являются самой ценной частью урожая.

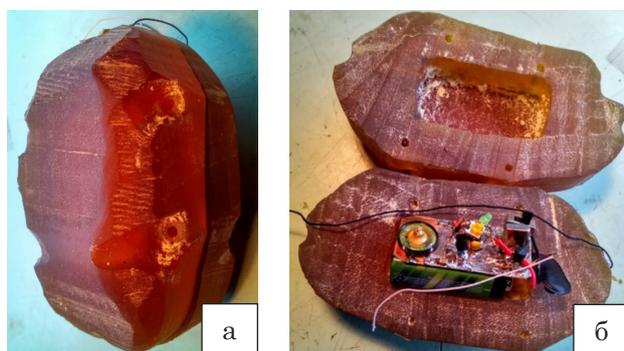


Рисунок 2 – Модель клубня картофеля с датчиком удара:

а – модель в сборе; б – внутреннее устройство модели клубня с датчиком удара

В работах авторов [4, 17] показана методика тарировки датчика удара. Кратко опишем ее. В блок анализатора приходит колебательный сигнал, вид которого показан на рисунке 3.

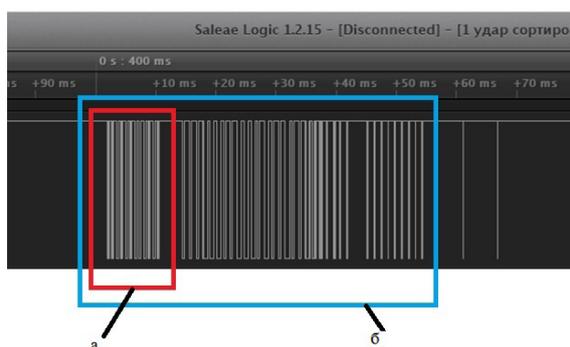


Рисунок 3 – Внешний вид диалогового окна программы-анализатора сигнала:

а – цикл, характеризующий продолжительность ударного взаимодействия; б – полный цикл колебаний

По продолжительности полного цикла колебаний мембраны датчика можно судить о величине удара. Был использован также вариант датчика в виде акселерометра, но он ока-

зался очень хрупким и быстро вышел из строя. Производился сброс клубня с заданной высоты  $H_0$  без начальной скорости на ровную плоскую поверхность (рис. 4). Фиксировался за счет видеосъемки процесс падения и последующего отскока модели клубня на высоту  $H_1$ . Использовали два временных промежутка – собственно продолжительность самого удара  $\Delta t$  (рис. 4а) и продолжительность цикла колебаний  $T$  (рис. 4б).

Из уравнения ударного импульса, а также теоремы сохранения энергии [20] получаем итоговое выражение для силы удара:

$$F = \frac{m \times (\sqrt{2 \times g \times H_1} + \sqrt{2 \times g \times H_0})}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила удара, Н;

$\Delta t$  – продолжительность ударного воздействия, с;

$m$  – масса модели клубня, кг;

$H_0$  – высота падения, м;

$H_1$  – высота отскока, м.

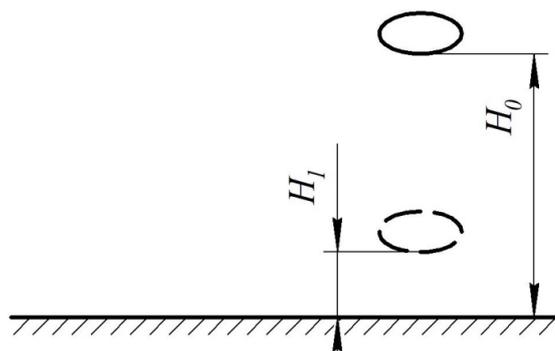


Рисунок 4 – Схема к определению силы удара

Зафиксировав высоту падения и отскока, продолжительность ударного воздействия  $\Delta t$  и продолжительность цикла колебаний  $T$ , по формуле (1) в MS Excel находим силу удара и строим экспериментальную кривую и аппроксимирующую линию с уравнением.

После тарировки следует проверить величину ударного воздействия со стороны узлов лабораторной установки на модель клубня картофеля. В нашей установке опасным местом с точки зрения повреждаемости является питающий транспортер. При сходе с конвейерной ленты клубни попадают на скатной лоток (рис. 5).

Высота падения там составляет более 0,4 м, но падение происходит по касательной на стальной тонкостенный лист, который при ударе упруго деформируется и снижает травмируемость клубней. Также проверим ве-

личину ударов при падении со скатного лотка на решето грохота и при сходе с решета на соответствующие лотки.



**Рисунок 5 – Подающий транспортер и грохотное калибрующее устройство:**  
 а – подающий транспортер; б – место падения клубней с барабана на скатной лоток;  
 в – общий вид грохотного калибрующего устройства с лотком мелкой фракции под нижним решетом; г – эластичная рабочая поверхность решета

Модель клубня картофеля имеет свою собственную массу 158 г. Это соответствует по размерам и массе крупному клубню. Именно такие клубни получают наибольшие повреждения из-за большой кинетической энергии. Сброс происходил на твердую деревянную поверхность с высоты 0,05...0,5 м.

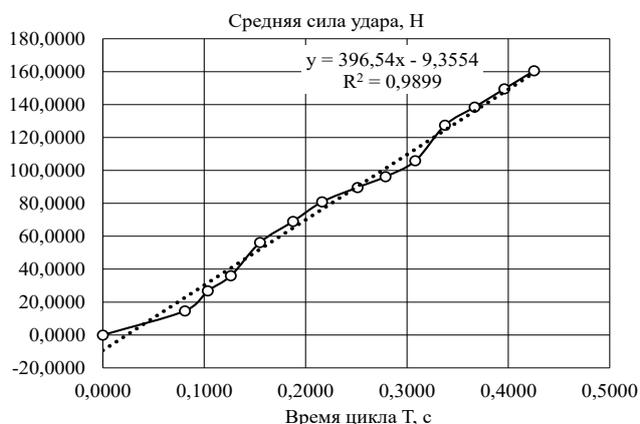
Чувствительность автономного датчика удара оказалась достаточной при сигналах с высоты падения 0,15 м. Влияние на сигнал датчика степени заряда элемента питания оказалось несущественным, что позволяет получать показания равной степени точности в ходе всего времени проведения эксперимента. Данный метод и лабораторный комплекс были апробированы в ходе выполнения научной работы Н. В. Крылова [9].

По результатам лабораторных испытаний в трехкратной повторности построена зависимость среднего значения силы удара от среднего времени цикла согласно значениям, приведенным в таблице 1 (рис. 6).

**Таблица 1 – Результаты экспериментов по тарировке датчика удара**

Высота падения $H_0$ , м	Высота отскока $H_1$ , м	Среднее время ударного воздействия $\Delta t$ , с	Среднее время цикла $T$ , с	Средняя сила удара на клубень $F$ , Н
0	0	0	0	0
0,05	0	0,0087	0,1550	56,20
0,10	0,004	0,0090	0,1876	69,00
0,15	0,006	0,0088	0,2163	80,90
0,20	0,009	0,0087	0,2513	89,66
0,25	0,011	0,0090	0,2790	96,25
0,30	0,013	0,0090	0,3083	105,87
0,35	0,015	0,0090	0,3376	127,49
0,40	0,018	0,0088	0,3669	138,52
0,45	0,022	0,0089	0,3962	149,55
0,50	0,026	0,0088	0,4255	160,57

Также в MS Excel для исходных данных определена величина стандартного отклонения (среднеквадратичное отклонение) для данной выборки  $\sigma = 51,1984 \text{ Н}^2$  и величина доверительного интервала по критерию Стьюдента с вероятностью 95 % – 29,56 Н.



**Рисунок 6 – Тарировочная зависимость силы удара от продолжительности цикла  $F = f(T)$**

На графике представлена также линия, аппроксимирующая зависимость  $F = f(T)$ , найденную экспериментально. В качестве замены предлагается использовать линейную зависимость (линия тренда – прямая), уравнение прямой

$$F = 396,54 \times T - 9,3554 \quad (2)$$

определено средствами MS Excel, с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,9899$  (высокая степень достоверности).

Затем можно проверить все «опасные» места грохотной картофелесортировки. Модель клубня картофеля с датчиком удара помещали на подающий конвейер и запускали его. Скорость ленты конвейера составляла 0,8 м/с. В момент схода клубня с транспортера и последующего падения на скатной лоток, установленный под углом, фиксировались значения ударного взаимодействия. Аналогично провели исследования на удар при сходе модели клубня со скатного лотка на сетчатую поверхность верхнего решета, с верхнего решета на нижнее решето и с поверхности нижнего решета на лоток мелкой фракции. Опыты проводили в пятикратной повторности при угловой скорости вращения кривошипа привода решет 20 рад/с, результаты показаны в таблице 2.

из эластичного шнура с пластиковыми планками, обеспечивающими достаточную жесткость и стабильность щелевых отверстий. Благодаря вязкоупругим свойствам сетка активно гасит ударные нагрузки, что положительно сказывается на защите клубней от повреждений.

При сходе клубня с нижнего решета на лоток мелкой фракции уровень удара определялся продолжительностью цикла  $\Delta t = 0,1653..0,1868$  с. В отличие от предыдущих опытов клубень имеет разную высоту падения из-за трапециевидной формы лотка (рис. 5). Поэтому указываем диапазон значений уровня сигнала датчика и величины силы удара:

$$F = 396,54 \times (0,1653..0,1868) - 9,3554 = \\ = (56,19..64,72) \pm 14,83 \text{ Н,}$$

Таблица 2 – Результаты опытов по определению силы удара на клубень в разных частях машины

Место удара		Номер опыта					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
Сход с транспортера по скатному лотку	Продолжительность цикла $T$ , с	0,2171	0,2142	0,2115	0,2127	0,2131	0,2137
	Сила удара $F$ , Н	76,73	75,58	74,51	74,99	75,15	75,39
Сход со скатного лотка на верхнее решето	Продолжительность цикла $T$ , с	0,1962	0,1929	0,1911	0,1955	0,1947	0,1941
	Сила удара $F$ , Н	68,45	67,14	66,42	68,17	67,85	67,61
Сход с верхнего на нижнее решето	Продолжительность цикла $T$ , с	0,1841	0,1883	0,1854	0,1836	0,1817	0,1846
	Сила удара $F$ , Н	63,65	65,31	64,16	63,45	62,70	63,85
Сход с нижнего решета на лоток мелкой фракции	Продолжительность цикла $T$ , с	0,1653	0,1781	0,1868	0,1811	0,1755	0,1774
	Сила удара $F$ , Н	56,19	61,27	64,72	62,46	60,24	60,97

С учетом доверительного интервала 29,65 Н, посчитанного средствами MS Excel, получаем следующие величины ударов в разных частях машины.

Сход с транспортера по скатному лотку –  $F = 75,39 \pm 14,83$  Н или диапазон 60,56...90,22 Н. С учетом допускаемого значения силы удара не более 120 Н требования повреждаемости не нарушаются. Это произошло из-за скользящего характера удара, происходящего по касательной. Также отмечают жестко-упругие свойства стального листа, податливость которого снижает силу удара. Для снижения вероятности травмирования клубней можно закрыть стальной лист слоем резиновой транспортерной ленты или губчатой резины.

Сход со скатного лотка на верхнее решето –  $F = 67,61 \pm 14,83$  Н или диапазон 52,78...82,44 Н. Сход с верхнего на нижнее решето –  $F = 63,85 \pm 14,83$  Н или диапазон 49,02...78,68 Н. Несколько меньшие значения удара обусловлены тем, что решета выполнены

диапазон значений сил 41,36...79,55 Н. Модель клубня существенно больше размеров отверстий нижнего решета, поэтому величины сил искали при неподвижном решете грохота. Модель клубня размещали руками в нижней поверхности решета и сбрасывали в разных местах на лоток мелкой фракции. Также модель намного тяжелее клубней мелкой фракции, следовательно, реальное ударное воздействие на клубни будет еще меньше.

**Вывод.** Представленная методика исследования ударного взаимодействия модели клубня картофеля с рабочими органами грохотной картофелесортировальной машины позволяет получить объективные данные по исследованию величины удара. Для исследуемой грохотной машины за счет использования косоугольного удара и эластичной поверхности решет силы ударного взаимодействия не превышают  $75,39 \pm 14,83$  Н, что является безопасной величиной (менее порогового значения 120 Н). Все эти значения вполне укладываются в допускаемые, и можно говорить

о низкой повреждаемости клубней в процессе работы грохотной картофелесортировки.

Эти данные могут быть использованы и для картофелесортировальных машин других типов с целью поиска наиболее опасных с точки зрения повреждаемости мест. Но наиболее важной является возможность оценить величины ударов и принять инженерные решения для их снижения до безопасных величин.

### Список источников

1. Боровиков Ю. А., Васильченко М. Ю., Иванов А. Г. Сравнительный анализ законов движения решета грохотной калибрующей машины по критерию оптимизации // Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства: межрегиональный сборник статей научно-практической конференции, посвященной 50-летию факультета механизации сельского хозяйства. Ижевск: ИжГСХА, 2005. С. 166–170.

2. Валиев И. И., Калимуллин М. Н., Абдрахманов Р. К. Агротехнические основы заготовки корнеклубнеплодов // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: научные труды I Международной научно-практической конференции. 2020. С. 278–282.

3. Васильченко М. Ю., Поробова О. Б., Сергеев А. А. Математическая модель движения клубня картофеля по решетку грохота // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3 (48). С. 50–55. EDN: WMGNSN.

4. Взаимодействие модели клубня картофеля с рабочими органами сортирующих машин / А. Г. Иванов, Р. Р. Шакиров, М. М. Киселев [и др.] // Сельский механизатор. 2022. № 4. С. 12–14. EDN VEZFRP.

5. Дорохов А. С., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Автоматизированная линия для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 22–26. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26. EDN: GDWIID.

6. Патент на полезную модель № 224984 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08, B07B 1/28. Картофелесортировальная машина: № 2023119608: заявл. 25.07.2023; опубл. 11.04.2024 / В. Ф. Первущин, А. Г. Иванов, М. З. Салимзянов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Удмуртский государственный аграрный университет". EDN ZZSUMD.

7. Колчин Н. Н., Петухов С. Н. Исследования процесса сортирования клубней картофеля // Картофель и овощи. 2018. № 9. С. 22–25. DOI: 10.25630/PAV.2018.9.18328. EDN: SIMIGH.

8. Колчин Н. Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей. Москва: Машиностроение, 1982. 268 с.

9. Крылов Н. В. Разработка компактного сортирующего устройства клубней картофеля с обосновани-

ем конструктивных и режимных параметров: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: дис. ... канд. техн. наук. 2018. 138 с. EDN OMXDXN.

10. Лебедев Л. Я., Арсланов Ф. Р. Отделитель почвенных примесей для обработки картофеля // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы национальной науч.-практ. конференции, 11–13 декабря 2019 г. Ижевск, 2020. С. 197–202.

11. Максимов Л. М., Максимов П. Л., Максимов Л. Л. Полезные реализованные изобретения по устройствам для уборки корнеклубнеплодов: монография. Ижевск: КнигоГрад, 2009. 136 с.

12. Марков Д. А., Шакиров Р. Р., Иванов А. Г. Виды устройств для сортировки картофеля // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. С. 202–207.

13. Механизированный комплекс для послеуборочной обработки и хранения картофеля / Р. И. Останин, А. В. Костин, Л. Я. Лебедев [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2 (66). С. 56–64. DOI 10.48012/1817-5457\_2021\_2\_56.

14. Петров Г. Д., Бекетов П. В. Механизация возделывания и уборки овощей. Москва: Колос, 1983. 287 с.

15. Применение методов механики к исследованию рабочих процессов калибрующих устройств для картофеля: монография / А. Г. Иванов, П. Л. Максимов, Л. М. Максимов [и др.]; под общей ред. А. Г. Иванова. Ижевск: ООО «Цифра», 2021. 260 с.

16. Пшеченков К. А., Демирчев П. Ф. Физико-механические свойства и повреждения картофеля // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1977. № 9. С. 10–12.

17. Разработка методики исследования ударного взаимодействия модели клубня картофеля с рабочими органами уборочных машин / Н. В. Гусева, М. М. Киселев, В. Н. Костылев [и др.] // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. С. 124–126.

18. Саврасова Н. Р. Анализ контактного динамического взаимодействия клубня картофеля с поверхностью // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1 (2). С. 493–498.

19. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 2. С. 45–48. EDN TOCCQL.

20. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. 12-е изд., стер. Москва: Высшая школа, 2002. 416 с.

21. Khamaletdinov R., Martynov V., Mudarisov S. [and others] Substantiation of rational parameters of the root

crops separator with a rotating inner separation surface. *Journal of Agricultural Engineering*. 2020; 51(1): 15-20.

22. Salimzyanov M., Pervushin V., Shakirov R., Kalimullin M. Improvement of technology and machines for growing potatoes in agriculture. *Engineering for Rural Development*. 9. Ser. "19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Proceedings". 2020. С. 1423–1430.

## References

1. Borovikov Yu. A., Vasil'chenko M. Yu., Ivanov A. G. Sravnitel'nyj analiz zakonov dvizheniya resheta grohotnoj kalibruyushchej mashiny po kriteriyu optimizacii // Aktual'nye problemy mekhanizacii sel'skogo hozyajstva: mezhhregional'nyj sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 50-letiyu fakul'teta mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. Izhevsk: IzhGSKHA, 2005. S. 166–170.

2. Valiev I. I., Kalimullin M. N., Abdrahmanov R. K. Agrotekhnicheskie osnovy zagotovki korneklubneplodov // Nauchnoe soprovozhdenie tekhnologij agropromyshlennogo kompleksa: teoriya, praktika, innovacii: nauchnye trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2020. S. 278–282.

3. Vasil'chenko M. Yu., Porobova O. B., Sergeev A. A. Matematicheskaya model' dvizheniya klubnya kartofelya po reshetu grohota // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2016. № 3 (48). S. 50–55. EDN: WMGNSN.

4. Vzaimodejstvie modeli klubnya kartofelya s rabochimi organami sortiruyushchih mashin / A. G. Ivanov, R. R. Shakirov, M. M. Kiselev [i dr.] // Sel'skij mekhanizator. 2022. № 4. S. 12–14. EDN VEZFRP.

5. Dorohov A. S., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. Avtomatizirovannaya liniya dlya posleuborochnoj obrabotki korneplodov i kartofelya // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2020. T. 14. № 1. S. 22–26. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26. EDN: GDWIID.

6. Patent na poleznuyu model' № 224984 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01D 33/08, B07B 1/28. Kartofelesortiroval'naya mashina: № 2023119608: zavavl. 25.07.2023: opubl. 11.04.2024 / V. F. Pervushin, A. G. Ivanov, M. Z. Salimzyanov [i dr.]; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Udmurtskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet". EDN ZZSUMD.

7. Kolchin N. N., Petuhov S. N. Issledovaniya procesa sortirovaniya klubnej kartofelya // Kartofel' i ovoshchi. 2018. № 9. S. 22–25. DOI: 10.25630/PAV.2018.9.18328. EDN: SIMIGH.

8. Kolchin N. N. Kompleksy mashin i oborudovaniya dlya posleuborochnoj obrabotki kartofelya i ovoshchej. Moskva: Mashinostroenie, 1982. 268 s.

9. Krylov N. V. Razrabotka kompaktnogo sortiruyushchego ustrojstva klubnej kartofelya s obosnovaniem konstruktivnyh i rezhimnyh parametrov: special'nost' 05.20.01 «Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva»: dis. ... kand. tekhn. nauk. 2018. 138 s. EDN OMXDXN.

10. Lebedev L. Ya., Arslanov F. R. Otdelitel' pochvennyh primesej dlya obrabotki kartofelya // Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy APK: problemy i perspektivy: materialy nacional'noj nauch.-prakt. konferencii, 11–13 dekabrya 2019 g. Izhevsk, 2020. S. 197–202.

11. Maksimov L. M., Maksimov P. L., Maksimov L. L. Poleznye realizovannye izobreteniya po ustrojstvam dlya uborki korneklubneplodov: monografiya. Izhevsk: KnigoGrad, 2009. 136 s.

12. Markov D. A., Shakirov R. R., Ivanov A. G. Vidy ustrojstv dlya sortirovki kartofelya // Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy APK: problemy i perspektivy: materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2020. S. 202–207.

13. Mekhanizirovannyj kompleks dlya posleuborochnoj obrabotki i hraneniya kartofelya / R. I. Ostanin, A. V. Kostin, L. Ya. Lebedev [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2021. № 2 (66). S. 56–64. DOI 10.48012/1817-5457\_2021\_2\_56.

14. Petrov G. D., Beketov P. V. Mekhanizaciya vozdevlyvaniya i uborki ovoshchej. Moskva: Kolos, 1983. 287 s.

15. Primenenie metodov mekhaniki k issledovaniyu rabochih processov kalibruyushchih ustrojstv dlya kartofelya: monografiya / A. G. Ivanov, P. L. Maksimov, L. M. Maksimov [i dr.]; pod obshchej red. A. G. Ivanova. Izhevsk: OOO «Cifra», 2021. 260 s.

16. Pshechenkov K. A., Demirchev P. F. Fiziko-mekhanicheskie svoystva i povrezhdeniya kartofelya // Mekhanizaciya i elektrifikaciya socialisticheskogo sel'skogo hozyajstva. 1977. № 9. S. 10–12.

17. Razrabotka metodiki issledovaniya udarnogo vzaimodejstviya modeli klubnya kartofelya s rabochimi organami uborochnyh mashin / N. V. Guseva, M. M. Kiselev, V. N. Kostylev [i dr.] // Innovacionnye tekhnologii dlya realizacii programmy nauchno-tekhnicheskogo razvitiya sel'skogo hozyajstva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2018. S. 124–126.

18. Savrasova N. R. Analiz kontaktnogo dinamicheskogo vzaimodejstviya klubnya kartofelya s poverhnost'yu // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2010. T. 12, № 1 (2). S. 493–498.

19. Sovremennye tekhnologii i special'naya tekhnika dlya kartofelevodstva / A. Yu. Izmajlov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevskij, N. G. Kynev // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. № 2. S. 45–48. EDN TOCCQL.

20. Targ S. M. Kratkij kurs teoreticheskoy mekhaniki. 12-e izd., ster. Moskva: Vysshaya shkola, 2002. 416 s.

21. Khamaletdinov R., Martynov V., Mudarisov S. [and others] Substantiation of rational parameters of the root crops separator with a rotating inner separation surface. *Journal of Agricultural Engineering*. 2020; 51(1): 15-20.

22. Salimzyanov M., Pervushin V., Shakirov R., Kalimullin M. Improvement of technology and machines for growing potatoes in agriculture. *Engineering for Rural Development*. 9. Ser. "19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Proceedings". 2020. S. 1423–1430.

**Сведения об авторах:**

**А. Г. Иванов** , кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>;  
**В. Ф. Первушин**, доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>;  
**Ф. Р. Арсланов**, кандидат технических наук, доцент;  
**И. И. Хузяхметов**, аспирант;  
**А. А. Кудрявцев**, аспирант  
Удмуртский ГАУ, ул. Студенческая, 9, Ижевск, Россия, 426069  
 ivalgen@inbox.ru

Original article

**METHODOLOGY AND RESULTS OF STUDY OF IMPACT INTERACTION OF THE TUBER MODEL WITH NODES OF A SCREEN CALIBRATING DEVICE**

**Aleksey G. Ivanov** , **Vladimir F. Pervushin**, **Fanis R. Arslanov**,  
**Ilham I. Khuzyakhmetov**, **Alexander A. Kudryavtsev**  
Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia  
 ivalgen@inbox.ru

**Abstract.** *The potato tubers calibration into size fractions is an important operation before storing potatoes or when preparing them for sale or processing. Among many calibrating devices, screen devices stand out favorably due to the low energy consumption and high accuracy. One of the ways to increase their efficiency in terms of productivity and accuracy is the use of sieve drive mechanisms with modified laws of their motion (with several changes in the acceleration). However, an important condition for the safety of potatoes during storage is a low level of damage to tubers during placement for storage. The task is to develop a methodology for determining the impact on the potato tuber model by working elements of a screen calibrating device. This will allow to obtain an objective and instrumentally controlled picture of possible damage or sufficient protection from damage to tubers. A polyurethane element with an internal impact sensor is used as a model. The shock sensor allows you to send information via a radio channel to a receiver that can digitize and visualize the signal. The methods of calibration of the impact sensor and investigations of the impact interaction of the tuber model with parts of a screening device for potato calibration have been developed. A linear calibration curve was obtained, its equation with a high coefficient of determination was also obtained, and a confidence interval for calculating the impact force on the tuber was established after laboratory experiments. After testing the screen calibration device it was established that the impact force did not exceed  $F = 75.39 \pm 14.83$  N or a range of 60.56...90.22 N. Taking into account the permissible value of the impact force of no more than 120 N, the damage tolerance requirements are not violated.*

**Key words:** screen, calibrating device, tuber, pile, tuber model, impact sensor, calibration, confidence interval.

**For citation:** Ivanov A. G., Pervushin V. F., Arslanov F. R., Khuzyakhmetov I. I., Kudryavtsev A. A. Methodology and results of study of impact interaction of the tuber model with nodes of a screen calibrating device. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 114-121. (In Russ.). [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_114-121](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_114-121).

**Authors:**

**A. G. Ivanov** , Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>;  
**V. F. Pervushin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>;  
**F. R. Arslanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;  
**I. I. Khuzyakhmetov**, Postgraduate student;  
**A. A. Kudryavtsev**, Postgraduate student  
Udmurt State Agricultural University, 9 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069  
 ivalgen@inbox.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 09.02.2024; одобрена после рецензирования 02.07.2024; принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 09.02.2024; approved after reviewing 02.07.2024; accepted for publication 06.09.2024.