

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-4-12>



## Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы

*А.С. Дорохов<sup>1</sup>, М.Н. Ерохин<sup>2</sup>, А.В. Сибирёв<sup>3</sup>, М.А. Мосяков<sup>4</sup>*

<sup>1,3,4</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

<sup>2</sup> [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

<sup>3</sup> [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

<sup>4</sup> [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

**Аннотация.** Для снижения содержания почвенных примесей и повреждений клубней картофеля при уборке необходимо исследовать состав разделяемой смеси клубненосного вороха товарной продукции и определить энергию разрушения почвенных комков. С целью выявления закономерностей физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии с сепарирующим рабочим органом экспериментально исследовали разрушение почвенного комка. Энергия разрушения почвенных комков выщелоченного чернозема плотностью в интервале от 1300 до 1700 кг/м<sup>3</sup> определялась на образцах размером 5 см при влажности почвы 10...30%. На лабораторной установке, включающей в себя сепарирующий прутковый элеватор, исследовалось влияние воздействия полотна (частоты встряхивания интенсификаторов сепарации) на количество образованных почвенных фракций размером 5 см. Выяснили, что материальный баланс для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки определяется массовой подачей клубненосной массы на сепарирующий орган и количеством массы, сходящей с сепарирующего органа. Количество удаляемой с сепарирующего органа массы является стационарной функцией частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта. Разработана методика исследований по определению энергии разрушения почвенных комков с подготовкой пробы почвы. Проведены экспериментальные исследования по определению энергии разрушения почвенного пласта при взаимодействии с абсолютно твердым телом. Установлено, что при увеличении влажности почвы с 10 до 30% энергия разрушения комков возрастает в диапазоне 6249,18...10118,5 Дж/м<sup>3</sup>. При влажности почвы более 25% пропорционально повышается до 60,2 см максимальная высота разрушения почвенного комка. Установлена эмпирическая зависимость определения энергии разрушения частицы почвы при варьировании влажности. Результаты исследований позволяют на основе показателя влажности почвы подбирать оптимальную частоту колебаний пруткового элеватора и обеспечивать высокое качество сепарации.

**Ключевые слова:** почвенные комки, влажность, энергия разрушения почвенных комков, сепарирующий орган, компонент, сепарация клубней картофеля

**Финансирование.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда конкурса 2022 г. «Проведение исследований научными коллективами под руководством молодых ученых» Президентской программы научных проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодых ученых, № 22-76-10002.

**Для цитирования:** Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 4-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-4-12>

## ORIGINAL PAPER

## Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil

A.S. Dorokhov<sup>1</sup>, M.N. Erokhin<sup>2</sup>, A.V. Sibirev<sup>3</sup>✉, M.A. Mosyakov<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

<sup>1</sup> dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

<sup>2</sup> er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

<sup>3</sup> sibirev2011@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

<sup>4</sup> maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

**Abstract.** To reduce the content of soil impurities and minimize damage to potato tubers during harvesting, it is necessary to study the composition of the separated pile of market tubers and determine the energy of soil clod crushing. In order to identify the regularities of physical and mechanical properties of soil clods interacting with the separating working tool, the authors experimentally studied the crushing of soil clods. The crushing energy of leached chernozem soil clods with a density between 1300 and 1700 kg/m<sup>3</sup> was determined for samples of 5 cm in size at a soil moisture of 10 to 30%. The authors used a laboratory installation with a separating rod elevator to determine the influence of the apron (the shaking frequency of the separation intensifiers) on the amount of 5-cm soil fractions formed. It was experimentally found that the material balance for separating units of potato harvesters of primary and secondary cleaning is determined by the mass of tubers fed to the separating tool and the amount of mass removed from the separating tool. The amount of mass removed from the separating tool is a stationary function of the vibration frequency of the bar elevator and the amount of product on it. The authors have developed a research methodology to determine the energy of soil clod crushing using soil sample preparation. The authors have conducted experimental studies to determine soil clod crushing energy when interacting with an absolutely solid body. It has been found that an increase in soil moisture from 10 to 30% results in an increase in the energy of soil clod crushing of 6249.18 to 10118.5 J/m<sup>3</sup>. When the soil moisture exceeds 25%, the maximum height of soil clod crushing increases proportionally up to 60.2 cm. The empirical dependence of soil clod crushing energy on the varying moisture content has been established. The research results are useful for selecting the optimal vibration frequency of the bar elevator, based on the soil moisture index, and for achieving high quality of separation.

**Keywords:** soil clods, moisture, soil clod breaking energy, separating body, component, potato tuber separation

**Funding:** The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation of the 2022 contest “Conducting research by scientific groups led by young scientists” of the Presidential Program of research projects implemented by lead researchers, including young scientists No. 22-76-10002.

**For citation:** Dorokhov A.S., Erokhin M.N., Sibirev A.V., Mosyakov M.A. Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):4-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-4-12>

### Введение

Целью высокоэффективного производства овощных культур и картофеля является достижение максимальных урожаев установленного качества при минимальных затратах. Предельные значения урожайности обусловлены генетическим потенциалом сорта, почвенно-климатическими условиями поля и качеством выполнения технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур.

Качество выполнения процесса уборки картофеля достигло достаточно высоких значений, и его дальнейший рост приводит к значительному увеличению энергетических затрат, но при этом не дает

существенной прибавки урожайности. В связи с этим необходимо находить оптимальное сочетание качественных показателей операций, имеющих взаимозависимость на основе обоснованного критерия оценки технологии.

Научная проблема заключается в том, что повышенное содержание почвенных примесей в сходовом ворохе клубней картофеля является основным фактором увеличения повреждений (травмируемости) клубней при его уборке. Перспективным направлением снижения содержания почвенных примесей является совершенствование технологических процессов первичной и вторичной сепарации, а также

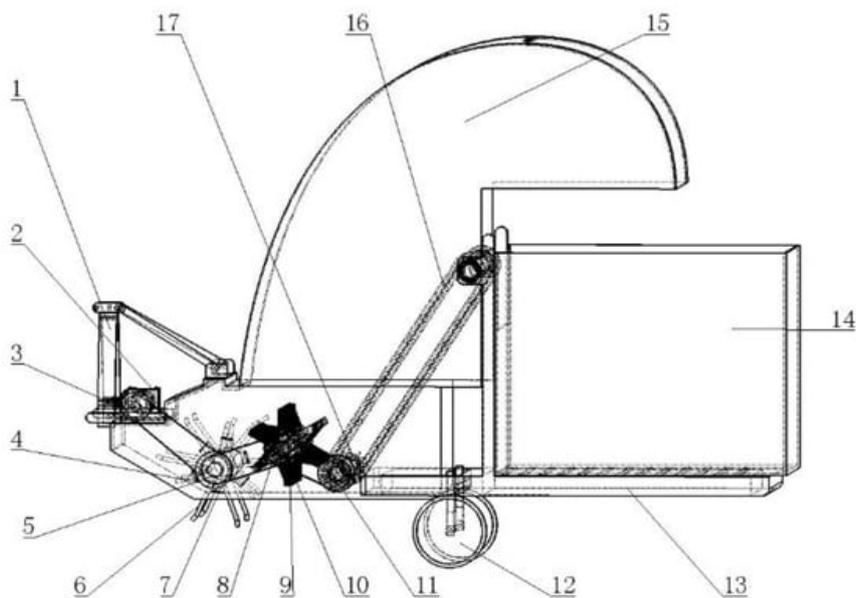
разработка технических средств с цифровой системой распознавания комков почвы и их очистки от клубней картофеля [1, 2].

Для повышения полноты разделения компонентов вороха и производительности устройств вторичной сепарации, а именно пальчатых горок, устанавливаются интенсификаторы сепарации, конструкции которых рассмотрены в работах А.С. Дорохова, М.Н. Ерохина, Н.В. Бышова, С.Г. Борычева, Г.К. Рембаловича, Н.П. Ларюшина и др. [3, 4]. Разработана конструкция картофелеуборочной машины с пружинными пальцами, которая решает проблему ручного сбора картофеля [5]. В комбайне с трактором мощностью 30 кВт используются для сбора картофеля сборочная лопата и конвейерная цепь с пружинными пальцами, а также устройства для подъема, сбора и отделения картофеля от почвы<sup>1</sup>. Однако уровень загрязнения и повреждения картофеля не соответствует национальными отраслевым стандартам. Для комбинированного сбора

картофеля, сортировки и сбора фракций картофеля разработан комбайн, использующий устройство вторичной сортировки картофеля роликового типа. Однако данная конструкция не отвечает требованиям сортировки и характеризуется низкой эффективностью сбора<sup>2</sup> [6]. Разработанное сепарирующее устройство двухвального комбайна для сбора батата (рис. 1) [7] не обеспечивает сепарацию товарной продукции клубней в полной мере, поскольку в методологии разработки устройства не учитывается взаимодействие поврежденными столонами батата на конвейерной ленте транспортера (рис. 2).

Для устранения перечисленных недостатков при разработке<sup>3</sup> сепарирующих устройств [8, 9] необходимо учитывать состав разделяемой смеси клубеносного вороха товарной продукции.

**Цель исследований:** определение закономерностей физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии с сепарирующим рабочим органом.



**Рис. 1. Конструкция двухвального комбайна:**

- 1 – подвесная рама; 2 – трансмиссия; 3 – ведущий шкив; 4 – роликовый шкив для сбора батата; 5 – ролик для сбора батата; 6 – сборщик батата; 7 – резак аэродинамического профиля; 8, 9, 10 – роликовый шкив, каток и нож для уничтожения ботвы; 11 – шкив привода руля высоты; 12 – колесо ограничения глубины; 13, 14 – рама и ящик для сбора батата; 15 – щит; 16 – ленточный конвейер стержневой; 17 – шестерня конвейерной ленты

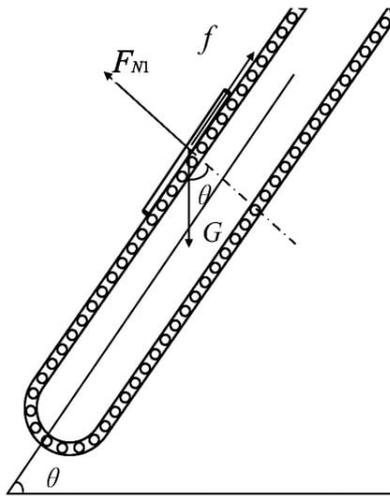
**Fig. 1. Design of a two-roller combine:**

- 1 – hanging frame; 2 – transmission; 3 – drive pulley; 4 – roller pulley for collecting sweet potatoes; 5 – roller for collecting sweet potatoes; 6 – sweet potato picker; 7 – airfoil cutter; 8, 9, 10 – roller pulley, roller, and knife for removing tops; 11 – elevator drive pulley; 12 – depth limit wheel; 13, 14 – frame and box for collecting sweet potatoes; 15 – shield; 16 – rod belt conveyor; 17 – conveyor belt gear

<sup>1</sup> Xiao W., Gao Y., Chen H., Zhang Y. Design and experiment of small potato picking and grading machine // Journal of Food Process Engineering. 2019. № 12. Pp. 130-134.

<sup>2</sup> Liu J., Wei M., Kang H., Wang Y., Zhou J. Design and experiment of potato harvester based on roller separation // INMATEH Agricultural Engineering. 2021. № 5. Pp. 96-103. <https://doi.org/10.35633/inmateh-64-14>.

<sup>3</sup> Калинин А.Б., Ружьев В.А., Теплинский И.З. Мировые тенденции и современные технические системы для возделывания картофеля: Учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2016. 160 с.



**Рис. 2. Анализ сил на конвейерной ленте:**

$F_{N1}$  – опорная сила конвейерных лент;  
 $f$  – сила трения конвейерных лент;  
 $G$  – вес поврежденных столонов картофеля;  
 $\theta$  – горизонтальный угол между конвейерными лентами и землей

**Fig. 2. Analysis of forces acting on a conveyor belt:**

$F_{N1}$  – support force of conveyor belts;  
 $f$  – friction force of conveyor belts;  
 $G$  – weight of broken sweet potato stolons;  
 $\theta$  – horizontal angle between conveyor belts and the ground

### Материалы и методы

Для определения энергии разрушения почвенных комков выщелоченного чернозема плотностью  $1652 \text{ кг/м}^3$  подготавливались образцы длиной, высотой и толщиной не более 5 см различной влажности.

Частота вращения интенсификаторов сепарации варьировалась в диапазоне от 10 до 12  $\text{мин}^{-1}$ .

Влажность исследуемых почвенных образцов изменяли методом поверхностного увлажнения с 10 до 30% с интервалом варьирования в сторону увеличения на 1% и определяли термостатно-весовым способом.

Энергия разрушения почвенных комков определялась при однократном статистическом сжатии накопником твердомера исходя из условия разрушения не менее 90% почвенных комков.

Масса комка почвы определялась с точностью до 0,1 г на электронных весах M-ER122ACFJR-300.01 LCD.

Сепарация клубней картофеля от механических примесей при сопоставлении с сыпучими материалами отличается непрерывным образованием мелких частиц почвы, появляющихся в результате соударений комков почвы о рабочую поверхность очистительного устройства. Следовательно, исходный фракционный состав является непостоянным и меняется в зависимости от параметров и режимов работы функционирующих элементов [10-12].

Для определения параметров сепарирующего органа как элемента системы автоматического регулирования необходимо иметь информацию об особенностях протекания технологического процесса сепарации, физико-механических свойствах клубненосного вороха, размерно-массовых характеристиках материала, возникающих при изменении толщины слоя на выходе из очистительного устройства под влиянием управляющего воздействия.

### Результаты и их обсуждение

На изготовленной лабораторной установке (рис. 3) производилась сепарация клубней картофеля и исследовалось влияние воздействия полотна элеватора на количество образуемой исследуемой почвенной фракции (не более 5 см, что обусловлено средним размером клубней картофеля).

Методика проведения исследований предусматривала массовый замер длины, ширины или толщины почвенных фракций. По полученным значениям строили вариационные кривые (рис. 4) и определяли степень делимости данного состава. Площадь 1 (между кривой и осью абсцисс) соответствует основному компоненту, а площадь 2 соответствует примеси.

Для последовательного изучения двух признаков X и Y разделения двухкомпонентной смеси использовали корреляционные таблицы. При наличии трех признаков X, Y и Z можно использовать пространственные корреляционные решетки.

Чем однороднее полученные фракции по данному признаку, тем точнее может быть осуществлена сепарация и тем выше эффект разделения.

Степень извлечения товарной продукции из сепарируемого вороха определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (1)$$

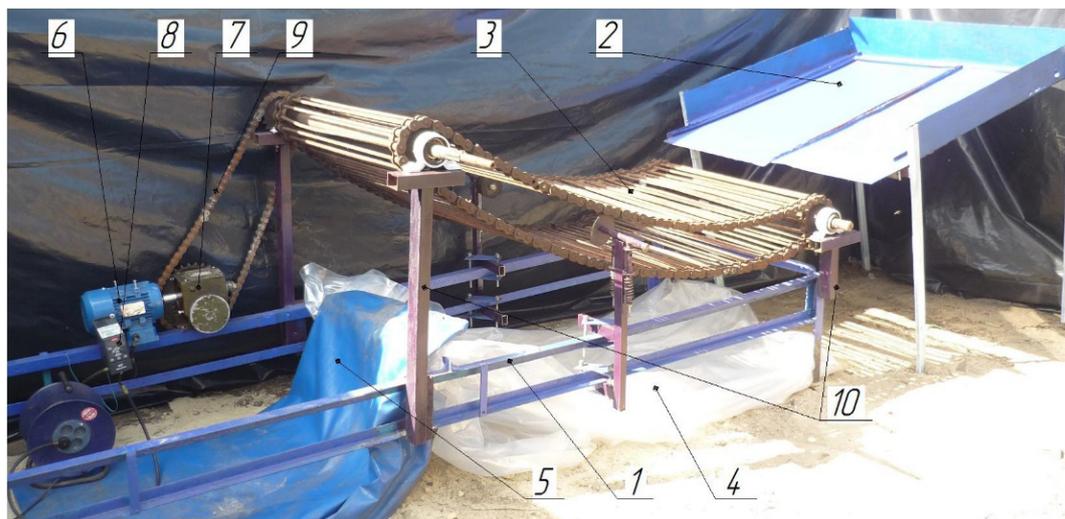
где  $Q_1$  – количество компонента после сепарации, %;  $Q_2$  – количество компонента в исходной фракции, %.

Эффект сепарации, зависящий от режимов работы устройства и параметров его работы, определяется подачей вороха, временем обработки, физическими свойствами и делимостью исходного продукта.

Величина подачи ( $Q_B$ , кг/с) определяется выражением:

$$Q_B = \frac{f \alpha \gamma}{t_B}, \quad (2)$$

где  $f$  – сечение потока сыпучей массы,  $\text{м}^2$ ;  $\alpha$  – длина сепарирующей поверхности, м;  $\gamma$  – объемный вес разделяемого материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $t_B$  – время обработки, кг/с.

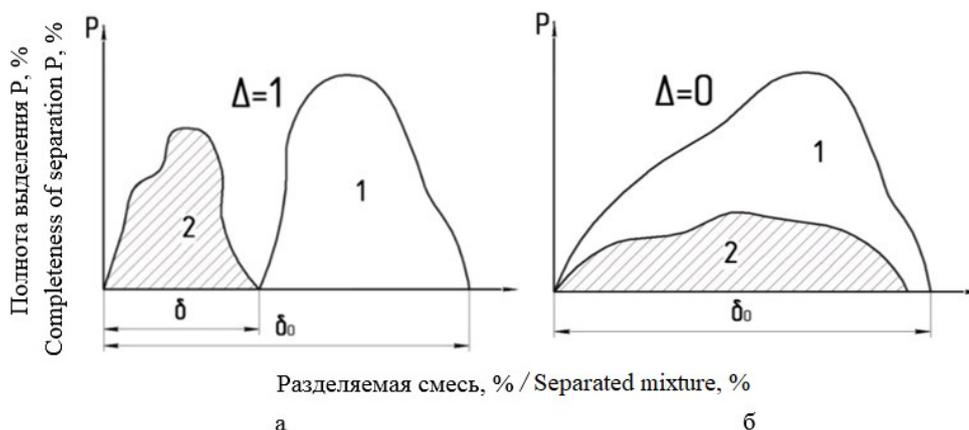


**Рис. 3. Общий вид лабораторной установки для исследования интенсивности сепарации почвенных примесей:**

1 – рама; 2 – емкость для предварительного размещения вороха; 3 – сепарирующий прутковый элеватор; 4 – брезент для сбора примесей; 5 – брезент для сепарированной продукции; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор одноступенчатый; 8 – преобразователь частотный; 9 – передача цепная; 10 – стойки опорные

**Fig. 3. General view of the laboratory installation for studying the separation intensity of soil impurities:**

1 – frame; 2 – container for preliminary placement of a heap; 3 – separating rod elevator; 4 – tarpaulin for collecting impurities; 5 – tarpaulin of separated products; 6 – electric motor; 7 – single-stage gearbox; 8 – frequency converter; 9 – chain transmission; 10 – support posts



**Рис. 4. Вариационные кривые процесса сепарации separable (а) и inseparable (б) смеси:**

1 – основной компонент; 2 – примесь

**Fig. 4. Variation curves of the separation process for a separable mixture (a) and an inseparable mixture (b):**

1 – main component; 2 – impurity

Удельная начальная подача определяется как

$$Q_v = \frac{Q_B}{B_{\Pi}}, \tag{3}$$

где  $B_{\Pi}$  – ширина разделяемого потока, м.

Почвенный комок имеет разнообразную форму. Следовательно, примем за центр координат центр тяжести комка и рассмотрим возможные случаи нагружения его в почвенной массе.

Для существующих картофелеуборочных машин возмущающим воздействием является отклонение подачи клубненосной массы. Получим необходимые соотношения для описания динамических свойств

картофелеуборочного комбайна как объекта регулирования по управляющему воздействию.

Уравнение материального баланса для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки имеет вид:

$$\frac{dC_1}{dt} = Q_1 - C_{CX} - C_{PP}, \tag{4}$$

где  $Q_1$  – подача клубненосной массы на сепарирующий орган,  $м^3/с$ ;  $C_1$  – количество продукта, находящегося на сепарирующей поверхности,  $м^3$ ;  $C_{CX}$  – количество продукта, сходящего с сепарирующей поверхности,  $м^3/с$ ;  $C_{PP}$  – количество просеивающегося продукта,  $м^3/с$ .

В установившемся режиме количество почвы, выделяемое на сепарирующем органе  $C_{\text{ПР}}^0$ , является постоянным, тогда

$$Q_1^0 = C_{\text{ПР}}^0 + C_{\text{СХ}}^0, \tag{5}$$

где  $Q_1^0$  – количество массы, поступающей на сепарирующий орган, кг;  $C_{\text{СХ}}^0$  – количество массы, сходящей с сепарирующего органа, кг.

Учитывая равенство (5), а также то, что подача массы на сепарирующий орган является постоянной, то есть  $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_1^0 = \text{const}$ , уравнение (5) можно записать следующим образом:

$$\frac{dC_1}{dt} = \Delta C_{\text{УД}}; \tag{6}$$

$$\Delta C_{\text{УД}} = \Delta C_{\text{Х}} + \Delta C_{\text{ПР}}; \tag{7}$$

$$\Delta C_1 = \frac{B_{\text{EL}} L_{\text{EL}}}{2} \Delta \bar{h}_L, \tag{8}$$

где  $\Delta \bar{h}_L$  – разница толщины слоя почвы на входе и выходе с участка сепарации, м.

Количество удаляемой с сепарирующего органа массы  $C_{\text{УД}}$  представляет стационарную функцию частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта:

$$C_{\text{УД}} = C_{\text{УД}}(C_1, \omega_1), \tag{9}$$

где  $\omega_1$  – частота колебаний пруткового элеватора,  $\text{с}^{-1}$ .

При повсеместном внедрении в конструкцию энергетических средств и самоходных уборочных машин с гидростатической трансмиссией появится возможность варьирования подачи продукта на сепарирующие органы за счет соответствующего изменения скорости движения агрегата. Поэтому дальнейшие исследования влияния отклонений подачи на толщину слоя клубненосной массы представляют собой перспективное направление научно-исследовательских работ по совершенствованию функционирующих элементов и технологических схем уборочных машин, а также их агрегатированию.

Наиболее важным параметром разделения комков почвы от клубней картофеля является размер комков (рис. 5).

Перемещение на очистительных устройствах уборочной машины почвенных примесей в пределах одного текущего слоя свидетельствует о невозможности их полнейшего разрушения ввиду недостаточной высоты перепада между сепарирующими рабочими органами (предельно допустимая высота падения клубней на металлическую поверхность составляет не более 0,3 м). В этом случае можно говорить о недостаточной удельной потенциальной энергии разрушения почвенных комков.

При проведении исследований энергии разрушения почвенных комков изучались образцы влажностью, характерной при уборке картофеля и соответствующей формированию монолитного почвенного пласта.

Результаты проведенных исследований энергии разрушения почвенных частиц выщелоченного чернозема плотностью  $1652 \text{ кг/м}^3$  при коэффициенте вариации экспериментальных данных 0,28 (совокупность можно считать однородной) представлены в таблице и на рисунке 6.

Эмпирическая зависимость высоты падения и энергии разрушения почвенных частиц от их влажности представлена системой выражений:

$$\begin{cases} H(W) = -18,21 + 49,12 \lg W \\ \Theta(W) = -2684,87 + 7755,31 \lg W. \end{cases} \tag{10}$$

При неизменной плотности почвы и росте ее влажности от 10 до 30% прочность комков почвы увеличивается с  $6249,18$  до  $10118,5 \text{ Дж/м}^3$ . При влажности почвы свыше 25% пропорционально увеличивается максимальная высота разрушения почвенного комка: в среднем от 21,8 до 62,5 см, что объясняется набуханием частиц почвы, уменьшением расстояния между коллоидными частицами и созданием демпфера.

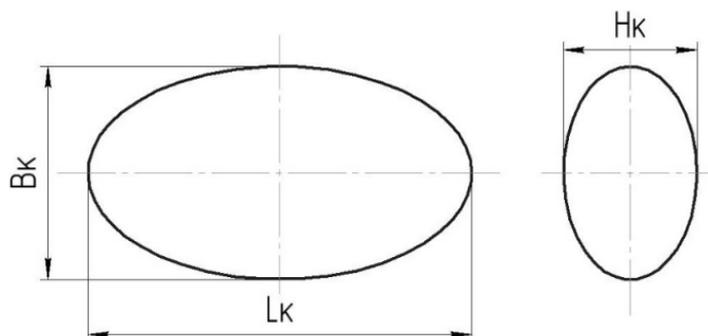


Рис. 5. Размерные характеристики комка почвы/клубня картофеля:

Lк – длина, мм; Вк – высота, мм; Нк – толщина, мм

Fig. 5. Dimensional characteristics of a soil clod/potato tuber

Lк – length, mm; Вк – height, mm; Нк – thickness, mm

Таблица

Энергия разрушения почвенных комков при варьировании их влажности и высоты падения

Table

## Results of studies of the energy required for crushing the soil layer

Абсолютная влажность выщелоченного чернозема, % <i>Absolute humidity of leached chernozem, %</i>	Высота падения почвенных частиц, см <i>Drop height of soil particles, cm</i>				Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных комков, Дж/м <sup>3</sup> <i>Specific potential energy required for crushing soil clods, J/m</i>
	№ 1	№ 2	№ 3	среднее значение <i>average value</i>	
10	36,5	36,3	37,6	36,8	6249,18
11	36,8	36,8	37,4	37,0	5990,15
12	36,4	37,3	37,3	37,0	5990,15
13	36,9	38,1	37,2	37,4	6054,91
14	37,0	36,5	37,5	37,0	5990,15
15	37,3	37,0	37,6	37,3	6038,72
16	38,2	39,1	37,9	38,4	6216,81
17	38,4	37,7	40,0	38,7	6265,37
18	39,1	38,6	39,9	39,2	6346,32
19	40,8	41,0	39,7	40,5	6556,78
20	41,3	43,4	40,7	41,8	6767,25
21	41,4	42,2	43,3	42,3	6848,21
22	44,5	43,6	46,0	44,7	7236,75
23	47,4	47,6	48,4	47,8	7738,62
24	50,9	50,4	50,5	50,6	8191,93
25	51,7	52,4	51,6	51,8	8386,21
26	52,9	51,3	50,2	52,7	8531,91
27	50,3	54,4	48,7	53,2	8612,86
28	53,4	53,6	53,2	53,4	8645,24
29	57,0	56,2	56,9	56,7	9179,51
30	62,3	61,4	63,8	62,5	10118,5

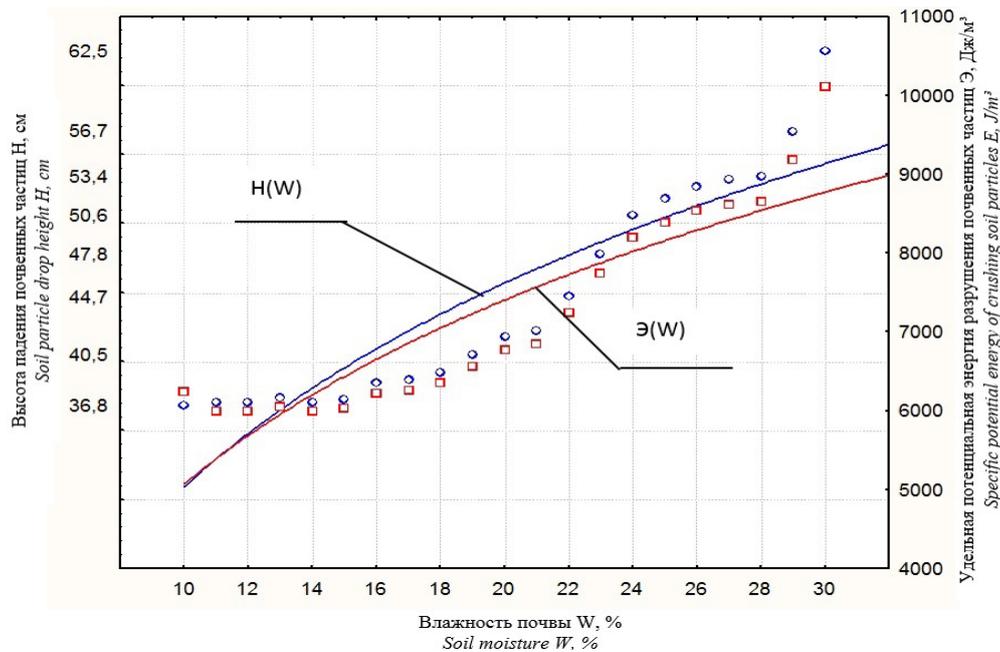


Рис. 6. Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц плотностью 1652 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от влажности и высоты падения

Fig. 6. Specific potential energy of crushing soil particles with a density of 1652 kg/m<sup>3</sup> as a function of moisture and drop height

### Выводы

1. Материальный баланс для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки определяется массовой подачей клубненосной массы на сепарирующий орган и количеством массы, сходящей с сепарирующего органа. Количество удаляемой с сепарирующего органа массы является стационарной функцией частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта.

2. Выявленные закономерности физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии

с сепарирующим рабочим органом позволили определить энергию разрушения почвенных комков плотном элеватора.

При увеличении влажности почвы с 10 до 30% энергия разрушения комков возрастает в диапазоне 6249,18...10118,5 Дж/м<sup>3</sup>. При влажности почвы более 25% пропорционально повышается максимальная высота разрушения почвенного комка — до 60,2 см.

3. Высокое качество сепарации может достигаться выбором оптимальной частоты колебаний пруткового элеватора в зависимости от влажности почвы.

### Список источников

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. The results of field tests of an onion set harvesting machine equipped with a shaker arrangement asymmetrical bar elevato. *Engineering Technologies and Systems*. 2020;30(1):133-148. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.133-148>
2. Khura T., Mani I., Srivastava A. Design and development of tractor-drawn onion (*Allium cepa*) harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011;81(6):528-532.
3. Indrajа D., Ajkhilesh J., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333-337.
4. Бышов Н.В., Якутин Н.Н., Ковешников Р.Ю., Родионов В.В., Сержантов Н.В., Смирнов П.С. Модернизация копателя КСТ-1,4 // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 2. С. 75-78. EDN: WYJNSX
5. Dai F., Guo X.H., Zhao W., Xin S., Liu X., Wu Z. Design and experiment of canvas belt combined operation machine for po-

### References

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. The results of field tests of an onion set harvesting machine equipped with a shaker arrangement asymmetrical bar elevator. *Engineering Technologies and Systems*. 2020;30(1):133-148. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.133-148>
2. Khura T., Mani I., Srivastava A. Design and development of tractor-drawn onion (*Allium cepa*) harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011;81(6):528-532.
3. Indrajа D., Ajkhilesh J., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333-337.
4. Byshov N.V., Yakutin N.N., Koveshnikov R.Yu., Rodionov V.V., Serzhantov N.V., Smirnov P.S. Modernization of digging machine KST-1.4. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2016;2:75-78.
5. Dai F., Guo X.H., Zhao W., Xin S., Liu X., Wu Z. Design and experiment of canvas belt combined operation machine for potato digging and plastic film collecting.

tato digging and plastic film collecting. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2018;49(3):104-113. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.012>

6. Mu G., Wang W., Zhang T., Hu L., Zheng W., Zhang W. Design and experiment with a double-roller sweet potato vine harvester. *Agriculture*. 2022;12(10):1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101559>

7. Lu K., Xie S., Gai X., Ji X. Design and Experiment of Toggle Lever-Type Potato Picker. *Agriculture*. 2024;14:826. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060826>

8. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. *Communications, Signal Processing, and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. Pp. 1154-1161. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8\\_145](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8_145)

9. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Кудрявцев П.П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35-36.

10. Калинин А.Б., Устроев А.А. Теоретические предпосылки и практические приемы рациональной системы обработки почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 70-78. EDN: XELKLF

11. Jia B., Sun W., Zhao Z., Wang H., Zhang H., Liu X., Li H. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

12. Wang L., Liu F., Wang Q., Zhou J., Fan X., Li J., Zhao X., Xie S. Design of a spring-finger potato picker and an experimental study of its picking performance. *Agriculture*. 2023;13(5):945. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050945>

*Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2018;49(3):104-113. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.012>

6. Mu G., Wang W., Zhang T., Hu L., Zheng W., Zhang W. Design and experiment with a double-roller sweet potato vine harvester. *Agriculture*. 2022;12(10):1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101559>

7. Lu K., Xie S., Gai X., Ji X. Design and Experiment of Toggle Lever-Type Potato Picker. *Agriculture*. 2024;14:826. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060826>

8. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. *Communications, Signal Processing, and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. Pp. 1154-1161. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8\\_145](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8_145)

9. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Kudryavtsev P.P. Soil condition in the intensive technology. *Potatoes and Vegetables*. 2016;2:35-36. (In Russ.)

10. Kalinin A.B., Ustroev A.A. Theoretical premises and practices of rational soil tillage system as a part of farm crops cultivation technologies. *AgroEcoEngineering = Tekhnologii i Tekhnicheskiye Sredstva Mekhanizirovannogo Proizvodstva Produktsii Rasteniyevodstva i Zhivotnovodstva*. 2016;90:70-78. (In Russ.)

11. Jia B., Sun W., Zhao Z., Wang H., Zhang H., Liu X., Li H. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

12. Wang L., Liu F., Wang Q., Zhou J., Fan X., Li J., Zhao X., Xie S. Design of a spring-finger potato picker and an experimental study of its picking performance. *Agriculture*. 2023;13(5):945. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050945>

### Информация об авторах

**Алексей Семёнович Дорохов<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, академик РАН; [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**Михаил Никитич Ерохин<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

**Алексей Викторович Сибирёв<sup>3</sup>**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник; [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

**Максим Александрович Мосяков<sup>4</sup>**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

<sup>1,3,4</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

### Вклад авторов

А.С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования;

М.Н. Ерохин – разработка методологии исследования;

А.В. Сибирёв – описание результатов и формирование выводов исследования, подготовка начального варианта текста; М.А. Мосяков – представление результатов, подготовка графических материалов.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.06.2024, после рецензирования и доработки 10.07.2024; принята к публикации 12.07.2024

### Author Information

**Aleksei S. Dorokhov<sup>1</sup>**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**Mikhail N. Erokhin<sup>2</sup>**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

**Aleksei V. Sibirev<sup>3</sup>**, DSc (Eng), Chief Research Engineer; [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

**Maksim. A. Mosyakov<sup>4</sup>**, CSc (Eng), [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

<sup>1,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

### Author Contribution

A.S. Dorokhov – conceptualization;

M.N. Erokhin – research methodology;

A.V. Sibirev – description of the results (data curation) and presentation of conclusions, writing – original draft preparation;

M.A. Mosyakov – presentation of results, visualization.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism  
Received 25.06.2024, revised 10.07.2024; accepted 12.07.2024