

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭНЕРГО-РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ\*

Алексей Семенович Дорохов, академик РАН

Алексей Викторович Сибирёв, доктор технических наук

Александр Геннадьевич Аксенов, доктор технических наук

Максим Александрович Мосяков, кандидат технических наук

Николай Викторович Сазонов, кандидат технических наук

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

E-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

**Аннотация.** Существующие машины для уборки корнеплодов и клубней картофеля выполняют технологический процесс при повышенной влажности почвы, что отрицательно влияет на показатели качества уборки в результате снижения полноты сепарации товарной продукции. Для повышения сепарирующей способности щелевых устройств предлагается усовершенствовать способ обогрева поверхности горячим выхлопным газом энергетической установки уборочной машины или привода. В ФНАЦ ВИМ разработана сепарирующая система машины для уборки корнеплодов и картофеля при повышенной влажности с использованием теплоты отработавших газов силовой установки. Для определения оптимальных значений системы, а также рекомендаций в последующих изменениях конструктивно-технологических параметров машин для уборки предложена математическая модель вычисления качества уборки корнеплодов и картофеля энерго-ресурсосберегающей технологии при повышенной влажности почвы. Представлены величины нахождения полноты сепарации по выражению, зависящие от массы вороха корнеплодов и картофеля, поступающего с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы, а также коэффициента  $K_c$  изменения структурности влажности почвы.

**Ключевые слова:** уборка, сепарация, корнеплоды, рабочие органы, машина для уборки

## MATHEMATICAL MODEL OF INDICATORS DETERMINATION OF QUALITY ROOT CROPS HARVESTING AND POTATO ENERGY SAVING TECHNOLOGY IN HIGH HUMIDITY SOIL CONDITION

A.S. Dorokhov, Academician of the RAS

A.V. Sibirev, Grand PhD in Engineering Sciences

A.G. Aksenov, Grand PhD in Engineering Sciences

M.A. Mosyakov, PhD in Engineering Sciences

N.V. Sazonov, PhD in Engineering Sciences

FGBNU "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, Russia

E-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

**Abstract.** Existing machines for harvesting root crops and potato tubers perform the technological process in conditions of high soil moisture, which negatively affects the quality of harvesting as a result of a decrease in the completeness of separation of marketable products. To increase the separating capacity of slotted devices for cleaning root crops, it is proposed to improve the method of heating the separating surface with hot exhaust gas from the power plant of a harvesting machine or drive. The FSC VIM has developed a separating system for harvesting root crops and potatoes at high humidity using the heat of the exhaust gases of the power plant. In order to determine the optimal values of the developed separating system, as well as recommendations for subsequent changes in the design and technological parameters of harvesting machines, a mathematical model has been developed for calculating the quality of harvesting root crops and potatoes using energy-saving technology in conditions of high soil moisture. The values of finding the completeness of separation by expression are presented, depending on the heap mass of the root crops and potatoes coming from the digging to the separating working bodies, as well as the coefficient  $K_c$  of the change in the structural moisture of the soil.

**Keywords:** harvesting, separation, root crops, working bodies, harvesting machine

Технологический процесс уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы осуществляется при интенсификации очистки товарной продукции воздушным потоком сепарирующей поверхности отработавшими газами силовой установки, что сокращает время на

сход почвенных примесей с рабочей поверхности в результате спада их влажности, и как следствие — снижает скважность и липкость.

Существуют разнообразные сепарирующие устройства для выполнения очистки товарной продукции от механических примесей.

\* Работа выполнена в рамках стипендии Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых СП-1004.2021.1 / The work was carried out within the framework of the scholarship of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists SP-1004.2021.1.

Отделение корнеплодов от примесей в механических сепараторах основано на физико-механических свойствах: коэффициенты формы, трения, восстановления скорости; масса, плотность, размер и прочностные свойства. Наибольшую практическую реализацию получили: коэффициенты трения качения и скольжения, а также размер.

Для повышения полноты разделения компонентов вороха и производительности устройств вторичной сепарации (пальчатые горки) стали устанавливать интенсификаторы сепарации, конструкции которых рассмотрены в работах Н.В. Бышова, С.Г. Борычева, Н.П. Ларюшина, А.М. Ларюшина, А.А. Протасова, Г.К. Рембаловича. Известные очистительные устройства первичной и вторичной сепарации обеспечивают технологический процесс в условиях оптимальной влажности при уборке ( $W = 18...22\%$ ), повышая показатель до  $25...27\%$ . Рабочая поверхность сепарирующих устройств обволакивается почвенным слоем и технологический процесс ухудшается или прекращается. Поэтому необходимо разработать устройства первичной и вторичной сепарации совместно с интенсификаторами, что позволит выполнять очистку товарной продукции при повышенной влажности почвы.

В ФНАЦ ВИМ разработан комплекс сепарирующих агрегатов машин для уборки картофеля, представленный устройствами первичной очистки с дефлекторным интенсификатором сепарации отработавших газов — прутковым элеватором и очистительной звездой для свеклоуборочного комбайна.

Цель работы — усовершенствовать технологический процесс очистки корнеплодов свеклоуборочным комбайном в условиях повышенной влажности за счет оптимизации конструктивно-технологических параметров сепарирующего устройства с использованием теплоты отработавших газов силовой установки машины.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы снизить травмирование корнеклубнеплодов и повысить качество очистки от механических и растительных примесей разработан дисковый сепарирующий орган с интенсификаторами очистки, в виде счесывающих спиц, патент РФ № 2727917 (рис. 1). Дисковый сепарирующий орган содержит диск 1, закрепленный на вертикальном валу 2, имеющий ступицу 3 и счесывающие спицы 4, соединенные со ступицей шарнирами 5. Решетчатый диск 1 установлен под углом скатывания почвенных примесей к вертикальной и горизонтальной плоскостям. Счесывающие спицы 4 свободно вращаются с помощью шарниров 5 относительно ступицы и кромки решетчатого диска.

Над концами счесывающих спиц 4 диска 1 установлено кольцевое решетчатое резинотехническое ограждение 6.

На сепарирующем диске имеется решетчатый щиток 7, который суживает поток вороха лука и укладывает его в валок, ячейки решетчатого щитка меньше минимального размера корнеклубнеплодов  $d_{\min}$ .

Для предотвращения забивания счесывающих спиц растительными примесями предусмотрен чи-

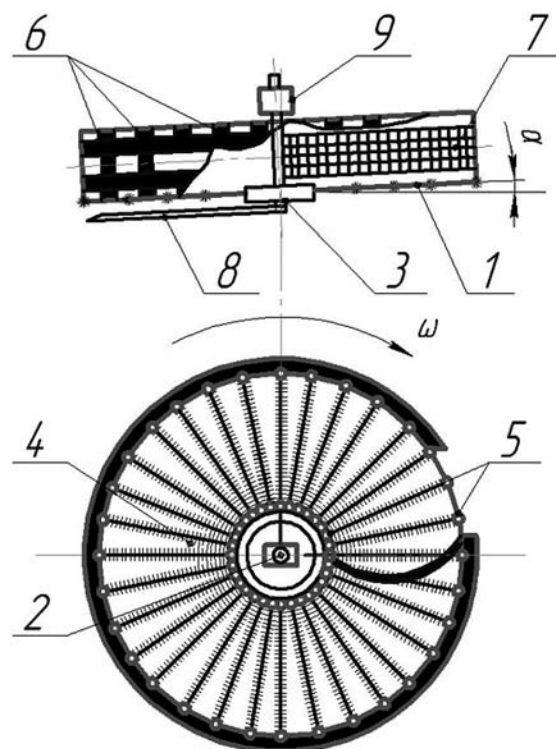


Рис. 1. Очистительная звезда сепарирующей системы комбайна Holmer Terra Dos T3: 1 — диск; 2 — вал вертикальный; 3 — ступица; 4 — спицы счесывающие; 5 — шарнир; 6 — ограждение резинотехническое; 7 — щиток решетчатый; 8 — чистик; 9 — гидронасос.

стик 8. Работа привода сепарирующего органа осуществляется гидронасосом 9.

Сепарирующим диском ворох неочищенных корнеплодов подается транспортером внутрь решетчатого диска на счесывающие спицы. Под действием центробежных сил ворох корнеплодов распределяется по поверхности диска, при этом почвенные примеси скатываются к его кромке. При установке сепарирующего диска под углом скатывания почвенных примесей к вертикальной плоскости и в результате поворота счесывающих спиц 4, относительно шарниров 5, почвенные примеси отделяются от луковиц и проваливаются вниз на поверхность почвы.

Растительные примеси остаются на ворсе счесывающих спиц 4 и при повороте на шарнирах удаляются очистителем. Луковицы транспортируются к зоне отводящего транспортера с помощью решетчатого щитка 7, а почвенные примеси проходят через ячейки и дополнительно сепарируются.

### Работа дискового сепарирующего органа.

Ворох очищаемых корнеплодов подается транспортером сверху на спицы диска через пространство между радиальными спицами ограждения.

Диск вращается и его спицы создают для корнеплодов свеклы центробежные силы, отбрасывающие их к пруткам ограждения, которое благодаря приводу вращается в том же направлении, что и диск, но с другой угловой скоростью, в результате чего корнеплоды распределяются вдоль образующей диска и взаимодействуют одной своей частью

со спицами, другой — с движущимися прутками, что обеспечивает их интенсивные повороты и эффективную очистку от почвы. При этом значительно смягчаются удары корнеплодов о прутки. Достигнув зоны выгрузного транспортера, спицы диска опускаются вниз из-за наклона копира и поворотов кронштейнов с роликами в шаровых шарнирах. Очищенные корнеплоды падают вниз, соскальзывая со спиц диска и прутков ограждения на транспортер, отводятся за пределы устройства. Очиститель криволинейной формы счищает с радиальных спиц нависшие растительные остатки.

По результатам анализа конструкций интенсификаторов сепарации основного элеватора в ФНАЦ ВИМ разработана конструктивно-технологическая схема пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей (патент РФ № 2638190), обеспечивающая уменьшение повреждений и повышение качества сепарируемой продукции, в результате снижения до минимума воздействия вертикальной составляющей силы тяжести корнеклубнеплода.

Сепарирующий элеватор машины для уборки картофеля содержит установленный на раме 1 прутковый элеватор 2, под сторонами 3 и 4 которого установлены ведущие 5, поддерживающие 6 и ведомые 7 ролики, смонтированные на раме 1 (рис. 2).

Под противоположными сторонами 3 и 4 пруткового элеватора 2 находятся встряхиватели 8 со смещением осей вращения в горизонтальной плоскости по длине на величину  $S_s$  и несовпадением фаз подъема и опускания противоположных сторон. При данном расположении встряхивателей 8 на сепарирующем элеваторе обеспечивается режим работы, при котором происходит перемещение вороха клубней картофеля по поверхности пруткового элеватора 2 без подбрасывания. В момент опускания стороны 3 пруткового элеватора 2 происходит подъем противоположной стороны 4 по длине  $S$  пруткового элеватора, противоположные стороны

работают в противофазе. Вероятность повреждения клубней меньше, а качество сепарации лучше, так как время соприкосновения клубня с поверхностью пруткового элеватора будет продолжительнее.

#### Работа сепарирующего элеватора с асимметричным расположением встряхивателей.

Ворох клубней картофеля и различных примесей с подающего транспортера или подкапывающего рабочего органа поступает на прутковый элеватор 2. По мере продвижения вороха, происходит подъем стороны 3 встряхивателем 8. Подъем и дальнейшее перемещение клубненосного вороха достигается в результате приобретения ускорения, сообщаемого встряхивателем 8 прутковому элеватору, которое больше ускорения свободного падения. При подъеме стороны 3 и опускании противоположной стороны 4, ворох клубней картофеля смещается к центру пруткового элеватора под углом  $\alpha_n$  к горизонту.

В момент опускания стороны 3 происходит подъем противоположной стороны 4, что приводит к разрыхлению и деформации почвенного пласта из-за его излома, а также равномерному распределению сепарируемой товарной продукции по всей ширине рабочей поверхности транспортера и улучшению процесса сепарации.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплекс разработанных устройств для очистки корнеплодов входит в сепарирующую систему с тепловой энергией очистки (патент РФ № 2754037), включающую рабочий орган (очистительная звезда/прутковый элеватор), дефлекторы для обдува рабочей поверхности, расположенные по внешнему контуру ограждения с зазором, обеспечивающим регулировку угла их наклона, систему воздухопроводов для подвода к ним отработавших газов от силовой установки.

Показатели качества технологического процесса уборки корнеплодов сахарной свеклы и клубней картофеля должны соответствовать предъявляемым агротехническим требованиям и находиться в интервале значений:

$$Y_{\min} \leq Y_i \leq Y_{\max}, \quad (1)$$

где  $Y_i$  — величина значения  $i$ -го показателя качества работы машины для уборки корнеплодов и картофеля;  $Y_{\min}$ ,  $Y_{\max}$  — минимальное и максимальное значения показателя качества работы машины для уборки корнеплодов и картофеля, не выходящие из агротехнических требований.

Максимальная эффективность уборки корнеплодов достигается при минимальных значениях вероятностного показателя качества выполнения технологических операций и затрат на уборку единицы площади:

$$\begin{cases} x \rightarrow \min, \\ 3 \rightarrow \min, \end{cases} \quad (2)$$

где  $x$  — вероятностный показатель качества выполнения технологических операций при уборке корнеплодов и картофеля, %; 3 — затраты на уборку корнеплодов с единицы площади, руб.

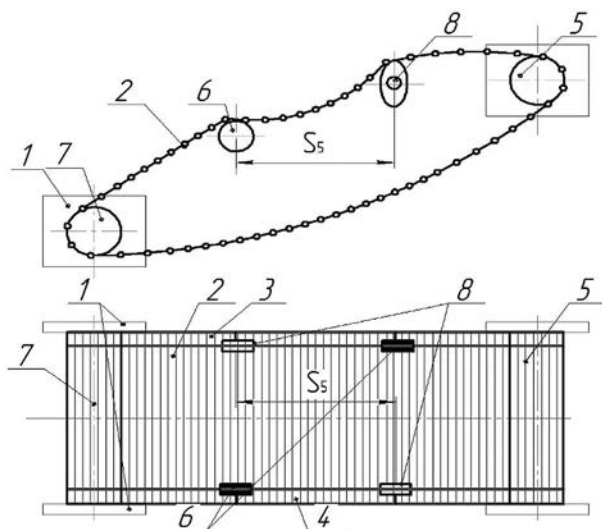


Рис. 2. Схема пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей машины для уборки картофеля: 1 — рама; 2 — элеватор прутковый; 3, 4 — ветви пруткового элеватора; 5 — ролики ведущие; 6 — ролики поддерживающие; 7 — ролики ведомые; 8 — эллиптические встряхиватели.

Вероятностный показатель качества выполнения технологических операций при уборке корнеплодов и картофеля можно минимизировать совершенствованием рабочих органов машин, взаимодействующих с товарной продукцией, совмещением операций и изменением механизма взаимодействия с рабочими органами.

В связи с тем, что при выполнении технологического процесса сепарации снижается влажность почвы, вероятность повышения качества очистки увеличивается согласно аналитической зависимости наступления исследуемого события.

Прогнозируемая  $v_{(ПР)К}$  полнота сепарации корнеплодов и картофеля:

$$v_{(ПР)К} = 1 - (v_{(ПР)Кп} \cdot v_{(ПР)Куп} \cdot v_{(ПР)КуК} \cdot v_{(ПР)КуВ} \cdot v_{(ПР)КуТ}), \quad (3)$$

где  $v_{(ПР)Кп}$  — прогнозируемая полнота сепарации корнеплодов и картофеля на подкапывающем рабочем органе, %;  $v_{(ПР)Куп}$  — прогнозируемая полнота сепарации корнеплодов и картофеля на рабочем органе первичной сепарации, %;  $v_{(ПР)КуК}$  — прогнозируемая полнота сепарации корнеплодов и картофеля на рабочем органе первичной сепарации с интенсификатором сепарации, %;  $v_{(ПР)КуВ}$  — прогнозируемая полнота сепарации корнеплодов и картофеля на рабочем органе вторичной сепарации, %;  $v_{(ПР)КуТ}$  — прогнозируемая полнота сепарации корнеплодов на выгрузном транспортере, %.

Так как интенсификация сепарации выполняется на очистительной звезде с тепловым воздействием на рабочую поверхность отработавших газов, детально рассмотрим член  $v_{(ПР)Куп}$ , представленный в зависимости 3, определяемый отношением массы вороха  $Q_{Вп}$ , поступившего на рабочую поверхность к массе вороха  $Q_{Вр}$  на сходе с рабочей поверхности:

$$v_{(ПР)Куп} = \frac{Q_{Вп}}{Q_{Вр}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $Q_{Вп}$  — масса вороха, поступившего на рабочую поверхность, кг/с;  $Q_{Вр}$  — масса вороха на сходе с рабочей поверхности, кг/с.

Из-за того, что с сепарирующей поверхности очистительного устройства при оптимальной влажности почвы ( $W = 18...22\%$ ) при уборке сходят корнеплоды и картофель, крупные и соизмеримые с товарной продукцией почвенные комки, то получаем массу  $m_{СХэл}$  вороха корнеплодов на сходе с сепарирующего устройства:

$$m_{СХэл1} = (m_2 + m_3 + m_л) \cdot P', \quad (5)$$

где  $m_2$  — комки почвы, соизмеримые по размерам с корнеплодами, кг;  $m_3$  — крупные почвенные комки, кг;  $m_л$  — корнеплоды, кг.

При влажности почвы  $W = 25...27\%$  механические примеси в ворохе товарной продукции представляют собой однородную пластичную массу, поэтому на сходе с очистительного устройства получаем:

$$m_{СХэл1} = (m_{123} + m_л) \cdot P', \quad (6)$$

где  $m_{123}$  — однородная масса почвенных примесей, включающая мелкие почвенные примеси, комки

почвы соизмеримые по размерам с корнеплодами и клубнями, крупные почвенные комки, кг.

$$m_{123} = m_1 + m_2 + m_3. \quad (7)$$

Вероятность  $P'$  исключения просеивания почвенных примесей ( $m_{123}$ ) через щелевые отверстия  $S_л$  сепарирующего устройства определяется выражением:

$$P' = \frac{\pi - 2\eta_2}{\pi} + \frac{2D_{лmin}}{\pi^2 \cdot S_л} (\eta_2 - \eta_1) - \frac{D_{лmin}}{\pi^2 \cdot S_л} (\sin 2\eta_2 - \sin 2\eta_1) - \frac{4}{\pi^2} (\eta_2 - \eta_1), \quad (8)$$

где  $D_{лmin}$  — минимальный диаметр корнеплода и картофеля, м;  $\varphi_п$  — угол между горизонтальной проекцией корнеплода (клубень) и прутками сепарирующего устройства, град.;  $\gamma_п$  — угол между вертикальной проекцией корнеплода (клубень) и прутками сепарирующего устройства, град.

$$\eta_1 = \arcsin \sqrt{\frac{S_л}{D_{лmin}}}. \quad (9)$$

$$\eta_2 = \arcsin \sqrt{\frac{2S_л}{D_{лmin}}}. \quad (10)$$

Масса отсепарированной  $m_С$  почвенной фракции вычисляется так:

$$m_С = m_{Вп} - m_{СХэл}, \quad (11)$$

где  $m_{Вп}$  — масса вороха корнеплодов и картофеля, поступающего с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы, кг.

Из-за повышения влажности почвы выражение (11) представим с учетом коэффициента  $K_С$  изменения ее структуры:

$$K_С = W_1/W_2, \quad (12)$$

где  $W_1$  — оптимальная влажность 18...22%;  $W_2$  — повышенная 25...27%.

$$m_С = K_С \cdot (m_{Вп} - m_{СХэл}), \quad (13)$$

$$m_{Вп} = \frac{Q_{Вп} \cdot t_п}{v_л}. \quad (14)$$

При перемещении массы вороха корнеплодов и картофеля по поверхности сепарирующего устройства (рис. 3) происходит процесс расклинивания крупными частицами промежутков в массе.

В образованных промежутках находятся частицы с меньшими размерами. Ворох корнеплодов и картофеля распределяется по плотности, а в пределах данной плотности — крупности.

На послойное расположение массы влияют факторы: форма и состояние поверхности, толщина вышележащих слоев и режимы работы сепарирующего элеватора.

При перемещении по сепарирующей поверхности проход частицы через щелевое отверстие возможен если:

$$d_n < S_L, \quad (15)$$

где  $d_n$  — диаметр частицы почвы, м.

Полнота сепарации  $v$  вороха корнеплодов и картофеля вычисляется по формуле:

$$v = \frac{v_{\Pi}^I - v_{\Pi}^K}{v_{\Pi}^I} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где  $v_{\Pi}^I$  — масса почвенных примесей в исходном ворохе, кг;  $v_{\Pi}^K$  — масса невыделенных почвенных примесей, кг.

Таким образом, выражение (16) с учетом (13) записывается в виде:

$$v = \frac{v_{\Pi}^I \cdot (1 - m_c)}{v_{\Pi}^I} \cdot 100\%. \quad (17)$$

Повреждения на функционирующем элементе машины для уборки корнеплодов и картофеля определяются по формуле:

$$\Pi = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{ст}} - G_{\text{пов}}} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где  $G_{\text{пов}}$  — масса поврежденных стандартных корнеплодов и клубней картофеля в ворохе, кг;  $G_{\text{ст}}$  — масса всего количества корнеплодов и клубней картофеля в ворохе, кг.

Потери  $P_L$  за функционирующим элементом уборочной машины найдены по формуле:

$$P_L = 100 - \left( \frac{G_{L1}}{G_{L1} + G_{L2}} \right) \cdot 100, \quad (19)$$

где  $G_{L1}$  — масса корнеплодов и картофеля, отобранных в тару перед взаимодействием с рабочим органом, кг;  $G_{L2}$  — масса корнеплодов и картофеля, отобранных в тару после взаимодействия с рабочим органом, кг.

**Выводы.** Разработана математическая модель определения показателей качества энерго-ресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и клубней при повышенной влажности почвы, представленная величиной нахождения полноты сепарации по выражению (13), зависящая от массы  $m_{\text{вп}}$  вороха корнеплодов и картофеля, поступающего с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы, а также коэффициента  $K_c$  изменения структурности влажности почвы.

Следовательно, для качественного выполнения технологического процесса уборки корнеплодов в условиях повышенной влажности почвы необходимы дальнейшие экспериментальные исследования по совершенствованию конструкции и работы сепарирующей системы уборочных машин, в том числе по изучению влияния выхлопных газов двигателя комбайна на качество корнеплодов и клубней, которые будут выполнены при финансировании Российского научного фонда при реализации проекта «Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля с цифровой системой экологической оценки качества товарной продукции» конкурса 2021 года «Проведение фундамен-

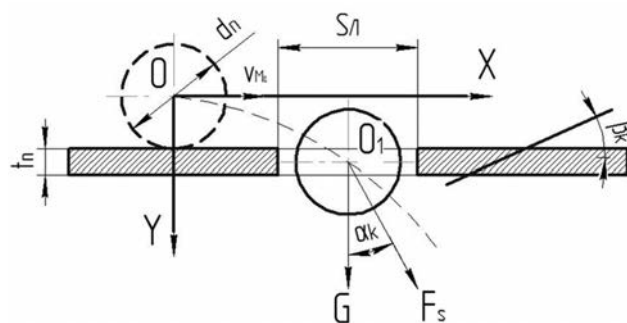


Рис. 3. Схема прохода частицы по сепарирующей поверхности.

тальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».

*Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.*

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бышов Н.В., Сорокин А.А., Успенский И.А. и др. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин: Учеб. пособие. Рязань: Изд-во РГСХА, 2005. 282 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002859051>
2. Дорохов А.С. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. и др. Теоретические предпосылки повышения сепарирующей системы машины для уборки корнеплодов тепловой энергией системы отработавших газов. Вестник Казанского ГАУ. 2021. № 1 (61). С. 71–77. URL: [http://www.vestnik-kazgau.com/stranitsi/vestnik-kazanskogo-gau-1-60-2021\\_ru](http://www.vestnik-kazgau.com/stranitsi/vestnik-kazanskogo-gau-1-60-2021_ru)
3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства — тенденции выставки Agritechnika 2019 // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 28–40. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/66556>
4. Камалетдинов Р.Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование) // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. Т. 1. № 14. С. 186–194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>
5. Костенко М.Ю., Костенко Н.А. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 12. 2009. С. 4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13022951>
6. Краснощеков Н.В. Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 8. С. 5–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>
7. Патент РФ № 2754037 Россия, МПК A01 D33/08. Сепарирующая система с тепловой энергией очистки / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, М.А. и др. — № 2021101220; Заяв. 21.01.2021; Оpubл. 25.08.2021, Бюл. № 24.
8. Протасов А.А. Функциональный подход к созданию лукоуборочной машины // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2011. № 2 (47). С. 37–43. URL: <https://>

cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoy-podhod-k-sozdaniyu-lukouborochnoy-mashiny.

9. Рейнгарт Э.С., Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 10. С. 3–5. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
10. Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин (монография). М.: ВИМ. 2006. 159 с. URL: <http://vniiesh.ru/results/katalog/2342/16135.html>
11. Янгазов Р.У. Повышение качества очистки корнеплодов сахарной свеклы разработкой и обоснованием конструктивных и режимных параметров транспортирующе-очистительного устройства комбайна: спец. 05.20.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пенза: Пензенская ГСХА, 2011. 139 с.
12. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines // Agricultural Engineering. 2019. № 2 (58). С. 63–75. URL: [http://www.inmateh.eu/INMATEH\\_2\\_2019/INMATEH-Agricultural\\_Engineering\\_58\\_2019.pdf](http://www.inmateh.eu/INMATEH_2_2019/INMATEH-Agricultural_Engineering_58_2019.pdf)
13. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Synii S.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters // Agricultural Engineering. 2016. Vol. 49. № 2. pp. 53–60. URL: [http://www.inmateh.eu/INMATEH\\_3\\_2016/50-11-Abstract.pdf](http://www.inmateh.eu/INMATEH_3_2016/50-11-Abstract.pdf)
1. Byshov N.V., Sorokin A.A., Uspenskij I.A. i dr. Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochih organov kartofeleuborochnyh mashin: Ucheb. posobie. Ryazan': Izd-vo RGSKHA, 2005. 282 s. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002859051>
2. Dorohov A.S. Aksenov A.G., Sibiryov A.V. i dr. Teoreticheskie predposylki povysheniya separiruyushchej sistemy mashiny dlya uborki korneplodov teplovoj energiej sistemy otrabotavshih gazov. Vestnik Kazanskogo GAU. 2021. № 1 (61). С. 71–77. URL: [http://www.vestnik-kazgau.com/stranitsi/vestnik-kazanskogo-gau-1-60-2021\\_ru](http://www.vestnik-kazgau.com/stranitsi/vestnik-kazanskogo-gau-1-60-2021_ru)
3. Izmajlov A.Yu., Lobachevskij Ya.P., Dorohov A.S. i dr. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo hozyajstva – tendencii vystavki Agrotechnika 2019 // Traktory i sel'hoz mashiny. 2020. № 6. С. 28–40. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/66556>
4. Kamaletdinov R.R. Ob"ektno-orientirovannoe imitacionnoe modelirovanie v srede teorii informacii (informacionnoe modelirovanie) // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2012. Т. 1. № 14. С. 186–194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>
5. Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. Veroyatnostnaya ocenka separiruyushchej sposobnosti elevatora kartofeleuborochnoy mashiny // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva. № 12. 2009. С. 4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13022951>
6. Krasnoshchekov N.V. Agroinzhenernaya strategiya: ot mekhanizatsii sel'skogo hozyajstva k ego intellektualizatsii // Traktory i sel'hoz mashiny. 2010. № 8. С. 5–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>
7. Patent RF № 2754037 Rossiya, MPK A01 D33/08. Separiruyushchaya sistema s teplovoj energiej ochistki / A.S. Dorohov, A.V. Sibiryov, A.G. Aksenov, M.A. i dr. – № 2021101220; Zayav. 21.01.2021; Opubl. 25.08.2021, Byul. № 24.
8. Protasov A.A. Funkcional'noj podhod k sozdaniyu lukouborochnoy mashiny // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina. 2011. № 2 (47). С. 37–43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoy-podhod-k-sozdaniyu-lukouborochnoy-mashiny>
9. Rejngart E.S., Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Unificirovannye kartofeleuborochnye mashiny novogo pokoleniya // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. 2006. № 10. С. 3–5. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
10. Sorokin A.A. Teoriya i raschet kartofeleuborochnyh mashin (monografiya). М.: ВИМ. 2006. 159 с. URL: <http://vniiesh.ru/results/katalog/2342/16135.html>
11. Yangazov R.U. Povyshenie kachestva ochistki korneplodov saharnoj svekly razrabotkoj i obosnovaniem konstruktivnyh i rezhimnyh parametrov transportiruyushche-ochistitel'nogo ustrojstva kombajna: spec. 05.20.01: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Penza: Penzenskaya GSKHA, 2011. 139 s.
12. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines // Agricultural Engineering. 2019. № 2 (58). С. 63–75. URL: [http://www.inmateh.eu/INMATEH\\_2\\_2019/INMATEH-Agricultural\\_Engineering\\_58\\_2019.pdf](http://www.inmateh.eu/INMATEH_2_2019/INMATEH-Agricultural_Engineering_58_2019.pdf)
13. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Synii S.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters // Agricultural Engineering. 2016. Vol. 49. № 2. pp. 53–60. URL: [http://www.inmateh.eu/INMATEH\\_3\\_2016/50-11-Abstract.pdf](http://www.inmateh.eu/INMATEH_3_2016/50-11-Abstract.pdf)

## REFERENCES

Поступила в редакцию 07.12.2022

Принята к публикации 21.12.2022