

*На правах рукописи*



**ГАДЖИЕВ ИМРАН ПАРВИЗОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА  
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

Специальность: 4.3.1. - Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань-2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

**Научный  
руководитель:  
Официальные  
оппоненты:**

доктор технических наук, профессор

**Шемякин Александр Владимирович**

**Калимуллин Марат Назипович,**

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Казанский государственный аграрный  
университет», профессор кафедры «Эксплуатация и  
ремонт машин»

**Жбанов Никита Сергеевич,** кандидат технических  
наук, ГАУК «Рязанская областная филармония»,  
артист РГАРНХ им. Е. Попова

**Ведущая  
организация:**

Федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Федеральный исследовательский центр  
картофеля им. А.Г. Лорха»

Защита диссертации состоится «05» июля 2023 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Юхин Иван Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современном производстве сельскохозяйственных культур картофелеводство является одной из наиболее значимых отраслей развития сельского хозяйства. Возделывание картофеля требует значительных энерго- и трудозатрат. Только на уборку клубней приходится 60-70% всех трудозатрат производства картофеля.

Трудность работы сепарирующих органов заключается в том, что в поступающей массе содержание клубней составляет не более 2...3%. Качество сепарации почвенно-клубненоносной массы во многом зависит от физико-механических свойств почвы. При повышенной влажности почвы эффективность отделения почвенных примесей является недостаточной. Для повышения сепарации почвы необходимо внедрение усовершенствованного сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины с интенсификатором в виде прижимного транспортера, который расположен внутри первого элеватора под полотном. Этот транспортер обеспечен лопастями, которые расположены под некоторым углом и движение транспортера направлено в противоположную сторону движения самого элеватора.

**Степень разработанности темы.** Основные положения по применению интенсификаторов в сепарирующем элеваторе и исследования процессов сепарации почвы изложены в известных трудах А.Г. Аксенов, Н. Г. Байбобоев, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, П.И. Гаджиев, А.А. Голиков, А.С. Дорохов, А.Ю. Измайлов, М.Н. Калимуллин, М.Ю. Костенко, К.З. Кухмазов, В.Ф. Купряшкин, Я.П. Лобачевский, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.В. Сибирёв, В.И. Славкин, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, М.Н. Чаткин, А.В. Шемякин, И.А. Юхин и других авторов.

Диссертация выполнена в соответствии с «Основными направлениями НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы», тема 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (№ гос.рег. 122020200038-8), раздел 1.3 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе».

**Цель исследования** – повышение эффективности уборки картофеля на переувлажненных почвах путем обоснования параметров сепарирующего

элеватора с интенсификатором.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных машин и выбрать направление дальнейшего исследования.

2. Теоретически исследовать взаимодействие лопастного интенсификатора сепарирующего устройства с клубненосной массой на переувлажненных почвах.

3. Экспериментально исследовать влияние интенсификатора на сепарирующую способность картофелеуборочной машины.

4. Оценка экономического эффекта модернизированного картофелеуборочного комбайна с лопастным транспортером.

**Объект исследования** –лопастной транспортер сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна.

**Предмет исследования** – закономерности влияния лопастного транспортера на работу сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна.

**Научную новизну работы** составляют:

– математическая модель отделения клубней от примесей клубненосного пласта на прутковом элеваторе;

– математическая модель выталкивания клубней из зазора между прутками сепарирующего элеватора лопастями интенсификатора сепарации;

– обоснование параметров интенсификатора сепарации;

– оценка мощности внешних сил, действующих на лопастной транспортер.

**Теоретическая значимость** заключается в теоретическом обосновании параметров интенсификатора сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин.

**Практическую ценность** работы составляет конструкция сепарирующего устройства картофелеуборочной машины с интенсификатором в виде лопастного транспортера.

**Методология и методы исследования.** Основой диссертационного исследования является моделирование изучаемого процесса отделения клубней от примесей клубненосного пласта на прутковом элеваторе картофелеуборочной машины. Анализ полученных результатов проводился с использованием прикладных программ Mathcad 15, Microsoft Excel. Для проведения экспериментальных исследований использовались стандартные, и

разработанные на их основе частные методики. При экспериментальных исследованиях использовалось поверенное и сертифицированное оборудование. Обработку результатов производили с помощью прикладной программы Statistica 10.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретические зависимости отделения клубней от примесей в клубненосном пласте на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 за счет интенсификатора сепарации почвы;
- экспериментальные зависимости повреждений клубней, полноты сепарации клубненосного вороха от параметров лопастного транспортера при сепарации почвы в работе картофелеуборочного комбайна в полевых условиях;
- оценка экономического эффекта применения сепарирующего элеватора с интенсификатором в картофелеуборочном комбайне.

**Достоверность результатов исследования.**

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с современными методиками на сертифицированных приборах и установках. Выводы, полученные в результате исследований, показали сходимость теоретических и экспериментальных результатов 95%. Результаты исследований, опубликованные в независимых источниках, согласуются с данными полученными другими учеными, и прошли апробацию в печати, на всероссийских и международных научно-практических конференциях.

**Реализация результатов исследования.** Результаты исследований получены при испытаниях в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», п. Камыши, Курский район, Курская область.

**Вклад автора в решении поставленных задач** состоит в разработке и формулировании цели работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров лопастного транспортера. При этом автору принадлежит участие в постановке задач исследования, не посредственное проведение теоретических исследований и экспериментов картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором сепарирующего элеватора, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на следующих всероссийских и международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО РГАТУ: I-я Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты

и технологии», посвященная памяти д.т.н., профессора, Николая Владимировича Бышова (Рязань, 23 ноября 2021 г.); ФГБОУ ВО РГАЗУ: Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации» (Балашиха, 19 мая 2022), ФГБОУ ВО РГАТУ: Международная научно-техническая конференция «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов», посвященная памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина (Рязань, 24 мая 2022 г.), Республика Узбекистан: Международная научно-техническая конференция «Инновационные решения создания высокоэффективных сельскохозяйственных машин и повышения эффективности использования технических средств» (г. Гулбахор, 27 мая 2022 год), был награжден Золотой медалью на XXIV Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая Осень – 2022».

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, получен 1 патент на изобретение РФ. Объем публикаций составляет 5,22 усл. п.л., из которых 1,59 усл. п.л. принадлежит лично соискателю.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 137 наименований и приложений. Работа изложена на 130 страницах, содержит 46 рисунков, 13 таблиц и 6 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований. Отражены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Современное состояние вопроса и задачи исследований»** на основании проведенного обзора сформулированы задачи исследования, рассмотрены основные факторы развития конструкции картофелеуборочных машин работоспособных в сложных почвенно-климатических условиях, а также влияние физико-механических свойств почвы на качество сепарации при работе картофелеуборочных комбайнов на переувлажненных почвах. Проведенные анализы работ многих ученых показали, что до настоящего времени остается недостаточно изученным влияние интенсификатора сепарирующего элеватора на процесс сепарации

почвы в условиях переувлажненных почв. Кроме того, применяемые современные конструкции интенсификаторов в зависимости от места расположения в комбайне влияли на повышение сепарации клубненосного вороха и снижение повреждений клубней. Отсюда вывод, о том, что необходимо продолжить исследования работы интенсификаторов сепарирующего элеватора для повышения эффективности уборки картофеля на переувлажненных почвах, является актуальным.

**Во второй главе «Теоретическое исследование лопастного интенсификатора сепарации основного элеватора картофелеуборочного комбайна на переувлажненных почвах»** на основании теоретических исследований была разработана математическая зависимость отделения примесей от картофеля на элеваторе, определены параметры интенсификатора. Рассмотрены условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов. Определен баланс мощности сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора.

Для решения поставленной задачи введем следующие обозначения (рисунок 1):  $Oxy$  – прямоугольная декартова система координат, жестко связанная с комбайном, в плоскости, перпендикулярной рабочему полотну элеватора с центром  $O$  на оси ведомого зубчатого колеса или шкива, осью  $Ox$ , параллельной скорости точки полотна относительно комбайна, и перпендикулярной осью  $Oy$ ;  $L$  – расстояние между осями ведущего и ведомого зубчатых колес пруткового элеватора (длина верхней ветви полотна элеватора без учета прогиба), м;  $x$  – координата точки полотна на верхней ветви полотна элеватора по оси  $Ox$  и точки сечения пласта, перпендикулярного оси  $Ox$  ( $0 \leq x \leq L$ ), м;  $Q$  – подача клубненосного пласта, подрезанного лемехом без учета ботвы, кг/с;  $Q_0$  – подача клубней за исключением мелкой фракции, относящейся к примесям, кг/с;  $Q_1$  – подача примесей, которые не разрушены и не могут пройти в зазор между прутками элеватора (зависит от  $x$ ), кг/с;  $Q_2$  – подача примесей, которые разрушены и могут пройти в зазор между прутками элеватора (зависит от  $x$ ), кг/с;  $Q_3$  – подача примесей, частицы которых отсепарированы на участке полотна перед данным сечением (зависит от  $x$ ), кг/с;

Рассмотрим установившийся режим работы картофелеуборочного комбайна. В таком режиме работы переменные  $Q$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  не зависят от времени. При этом подача  $Q$  клубненосного почвенного пласта, подрезанного лемехом, не изменяется, а переменные  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  зависят от  $x$ .

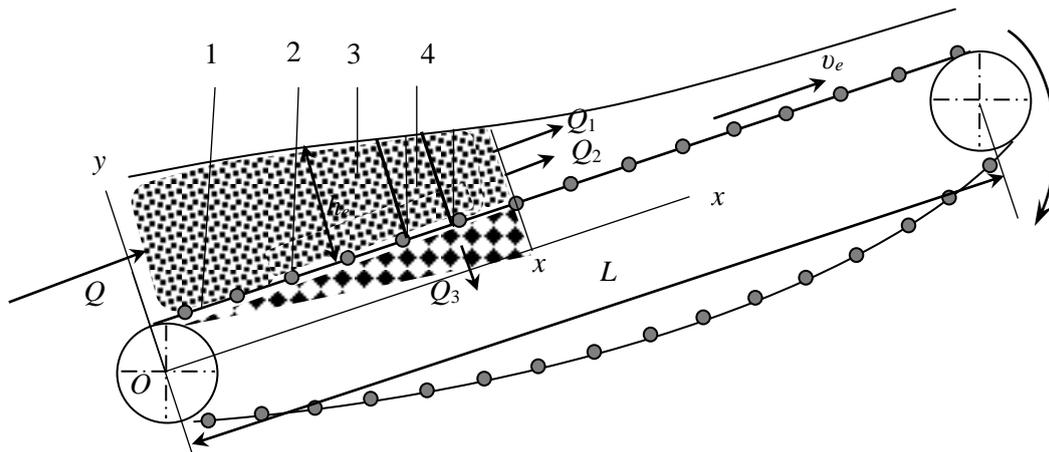


Рисунок 1– Основной прутковый элеватор: 1 – полотно основного элеватора; 2 – пруток основного элеватора; 3 – пласт на участке полотна длиной  $x$  от начала полотна; 4 – пласт на участке полотна между соседними прутками

По определению,

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q - Q_0. \quad (1)$$

Будем полагать, что чем больше подача через данное сечение не разрушенных примесей, которые не могут пройти в зазоры между прутками элеватора, тем больше быстрота уменьшения подачи не разрушенных примесей с линейной связью между ними, то есть

$$\frac{dQ_1}{dx} = -k_1 Q_1, \quad (2)$$

где  $k_1$  – постоянный коэффициент, 1/м.

Аналогично будем полагать, что, чем больше подача через данное сечение разрушенных примесей, которые могут пройти в зазоры между прутками элеватора, тем больше быстрота увеличения отсепарированных примесей на участке от начала элеватора до данного сечения с линейной связью между ними. Математическую запись этого предположения представим в следующем виде:

$$\frac{dQ_3}{dx} = k_2 Q_2, \quad (3)$$

где  $k_2$  – постоянный коэффициент, 1/м.

Решение дифференциального уравнения (2) с данным выше условием запишем так:

$$Q_1 = (Q - Q_0)e^{-k_1 x}. \quad (4)$$

Решение последнего уравнения с нулевым условием можно записать так:

$$Q_3 = Q - Q_0 + \frac{Q - Q_0}{k_2 - k_1} [k_1 e^{-k_2 x} - k_2 e^{-k_1 x}]. \quad (5)$$

Равенство (5) запишем в таком виде:

$$Q_3 = \varepsilon(Q - Q_0),$$

где

$$\varepsilon = 1 - (k_1 e^{-k_2 x} - k_2 e^{-k_1 x}) / (k_1 - k_2). \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что в рамках математической зависимости полнота сепарации 100% достигается на элеваторе бесконечной длины. Полнота отделения примесей  $\varepsilon$  на участке элеватора зависит от длины участка и двух коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ .

Формула позволяет определить коэффициенты  $k_1, k_2$  по заданной полноте отделения примесей, а также рассчитать длину полотна элеватора при известных коэффициентах  $k_1, k_2$ . Уравнения для определения коэффициентов  $k_1, k_2$  по результатам эксперимента, в котором установлены полнота сепарации почвы  $\varepsilon_1$  на участке элеватора длины  $l_1$  и полнота сепарации почвы  $\varepsilon_2$  на участке элеватора длины  $l_2$ , запишем так:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = 1 - (k_1 e^{-k_2 l_1} - k_2 e^{-k_1 l_1}) / (k_1 - k_2) \\ \varepsilon_2 = 1 - (k_1 e^{-k_2 l_2} - k_2 e^{-k_1 l_2}) / (k_1 - k_2). \end{cases} \quad (7)$$

При заданной доле 50% на участке длиной 600 мм и 75% на участке длиной 1000 мм из уравнений (7) численным методом Ньютона определены неизвестные коэффициенты, имеющие значения  $k_1 = 4,83 \text{ м}^{-1}, k_2 = 1,85 \text{ м}^{-1}$ .

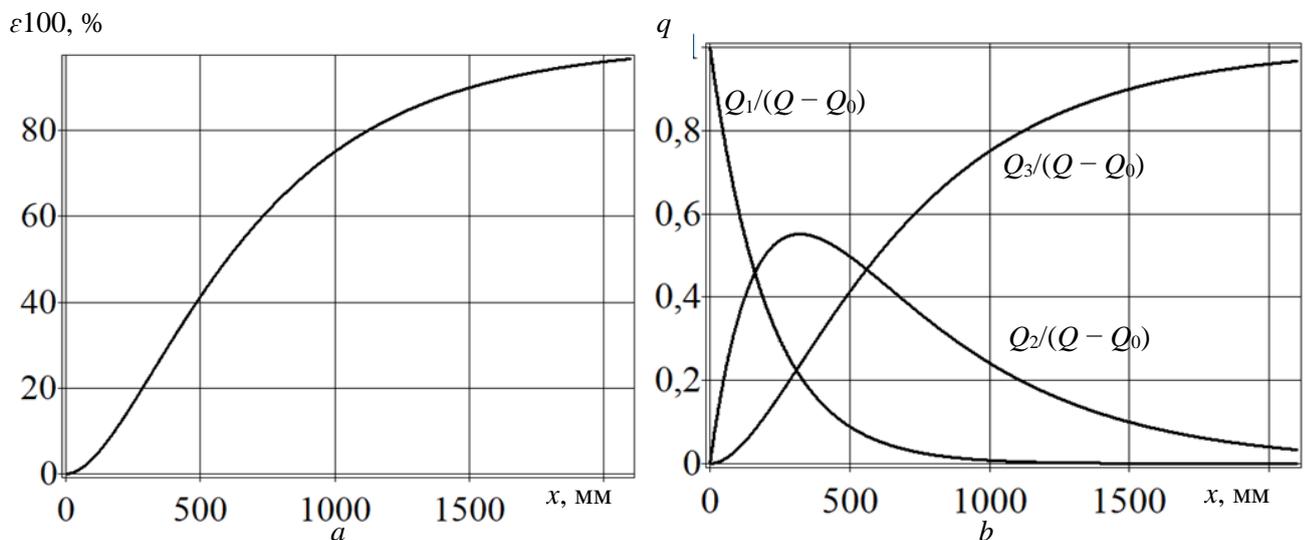


Рисунок 2 – Зависимость доли  $\varepsilon$  отделившихся примесей на участке полотна элеватора (а) и относительной подачи  $q$  примесей (б) от длины  $x$  участка при  $k_1 = 4,83 \text{ м}^{-1}; k_2 = 1,85 \text{ м}^{-1}$

Расчеты по формуле (6) показали, что полнота сепарации 90% достигается на данном элеваторе при увеличении его длины до 1800 мм и более (рисунок 2, а).

При этом на полотне остаются только те примеси, которые могут пройти в зазоры между прутками (рисунок 2, *b*).

Для исследования положения клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием его лопастью и в момент окончания выталкивания на рисунке 2 введены следующие обозначения:

$O_1x_1y_1$  – система декартовых координат, связанная с прутком рабочей ветви полотна элеватора, горизонтальной осью  $O_1x_1$  и вертикальной осью  $O_1y_1$ , направленной вверх;

$O_3x_2y_2$  – система декартовых координат, жестко связанная с лопастью интенсификатора (началом  $O_3$  на ленте транспортера), осью  $O_3x_2$ , направленной вдоль ленты, и перпендикулярной ей осью  $O_3y_2$ , проходящей через центр прутка в начальный момент движения клубня или комка в виде шара по прутку через зазор между прутками;

$\Delta$  – перемещение центра масс  $O_2$  клубня, выталкиваемого из зазора между прутками, относительно полотна элеватора в направлении, перпендикулярном полотну, м;

$A$  – ширина зазора между прутком и клубнем, выталкиваемым из зазора между прутками, м;

$s$  – расстояние (ширина зазора) между соседними прутками верхней ветви элеватора, м;

$D, R$  – диаметр и радиус клубня со сферической поверхностью, м;

$d, r$  – диаметр и радиус цилиндрического прутка, м.

Полагаем, что клубень или комок пласта, закрывший зазор между соседними прутками, можно рассматривать как тело, имеющее сферическую поверхность.

Смещение  $\Delta$  клубня в зазоре между прутками зависит от диаметра клубня. Зависимость можно найти из геометрических соотношений (рисунок 3):

$$\Delta = (D - d - \sqrt{D^2 + 2d(D - s) - s^2}) / 2. \quad (8)$$

С учетом формулы (8) ограничения на диаметр клубня, обеспечивающие выталкивание его из зазора между прутками, можно представить в виде:

$$s < D < (d + s)^2 / (4d). \quad (9)$$

Клубни, соответствующие ограничениям по диаметру (формула 9), попадают в зазор между прутками и соударяются с лопастями интенсификатора (таблица 1). Клубни, с диаметром, превышающим эти ограничения, не будут подвергаться воздействию со стороны прижимного транспортера.

Таблица 1 - Максимальный диаметр сферического клубня, выталкиваемого из зазора при разных диаметрах прутка и неизменной ширине зазора 30 мм

Диаметр прутков, мм	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр клубня, мм	61	54	49	45	42	40	38

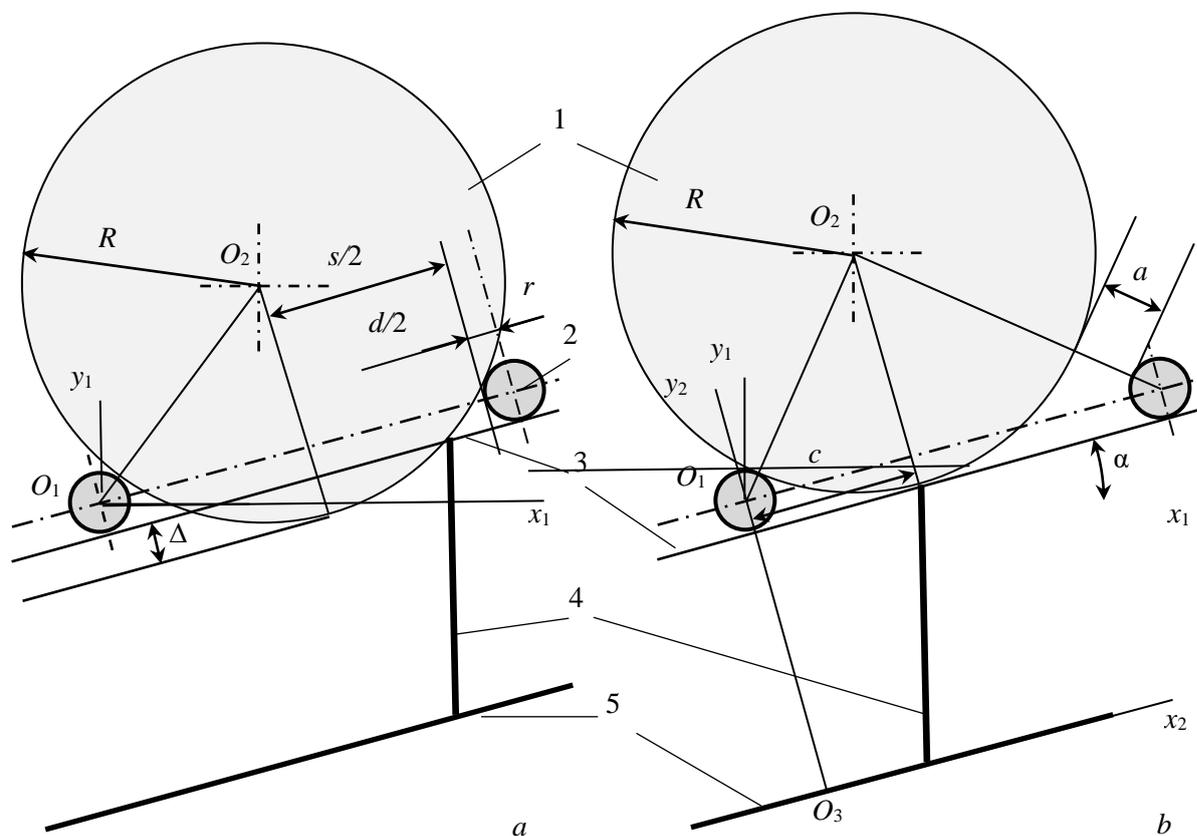


Рисунок 3 – Положение клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием лопастью (а) и в момент окончания выталкивания (b): 1 – клубень; 2 – пруток основного элеватора; 3 – плоскость, ограничивающая пространство точек лопасти; 4 – лопасть-толкатель; 5 – лента транспортера

Зазор  $a$  между прутком и шарообразным телом, выталкиваемым из зазора между прутками, можно найти из геометрических соотношений (рисунок 3b)

$$a = [(R - r)^2 + (s + d - c)^2]^{1/2} - R - r,$$

где

$$c = [(R + r)^2 - (R - r)^2]^{1/2} = (4Rr)^{1/2} = (Dd)^{1/2}.$$

Максимальный зазор  $a$  достигается при выталкивании из зазора между прутками тела с минимальным диаметром, равным расстоянию между прутками:

$$a = [(s/2 - r)^2 + (s + d - c)^2]^{1/2} - s/2 - r, \quad (10)$$

где  $c = (sd)^{1/2}$ .

Примем также, что эффективная работа интенсификатора сепарации выполняется при следующих условиях:

- 1) мелкие клубни и примеси, прошедшие через зазоры между прутками, имеют размеры, не превышающие ширину зазора между прутками;
- 2) во избежание трения с прутками клубней и примесей, прошедших через зазоры между прутками, расстояние между лентой транспортера интенсификатора и прутками превышает размеры мелких клубней и примесей;
- 3) лопасти интенсификатора не препятствуют выходу мелких клубней и комков через зазоры между прутками элеватора.

Введем дополнительно следующие обозначения (рисунок 4):

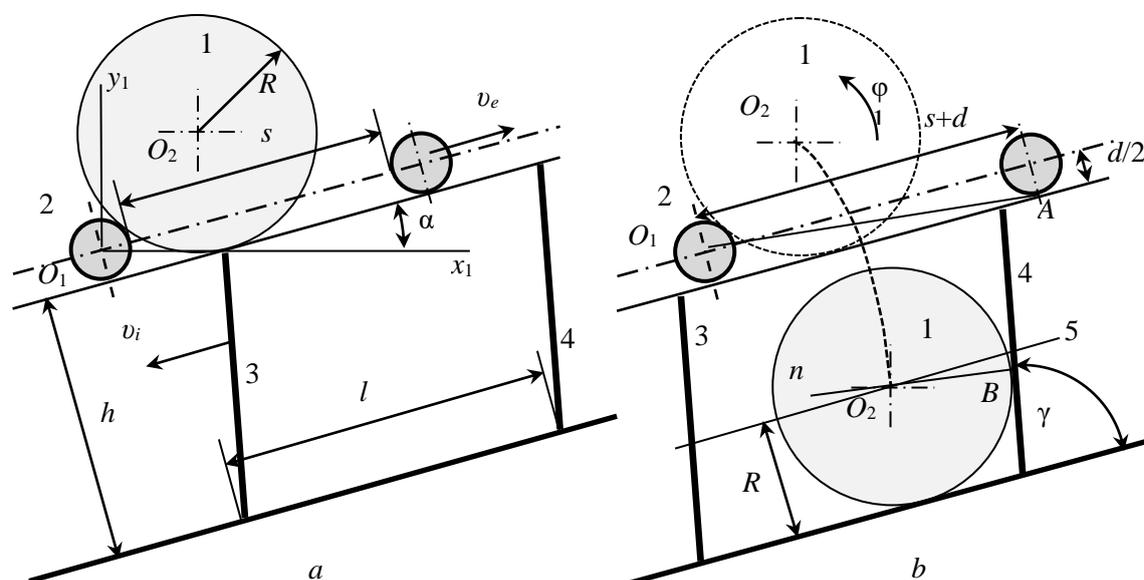


Рисунок 4 – Положение клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием лопастью (а) и в момент окончания выталкивания (б): 1 – клубень; 2 – пруток; 3 – передняя лопасть; 4 – задняя лопасть; 5 – прямая, параллельная ленте транспортера интенсификатора на расстоянии  $R$  от нее

$h$  – расстояние между прутком и лентой транспортера интенсификатора сепарации, м;  $l$  – шаг лопастей, м;  $\gamma$  – угол, образуемый прямой линией лопасти интенсификатора к линии полотна элеватора в плоскости, перпендикулярной осям прутков, °;  $\Delta t$  – время падения тела в виде шара с полотна элеватора на ленту транспортера интенсификатора сепарации, с;  $v_e, v_i$  – величина скорости соответственно прутка и лопасти при поступательном движении относительно комбайна, м/с.

Из предположений 1, 2 (с. 12) следует, что расстояние между прутком и

лентой транспортера интенсификатора не может быть меньше ширины зазора между прутками  $s$ . Таким образом, формула для определения минимального расстояния между прутком и лентой транспортера интенсификатора имеет такой вид:

$$h = s. \quad (11)$$

В соответствии с предположением 3 (с.12) угол  $\gamma$  наклона прямой лопасти к плоскости полотна целесообразно назначать таким, чтобы избежать заклинивания клубня (с центром  $O_2$ ) между прутком (с центром  $O_1$ ) и лопастью, при котором нормаль  $Vn$  к лопасти, касающаяся окружности клубня в точке  $B$ , пересекает центр  $O_1$  прутка (рисунок 4b). Данное условие соблюдается, если лопасть перпендикулярна, а нормаль  $Vn$  параллельна отрезку  $O_1A$ , то есть справедливо неравенство

$$\gamma \geq \arctan[(s + d)/r]. \quad (12)$$

Расчеты по формуле (10) показали, что при расстоянии между прутками 30 мм и диаметре прутков 11 мм зазор между прутком и выталкиваемым клубнем не превышает 5 мм (рисунок 5a).

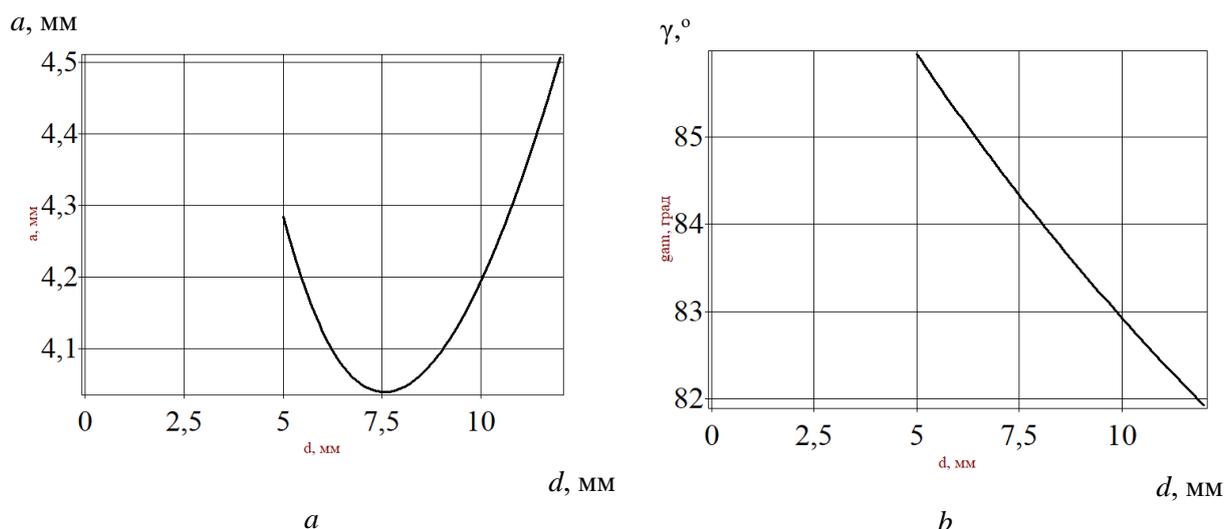


Рисунок 5 – Максимальный зазор ( $a$ , мм) между шарообразным клубнем и прутком (а) и минимальный угол ( $\gamma$ , °) наклона лопасти к ленте транспортера (b) в зависимости от диаметра ( $d$ , мм) прутка

Исходя из условия повышения полноты сепарации почвы и исключения повреждений клубней картофеля теоретическими исследованиями установлены следующие параметры интенсификатора: скорость транспортера интенсификатора колеблется от 0,8 м/с до 1,4 м/с, скорость прутка элеватора от 1,0 м/с до 1,8 м/с. Скорость соударения клубней картофеля с лопастями, при которой клубни не будут получать повреждения, должна быть менее 2,2 м/с. Шаг лопастей 210 мм.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований интенсификатора сепарирующего элеватора на переувлажненных почвах» рассмотрена программа экспериментальных и методика полевых исследований. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 28713- 2018 «Машины для уборки картофеля», ГОСТ24055-2016 «Методы эксплуатационно-технологической оценки» и другими нормативными документами.

Исследуемый сепарирующий элеватор с интенсификатором, показан на рисунке 6. Он смонтирован на картофелеуборочном комбайне КПК-2-01.

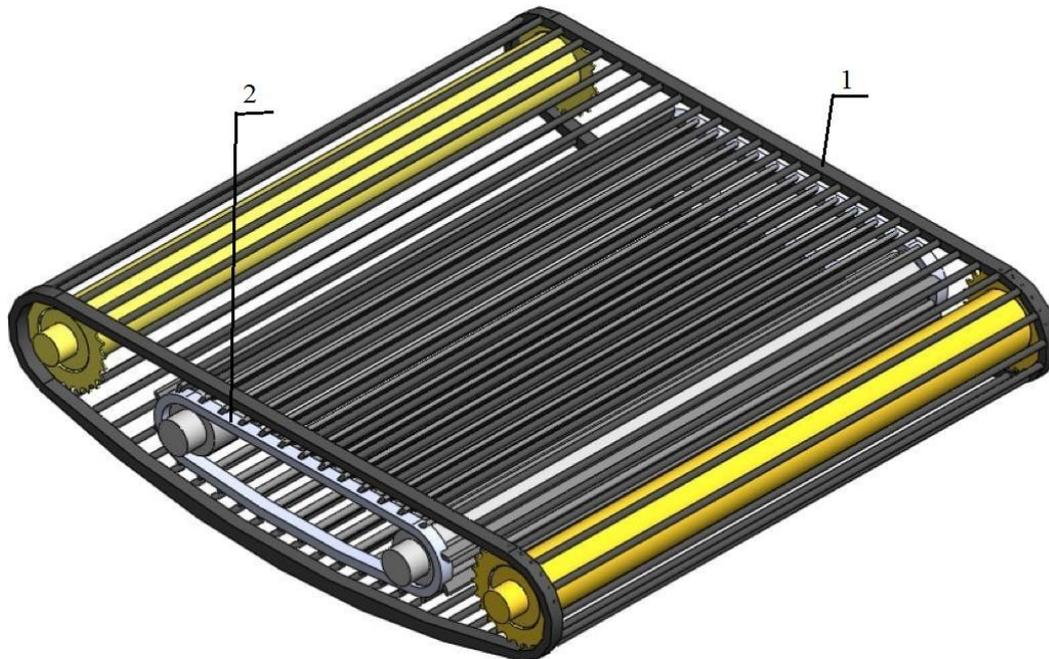


Рисунок 6– Сепарирующий элеватор картофелеуборочной машины (Патент на изобретение № 2785297)

1 – сепарирующий элеватор, 2 – интенсификатор с лопастями

С целью изучения влияния факторов, определяющих полноту сепарации почвы при уборке картофеля, с применением интенсификатора был проведен полнофакторный эксперимент. В ходе экспериментов варьировались расстояние от ленты транспортера до прутков  $x_1(r)$ , угол наклона лопасти  $x_2(\alpha)$  и шаг установки лопастей  $x_3(m)$ . Во всех случаях влажность почвы составляла в среднем 26,3%.

По полученным экспериментальным данным составлено уравнение регрессии (13), определяющее полноту сепарации клубненосного вороха.

$$Y=90,875-0,115 \cdot x_1+0,682 \cdot x_2-0,31 \cdot x_3+1,564 \cdot x_1^2-1,747 \cdot x_2^2-0,901 \cdot x_3^2-1,059 \cdot x_1 \cdot x_2-1,054 \cdot x_1 \cdot x_3+0,491 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (13)$$

Примем в качестве постоянного фактора  $x_1=0$  ( $r=0,03$ ), тогда уравнение регрессии (13) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=90,875 +0,682 \cdot x_2 -0,31 \cdot x_3 - 1,747 \cdot x_2^2 - 0,901 \cdot x_3^2 +0,491 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (14)$$

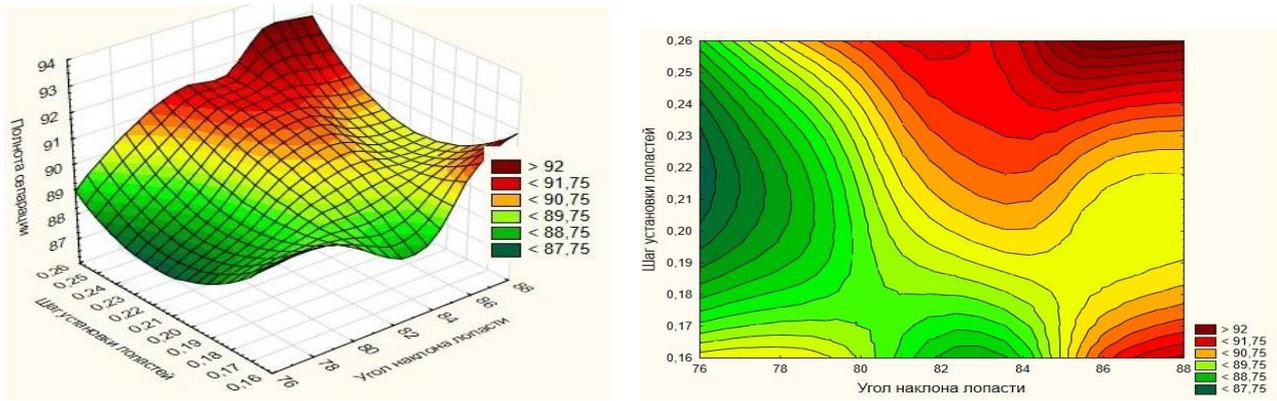


Рисунок 7– Зависимость полноты сепарации почвы от  $\alpha(x_2)$  и  $m(x_3)$ , при расстоянии от ленты транспортера до прутка  $r=0,03$  м

Примем в качестве постоянного фактора  $x_2=0$  ( $\alpha=82^\circ$ ), тогда уравнение регрессии (13) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=90,875 -0,115 \cdot x_1 -0,31 \cdot x_3 + 1,564 \cdot x_1^2 - 0,901 \cdot x_3^2 - 1,054 \cdot x_1 \cdot x_3 \quad (15)$$

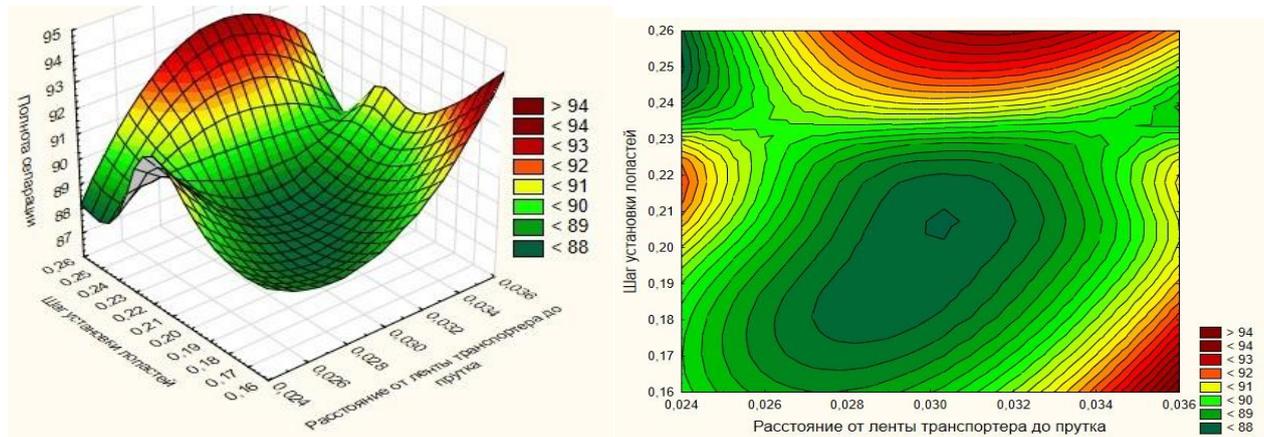


Рисунок 8– Зависимость полноты сепарации от расстояния от  $r(x_1)$  и  $m(x_3)$ , при угле наклона лопасти  $\alpha=82^\circ$

Примем в качестве постоянного фактора  $x_3=0$  ( $m=0,21$  м), тогда уравнение регрессии (13) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=90,875 -0,115 \cdot x_1 +0,682 \cdot x_2 + 1,564 \cdot x_1^2 - 1,747 \cdot x_2^2 -1,059 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (16)$$

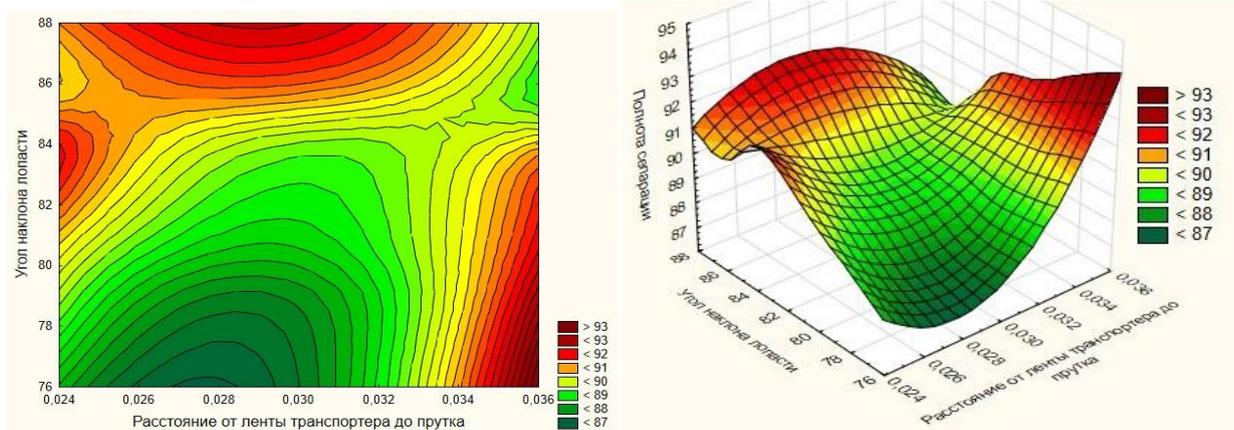


Рисунок 9 – Зависимость полноты сепарации от  $r(x_1)$  и  $\alpha(x_2)$  при шаге

установки лопастей  $m=0,21$  м

Из анализа графиков отклика (рисунки 7-9) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет  $Y_{opt}=90,93\%$  и обеспечивается при расстоянии от ленты транспортера до прутка  $r=0,03$  м, величине угла наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha=82^\circ$ , шаге установки лопастей  $m=0,21$  м.

Таким же образом были изучены повреждения клубней в зависимости от следующих факторов: расстояние от ленты транспортера интенсификатора до прутка  $r(x_1)$ , угол наклона лопасти к плоскости ленты  $\alpha(x_2)$  и шаг установки лопастей  $m(x_3)$ . Результатом чего получено уравнение регрессии (17) определяющие повреждения клубней.

$$Y=3,059 + 0,044 \cdot x_1 + 0,026 \cdot x_2 - 0,096 \cdot x_3 - 0,034 \cdot x_1^2 - 0,021 \cdot x_2^2 - 0,069 \cdot x_3^2 + 0,034 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,036 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,032 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (17)$$

**В четвертой главе «Полевые исследования картофелеуборочного комбайна с интенсификатором сепарирующего элеватора»** рассмотрена программа, методика полевых исследований и их результаты.

Исследования проводились в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», Курская область, Курский район, п. Камыши.

Критериями оценки при испытании были следующие параметры: полнота сепарации почвы, повреждения и потери урожая при уборке картофеля.

Так же учитывались эксплуатационные показатели комбайна КПК-2-01.

Характеристика фона, где проводились испытания приведены в таблице

2.

Таблица 2 – Характеристика фона места испытания

№	Наименование показателей	Значение показателей
1	2	3
1	Время испытаний	Октябрь 2022г.
2	Сорт картофеля	Винета
3	Биологическая урожайность клубней, т/га	45
4	Состояние ботвы	Полуподсохшая, убранная
5	Высота гребня, см	17,5
6	Глубина посадки клубня, мм	80
7	Ширина междурядья, см	70
8	Микрорельеф	Слабо выраженный
9	Тип почвы	Выщелоченный чернозем
10	Максимальная глубина залегания клубня, см	17,5
11	Рельеф	ровный

1	2	3
12	Влажность почвы по слоям (см), %: 0-10 10-20 20-30	20,1 24,5 26,3
13	Твердость почвы по слоям (см), МПа: 0-10 10-20 20-30	0,52 0,97 1,12



а

б

Рисунок 10 – Модернизированный картофелеуборочный комбайн КПК-2-01 в работе (а) и чистота клубней картофеля в бункере (б)

Результаты хозяйственных испытаний сравниваемых картофелеуборочных комбайнов по полноте сепарации показано в таблице 3.

Таблица 3 - Агротехнические показатели работы комбайна КПК-2-01

Показатели	КПК-2-01	КПК-2-01 модернизированный
1	2	3
Скорость комбайна, м/с	0,84	0,86
Глубина хода подкапывающих рабочих органов, м	0,19	
Просеяна почва с элеватора, кг	166,1	202,9
Фракционный состав почвы, сходящей с элеватора, % в том числе:		
до 25 мм (по толщине)	43,2	58,0
25-50 мм	27,3	37,2
50-100 мм	24,2	3,5
свыше 100 мм	5,3	1,3

1	2	3
Сход с элеватора всего, кг:	87,2	45,8
в том числе:		
почва	82,85	41,33
клубни	3,15	3,37
растительные остатки	1,2	1,1
Полнота сепарации почвы, %	85,2	93,5
Повреждения клубней, %	4,5	2,8

Результаты хозяйственных испытаний усовершенствованного картофелеуборочного комбайна подтвердили результаты ранее проведенных теоретических исследований.

**В пятой главе «Технико-экономическая оценка применения сепарирующего элеватора с лопастным интенсификатором картофелеуборочного комбайна»** проведены технико-экономические исследования и оценка экономического эффекта от внедрения сепарирующего элеватора с лопастным транспортером картофелеуборочного комбайна на переувлажненных почвах. За исходные данные исследования усовершенствованной уборочной машины приняты агротехнические требования и показатели производительности картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, а также нормативно-справочные материалы.

Общий экономический эффект, достигнутый путем внедрения усовершенствованного картофелеуборочного комбайна, который оснащен интенсификатором сепарирующего элеватора в виде лопастного транспортера, составил 17148,0 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

### **Заключение**

1. Анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных комбайнов и роли интенсификаторов в сепарирующем элеваторе показал, что интенсификатор, выполненный в виде лопастного транспортера и установленный под рабочей поверхностью пруткового элеватора, расширит применение картофелеуборочных комбайнов на переувлажненных почвах и позволит повысить полноту сепарации почвы до 95%.

2. Теоретическим исследованием получена математическая зависимость отделения примесей от картофеля на элеваторе картофелеуборочного комбайна. Во избежание трения с прутками клубней и примесей, расстояние между лентой транспортера интенсификатора и прутками не должно быть меньше 30 мм. Определены следующие параметры интенсификатора: угол наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha=82^\circ$ , шаг установки лопастей 210

мм.

3. С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и элеватор 242 кг/с, полноте сепарации 85% мощность действующих на пласт внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения увеличивается примерно на 8% или с 1,52 кВт до 1,64 кВт.

4. Результаты полевых испытаний показали, что применение интенсификатора под основным элеватором картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 на переувлажненных почвах при влажности 26,3%, увеличивает полноту уборки картофеля на 10%, а повреждения клубней уменьшаются при этом на 38%. Рабочая скорость модернизированного комбайна КПК-2-01 при этом увеличилась с 0,84 м/с до 0,86 м/с.

5. Расчет годового экономического эффекта от применения картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, оборудованного лопастным транспортером сепарирующего рабочего органа составляет 17148,0 рубля на 1 га убранной площади при годовой загрузке 200 часов.

#### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Целесообразно продолжить научные исследования в направлении совершенствования сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин применительно к переувлажненным почвам.

#### **Рекомендации производству**

Для повышения эффективности функционирования картофелеуборочных машин рационально использовать интенсификатор в конструкции сепарирующего элеватора.

#### **Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

##### ***Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России***

1. Гаджиев И.П. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 98-106.

2. Гаджиев И.П. Математическая модель отделения примесей от картофеля на элеваторе / М.И. Белов, И.П. Гаджиев, А.В. Шемякин, Н.Е. Кабдин, О.М. Мельников // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 43-46.

3. Гаджиев И.П. Результаты полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 оснащенного интенсификатором / П.И. Гаджиев, А.П. Башкиров, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев, Н.С. Шершнева // Наука в

центральной России. – 2022. – № 6(60). – С.71-77.

4. Гаджиев И.П. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П.И. Гаджиев, А.П. Башкиров, Г.Г. Рамазанова, Н.С. Шершнев // Наука в центральной России. – 2022. – № 3(57). – С.41-47.

5. Гаджиев И.П. Экономическая эффективность комбайновой уборки картофеля с применением интенсификатора сепарирующего элеватора / И.А. Успенский, И.А. Юхин, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ.– 2022. – Т.14. –№ 4. – С.177-184.

6. Гаджиев И.П. Исследование влияния лопастного интенсификатора на полноту сепарации / П.И. Гаджиев, А.В. Шемякин, И.А. Успенский, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Техника и оборудование для села. – 2023. – №1(307). – С. 27-29.

7. Гаджиев И.П. Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов / П.И. Гаджиев, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25. – № 1. – С.17-22.

#### Патент

8. Патент на изобретение № 2785297 С2 Российская Федерация, МПК А01D 17/10. Сепарирующий рабочий орган картофелеуборочных машин / П.И. Гаджиев, Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р., Рамазанова Г.Г., Штаюнда Э.Н., Махмутов М.М., Гаджиев И.П., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный заочный университет // № 2021112154/10(025976); заявл. 28.04.2021. – опубл. 06.12.2022., Бюл. №34

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная*

*Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1542 подписано в печать 28.04.2023 г.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени  
П. А. Костычева»*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы  
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*