

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356.44

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-17-22

**Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов***Парвиз Имранович Гаджиев, д-р техн. наук, профессор*pgadjiev@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-6877-6126>*Имран Парвизович Гаджиев, аспирант*

imgadjiev@mail.ru

*Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова, канд. техн. наук, доцент*gulbike@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2758-9479>

Российский государственный аграрный заочный университет; 143907, г. Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, 50

Аннотация. Картофелеуборочные машины неспособны эффективно работать на переувлажненных почвах с влажностью свыше 24% в связи с забиванием зазоров между прутками элеватора клубнями и глыбами. Совершенствовать картофелеуборочную машину можно с помощью интенсификатора в виде прижимного транспортера с плоскими лопастями, установленными под углом. Рассмотрены условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов. Определены оптимальные конструктивные параметры интенсификатора: расстояние между прутками – 30 мм, диаметр прутков – 11 мм; угол наклона лопасти интенсификатора к плоскости ленты транспортера – более 82°. При этом считается, что при выталкивании клубней зазор между прутком и клубнем составляет не более 5 мм. Исходя из условия повышения полноты сепарации почвы и исключения повреждения клубней картофеля теоретическими исследованиями установлены кинематические параметры интенсификатора: скорость транспортера – от 0,8 до 1,4 м/с; скорость прутка элеватора – от 1,0 до 1,8 м/с. Скорость соударения клубней картофеля с лопастями, при которой клубни не будут получать повреждения, должна составлять менее 2,2 м/с. Шаг лопастей – 210 мм. Агротехническая оценка полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором сепарирующего элеватора, проведенная на полях фермерского хозяйства В.Д. Быкова «Радуга» Курской области, показала увеличение полноты сепарации почвы на 8,3% и снижение повреждения клубней, что позволяет рекомендовать его к применению.

Ключевые слова: картофелеуборочные машины, сепарация почвы, элеватор с интенсификатором сепарации, повреждения клубней, прижимной транспортер, конструктивные параметры интенсификатора

Формат цитирования: Гаджиев П.И., Гаджиев И.П., Рамазанова Г.Г. Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 1. С. 17-22. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-17-22.

© Гаджиев П.И., Гаджиев И.П., Рамазанова Г.Г., 2023

ORIGINAL PAPER

Determining the structural parameters of the intensifier and conditions for pushing potato tubers from the gap between the rods of separating elevators*Parviz I. Gadzhiev, DSc (Eng), Professor*pgadjiev@yandex.ru[✉]*Imran P. Gadzhiev, post-graduate student*

imgadjiev@mail.ru

*Gulbike G. Ramazanova, CSc (Eng), Associate professor*gulbike@yandex.ru[✉]

Russian State Agrarian Correspondence University, 50 Entuziastov Highway, Balashikha, 143907, Russia

Abstract. Machine potato harvesting is ineffective on waterlogged soils at a moisture content of more than 24% as rod gaps are clogged with rocks and tubers. The potato harvester design can be improved with an intensifier in the form of a clamping conveyor with flat blades set at an angle. The authors analyzed the conditions for ejecting tubers from the rod gaps of the separating elevators and determined the design parameters of the intensifier: the distance between the bars of 30 mm, the diameter of the bars of 11 mm; the inclination angle of the intensifier blade to the plane of the conveyor belt of more than 82°. Provision is made that when the tubers are pushed out, the gap between the rod and the tuber should be

less than 5 mm. Based on the goal of increasing the completeness of soil separation and excluding damage to potato tubers, theoretical studies have established the kinematic parameters of the intensifier: a conveyor speed of 0.8 m/s to 1.4 m/s, an elevator rod speed of 1.0 m/s to 1.8 m/s. To prevent tuber damage, the impact velocity of potato tubers with the blades must be less than 2.2 m/s. The blade pitch should equal 210 mm. Agrotechnical assessment of field tests of the КРК-2-01 potato harvester with a separating elevator intensifier carried out on the premises of the “V.D. Bykov’s Raduga Farm” located in Kamyski, Kursk district, Kursk region, showed an increase in the completeness of soil separation by 8.3%.

Keywords: soil separation, intensifier, potato harvester, tuber damage, clamping conveyor, blade, rod

For citation: Gadzhiev P.I., Gadzhiev I.P., Ramazanova G.G. Determining the structural parameters of the intensifier and conditions for pushing potato tubers from the gap between the rods of separating elevators. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(1):17-22. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-17-22>.

Введение. Имеющиеся картофелеуборочные машины не способны эффективно работать на переувлажненных почвах ввиду залипания просвета между прутками. В зависимости от влажности почвы на первом элеваторе ее отсеивается около 70%¹.

Прутковый элеватор с ударным встряхивателем нашел широкое применение в картофелеуборочных комбайнах. В то же время отмечается, что недостатком ударного способа сепарации является высокая повреждаемость клубней [1].

Альтернативой ударному встряхиванию является механический способ воздействия на клубни с примесями, находящимися на рабочем полотне элеватора². Механическое воздействие обеспечивается активными рабочими органами интенсификатора сепарации, расположенными над рабочим полотном элеватора [2-4]. Отметим, что данный интенсификатор недостаточно эффективен при забивании зазоров между прутками элеватора клубнями и глыбами [5-7]. Поэтому целесообразно установить прижимной транспортер с лопастями под рабочей поверхностью основного элеватора так, чтобы лопасти транспортера, вращаясь в противоположном элеватору направлении, очищали зазоры между прутками и выполняли функцию толкателя, не допуская повреждений клубней картофеля. Сепарация почвы существенно зависит от физико-механического состава почвы. При оптимальной влажности почвы (20...24%) показатели сепарации близки к агротехнологическим требованиям, а при повышении и понижении влажности они значительно ухудшаются. В условиях машинной уборки картофеля при влажности почвы свыше 24% применение интенсификатора на сепарирующих рабочих органах картофелеуборочных машин способствует решению проблем повышения сепарации почвы и уменьшения повреждения клубней [8-10].

Цель исследований: совершенствование сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины с целью

увеличения полноты сепарации почвы и снижения повреждений клубней при уборке на переувлажненных почвах.

Материалы и методы. Интенсификатор сепарации с ленточным транспортером, расположенным под рабочим полотном основного элеватора с упругими плоскими лопастями, движущимися навстречу полотну основного элеватора, представлен на рисунке 1. Лопастей интенсификатора изготовлены из тех же резинотехнических материалов, какие используются при изготовлении наклонной горки картофелеуборочных комбайнов, и выполнены в трапецеидальной форме во избежание повреждаемости клубней. Длина интенсификатора L_i соответствует половине длины пруткового элеватора L , следовательно, при длине элеватора $L = 1850$ мм, $L_i = 925$ мм. Лопастей интенсификатора, установленного под рабочим полотном элеватора, должны выполнять функции толкателя.

Благодаря поддерживающим роликам прогибом ленты транспортера интенсификатора и поперечным перемещением лопасти-толкателя в направлении, перпендикулярном плоскости ленты, при взаимодействии толкателя с пластом можно пренебречь.

Таким образом, толкатель может взаимодействовать только с частями клубней, находящимися между соседними прутками, которые выступают за пределы плоскости касательной к цилиндрическим пруткам, находящейся под ними.

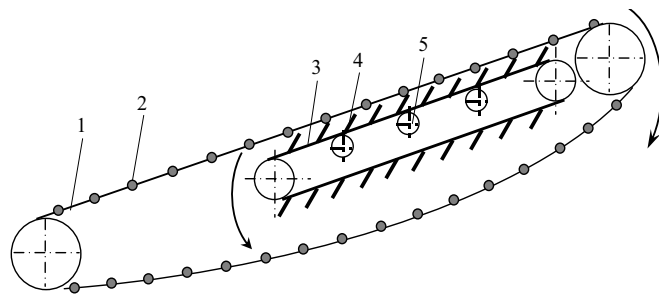


Рис. 1. Основной элеватор с интенсификатором сепарации:
1 – полотно основного элеватора; 2 – пруток основного элеватора;
3 – полотно резинового транспортера интенсификатора;
4 – лопасть; 5 – поддерживающий ролик

Fig. 1. Main elevator with separation intensifier:
1 – apron of the main elevator; 2 – rod of the main elevator;
3 – apron of the intensifier rubber conveyor;
4 – blade;
5 – supporting roller

¹ Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин. Монография. М.: ВИМ, 2006.

² Болотина М.Н., Мишуrow Н.П., Федоренко В.Ф., Голубев И.Г., Алдошин Н.В. Сельскохозяйственная техника. Машины для обработки почвы: Каталог. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2022. 208 с.

Результаты и их обсуждение. При исследовании положения клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием его лопастью и в момент окончания выталкивания введены следующие обозначения (рис. 2):

$O_1x_1y_1$ – 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;

Δ – 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 Δ клубня в зазоре между прутками зависит от диаметра клубня. Зависимость можно найти из геометрических соотношений (рис. 2.):

$$\Delta = (D - d - \sqrt{D^2 + 2d(D - s) - s^2}) / 2. \quad (1)$$

Очевидно, выталкивание клубня из зазора возможно, когда его диаметр превышает ширину зазора и клубень выступает за пределы ограничивающей прутки плоскости, то есть его смещение превышает ноль ($\Delta > 0$). Отсюда с учетом формулы (1) ограничения на диаметр клубня, обеспечивающие выталкивание его из зазора между прутками, можно представить как

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

Клубни, соответствующие ограничениям по диаметру (2), попадают в зазор между прутками и соударяются с лопастями интенсификатора (табл. 1). Прижимной транспортер не будет воздействовать на клубни с диаметром, превышающим эти ограничения.

Зазор a между прутком и шарообразным телом, выталкиваемым из зазора между прутками, можно найти из геометрических соотношений (рис. 2b) по формуле:

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

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

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

Table 1. Maximum diameter of a spherical tuber pushed out of the gap with different rod diameters and a constant gap width of 30 mm

Диаметр прутков, мм <i>Rod diameters, mm</i>	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр клубня, мм <i>Diameter of a tuber, mm</i>	61	54	49	45	42	40	38

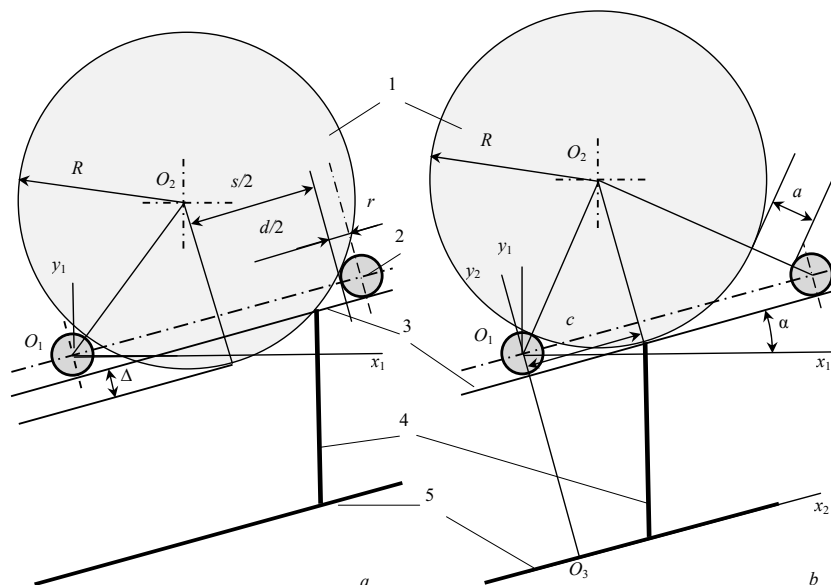


Рис. 2. Положение клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием лопастью (a) и в момент окончания выталкивания (b):

1 – клубень; 2 – пруток основного элеватора; 3 – плоскость, ограничивающая пространство точек лопасти; 4 – лопасть-толкатель; 5 – лента транспортера

Fig. 2. Position of tubers in the gap between the rods before being ejected by the blade (a) and at the end of ejection (b):

1 – tuber; 2 – rod of the main elevator; 3 – plane limiting the space of the bladepoints; 4 – pusher blade; 5 – conveyor belt

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

$$a = [(s/2 - r)^2 + (s + d - c)^2]^{1/2} - s/2 - r, \quad (3)$$

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 (рис. 3):

h – расстояние между прутком и лентой резинового транспортера интенсификатора сепарации, м;

l – шаг лопастей, м;

γ – угол, образуемый прямой линией лопасти интенсификатора к линии полотна элеватора в плоскости, перпендикулярной осям прутков, град.;

Δt – 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 следует, что расстояние между прутком и лентой транспортера интенсификатора не может быть меньше ширины зазора между прутками. Таким образом, формула для определения минимального

расстояния между прутком и лентой транспортера интенсификатора имеет такой вид:

$$h = s. \quad (4)$$

Пусть A – точка касания переднего прутка с прямой, касающейся прутков рабочего полотна в плоскости, перпендикулярной осям прутков; O_1, O_2 – центры окружностей заднего прутка и клубня в плоскости, перпендикулярной осям прутков; B – точка касания окружности клубня с прямой линией лопасти в плоскости, перпендикулярной осям прутков.

В соответствии с предположением 3 угол γ 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 Bn к лопасти, касающейся окружности клубня в точке B , пересекает центр O_1 прутка (рис. 3b). Данное условие соблюдается, если лопасть перпендикулярна, а нормаль Bn параллельна отрезку O_1A , то есть справедливым является неравенство

$$\gamma \geq \arctan[(s + d) / r]. \quad (5)$$

Расчеты по формуле (3) показали, что при расстоянии между прутками 30 мм и диаметре прутков 11 мм зазор между прутком и выталкиваемым клубнем не превышает 5 мм (рис. 4a). Такой зазор позволяет повысить полноту сепарации мелких фракций и очистку клубня от неровностей в виде прилипших комков почвы на поверхности, выступающих за пределы поверхности на 5 мм и более.

Расчеты по формуле (5) показали, что при расстоянии между прутками 30 мм и диаметре прутков 11 мм угол наклона лопасти интенсификатора к плоскости ленты транспортера во избежание заклинивания клубней между лопастью и прутком необходимо устанавливать равным 82° и больше (рис. 4b).

Исходя из условия повышения полноты сепарации почвы и исключения повреждения клубней картофеля теоретическими исследованиями установлены следующие

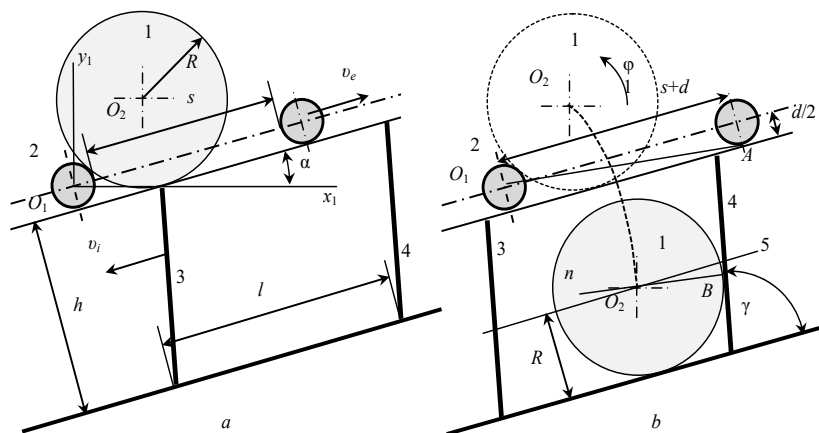


Рис. 3. Положение клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием лопастью (a) и в момент окончания выталкивания (b):

1 – клубень; 2 – пруток; 3 – передняя лопасть; 4 – задняя лопасть; 5 – прямая, параллельная ленте транспортера интенсификатора на расстоянии R от нее

Fig. 3. Position of tubers in the gap between the rods before being ejected by the blade (a) and at the end of ejection (b): 1 – tuber; 2 – rod; 3 – front blade; 4 – rear blade; 5 – straight line, parallel to the intensifier conveyor belt at a distance R from it

кинематические параметры интенсификатора: скорость транспортера – 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 составлять менее 2,2 м/с³. Шаг лопастей – 210 мм.

Агротехническая оценка полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором

сепарирующего элеватора проводилась на полях фермерского хозяйства В.Д. Быкова «Радуга» п. Камыши Курского района Курской области. Некоторые из показателей приведены в таблице 2.

Согласно данным таблицы 2 применение картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором сепарирующего элеватора увеличивает полноту сепарации почвы на 8,3%.

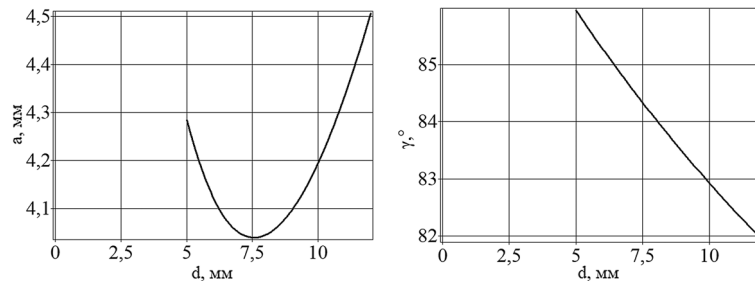


Рис. 4. Максимальный зазор (а, мм) между шарообразным клубнем и прутком (а) и минимальный угол (γ, °) наклона лопасти к ленте транспортера (b) в зависимости от диаметра (d, мм) прутка

Fig. 4. Maximum gap (a, mm) between the spherical tuber and the rod (a) and the minimum angle (γ, °) of the blade to the conveyor belt (b) depending on the rod diameter (d, mm)

Таблица 2. Агротехнические показатели работы комбайна КПК-2-01
Table 2. Agrotechnical performance of the combine harvester КПК-2-01

Показатели <i>Indicators</i>	КПК-2-01	Элеватор с интенсификатором сепарации КПК-2-01 <i>Elevator with separation intensifier КПК-2-01</i>
Скорость комбайна, м/с / <i>Combine speed, m/s</i>	0,84	0,86
Глубина хода подкапывающих рабочих органов, м <i>Digging depth of working units, m</i>	0,20	
Поступило массы на 1 м, кг: всего / <i>Received mass per 1 m, kg: total</i>	195,0	217,0
в том числе / <i>including:</i>		
почва и комок / <i>soil and clods</i>	190,78	212,67
клубни / <i>tubers</i>	3,12	3,25
растительные остатки / <i>plant remains</i>	1,10	1,08
Просеяна почва с элеватора, кг / <i>Sifted soil coming from the elevator, kg</i>	166,1	202,9
Фракционный состав почвы, сходящей с элеватора, % <i>Fractional composition of the soil incoming from the elevator, %</i>		
в том числе / <i>including:</i>		
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
Сход с элеватора всего, кг, / <i>Total output from the elevator, kg,</i>	87,2	45,8
в том числе / <i>including:</i>		
почва / <i>soil</i>	82,85	41,33
клубни / <i>tubers</i>	3,15	3,37
растительные остатки / <i>plant remains</i>	1,2	1,1
Полнота сепарации почвы, % / <i>Completeness of soil separation, %</i>	85,2	93,5

Выводы

Конструктивные параметры интенсификатора, обеспечивающего уборку на переувлажненных почвах и выгаливание клубней картофеля из зазора между

прутками сепарирующих элеваторов, следующие: расстояние между прутками – 30 мм; диаметр прутков – 11 мм; угол наклона лопасти интенсификатора к плоскости ленты транспортера ≥ 82°; зазор между прутком и клубнем – не более 5 мм; скорость транспортера интенсификатора – от 0,8 до 1,4 м/с; скорость прутка элеватора – от 1,0 до 1,8 м/с.

³ Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 320 с

Список использованных источников

1. Рязанов Н.А., Рембалович Г.К., Борычев С.Н., Успенский И.А. К вопросу об интенсификаторах первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2010. № 1. С. 54-57. EDN: RPYQZR.
2. Успенский И.А., Кушев И.Е., Семеренко И.П. Обоснование параметров машин для междурядной обработки картофеля при посадке в условиях Дальнего Востока // Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники: Материалы Международной научно-практической конференции, 12 октября 2020 г. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. Т. 1. С. 114-118. EDN: DVCVYQ.
3. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины: Патент на полезную модель RU208434 U1, МПК A01D33/08 / Д.В. Евтехов, Р.В. Безносюк, Н.В. Бышов и др., заявка № 2021112935 от 04.05.2021. EDN: JISSEJ.
4. Байбобоев Н.Г., Акбаров Ш.Б., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. Повышение эффективности сепарации картофелеуборочных машин с применением дискового ворошителя // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 35-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-35-39>
5. Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С. 98-106. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-2-98-106>
6. Гаджиев П.И., Шестакова Е.В., Рамазанова Г.Г. Теоретическое исследование подкапывающего лемеха картофелеуборочного агрегата для снижения потерь урожая и эрозии почвы // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 2. С. 263-278. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.263-278>
7. Aldoshin N.V., Didmanidze O.N., Mirzaev B.B., Mamatov F.M. Harvesting of mixed crops by axial rotary combines. *Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering*. 2019 (PAE2019), Prague, 17-20 сентября 2019 г. Prague: Powerprints r.o., 2019. Pp. 20-25. EDN: FGLXEX.
8. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Теоретические исследования повышения качества уборки корнеплодов и картофеля сепарирующей системой, использующей теплоту отработавших газов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1(57). С. 12-17. EDN: NASAWS.
9. Dorokhov A.S., Sibirev AV., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle. *Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(3):380-402. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.380-402>
10. Zhou J.G., Yang S.M., Li M.Q., Chen Z., Zhou J.D., Gao Z.N., Chen J. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas. *INMatch – Agricultural Engineering*. 2021;64(2):151-158. <https://doi.org/10.35633/inmatch-64-14>

Вклад авторов

П.И. Гаджиев – научное руководство, постановка задачи исследования, формулирование основной концепции исследования.
И.П. Гаджиев – сбор и анализ материалов по теме исследования, подготовка и анализ литературных данных.
Г.Г. Рамазанова – определение методологии исследования, критический анализ полученных результатов.
Гаджиев П.И., Гаджиев И.П., Рамазанова Г.Г. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования и доработки 29.11.2022; принята к публикации 09.12.2022

References

1. Ryazanov N.A., Rembalovich G.K., Borychev S.N., Uspenskiy I.A. On the use of intensifiers for primary separation of soil in cars for potato cleaning. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2010;1:54-57. (In Rus.)
2. Uspenskiy I.A., Kushchev I.Ye., Semerenko I.P. Justification of the parameters of machines used for inter-row cultivation of potatoes during planting in the conditions of the Far East. *Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnicheskoy ekspluatatsii mobil'noy tekhniki, Ryazan, 12 oktyabrya 2020 goda. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 20-letiyu kafedry tekhnicheskoy ekspluatatsiya transporta*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2020;1:114-118. (In Rus.)
3. Separating device for the root lifter: Patent for utility model RU208434 U1, MPK A01D33/08 / D.V. Evtekhov, R.V. Beznoisyuk, N.V. Byshov et al., Application number 2021112935 dated 04.05.2021. (In Rus.)
4. Baiboboev N.G., Akbarov Sh.B., Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G. Increasing the separating efficiency of potato harvesting machines with the use of a disc agitator. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(1):35-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-35-39> (In Rus.)
5. Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P. Separating elevator operating conditions potato harvesters on wet soils. *Science in Central Russia*. 2022;2(56):98-106. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-2-98-106> (In Rus.)
6. Gadzhiev P.I., Shestakova E.V., Ramazanova G.G. Theoretical research of the potato harvester lifting plowshare to reduce yield losses and soil erosion. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):263-278. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.263-278> (In Rus.)
7. Aldoshin N.V., Didmanidze O.N., Mirzaev B.B., Mamatov F.M. Harvesting of mixed crops by axial rotary combines. *Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering*. 2019 (PAE2019), Prague, 17-20 sentyabrya 2019 goda. Prague: Powerprints.r.o., 2019: 20-25.
8. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Theoretical research on yield quality improvement of root crops and potatoes with a separating system using the heat of exhaust gases. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022;1(57):12-17 <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-1-12-17> (In Rus.)
9. Dorokhov A.S., Sibirev AV., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle. *Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(3):380-402. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.380-402>
10. Zhou J.G., Yang S.M., Li M.Q., Chen Z., Zhou J.D., Gao Z.N., Chen J. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas. *INMatch – Agricultural Engineering*. 2021;64(2):151-158. <https://doi.org/10.35633/inmatch-64-14>

Contribution

P.I. Gadzhiev – research supervision, setting the research objective, research conceptualization.
I.P. Gadzhiev – collection and analysis of materials and literature data.
G.G. Ramazanova – research methodology, critical analysis of the results.
P.I. Gadzhiev, I.P. Gadzhiev, G.G. Ramazanova have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received 03.10.2022; approved after reviewed 29.11.2022; accepted 22.12.2022