

УДК 631.356.41

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ГИБКИЙ РАБОЧИЙ ЭЛЕМЕНТ БОТВОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ**
Калимуллин М.Н., Абдрахманов Р.К., Исмагилов Д.М., Валиев И.И.

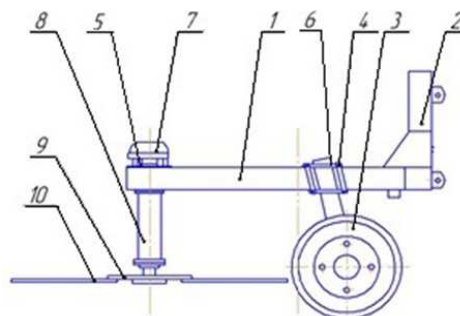
Реферат. Картофель в Российской Федерации по своей народнохозяйственной значимости занимает второе место после зерна. В общественном секторе картофель возделывается в фермерских, личных и подсобных хозяйствах. В связи с переходом на рыночные отношения в стране резко сократились площади под посадку картофеля, и как следствие, производство картофелеуборочной техники. Поэтому остро встал вопрос дальнейшего создания и выпуска простейшей картофелеуборочной техники и совершенствования их новых рабочих органов. Предуборочное удаление измельчение ботвы занимает важное место в технологии возделывания картофеля. Наиболее простым способом удаления ботвы является механический. В процессе эксплуатации замечено, что роторные машины обладают рядом недостатков, вызванных несовершенством конструкции ротора, его кинематических режимов, недостаточной уравновешенностью и надежностью. С целью устранения этих недостатков спроектирован и изготовлен ротационный ботвоизмельчитель с вертикальной осью вращения. Для обоснования конструктивных и режимных параметров проведены теоретические исследования процесса взаимодействия рабочего элемента ботвоизмельчителя с ботвой корнеклубнеплодов, в результате которых выявлены основные закономерности, характеризующие рабочий элемент. В частности, получена зависимость, позволяющая определить форму линии рабочего элемента, которая учитывает как конструктивные параметры, так и режимы работы разработанного измельчителя ботвы. Рабочий элемент из-за действия силы тяжести и сопротивления воздуха во время вращения не может представлять собой прямолинейный прут, то есть чем дальше точка рабочего элемента от центра вращения, тем больше она будет отставать от предполагаемой прямой. Значение отклонения будет в прямой зависимости от поперечного размера рабочего элемента и в обратной зависимости от линейной плотности его материала. Коэффициент сопротивления воздуха определяется экспериментально, из-за влияния на его величину как формы, структуры поверхности рабочего элемента, так и влажность и температура воздуха.

Ключевые слова: форма, параметр, элемент, линия, сила, ботвоизмельчитель.

Введение. Качество уборки урожая во многом зависит от используемых технологий и применяемой сельскохозяйственной техники. Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых в Российской Федерации. Его используют для продовольственных, технических и кормовых целей. Картофель распространен в Российской Федерации повсеместно, в том числе и Нечерноземной зоне. Для облегчения работы картофелеуборочных машин и повышения количества и качества урожая картофельную ботву перед уборкой необходимо удалять. Наиболее простым способом удаления ботвы является механический. В процессе эксплуатации замечено, что роторные машины обладают рядом недостатков, вызванных несовершенством конструкции ротора, его кинематических режимов, недостаточной уравновешенностью и надежностью [1-6].

Условия, материалы и методы исследований. Для устранения вышеуказанных недостатков был разработан четырехрядный ротационный измельчитель ботвы картофеля тросового типа, представленный на рисунке 1 [7,8].

Устройство содержит раму 1 с механизмом навески 2 на тяговое средство (на чертеже не показано) и опорными колесами 3, смонтирован-



1 – рама, 2 – механизм навески;
3 – опорное колесо; 4 – скоба фиксирующая;
5 – прорезь; 6 – регулировочная планка;
7 – гидромотор; 8 – вал вертикальный;
9 – ротор; 10 – рабочий элемент
Рисунок 1 – Общий вид ротационного ботвоизмельчителя корнеклубнеплодов

ными с возможностью изменения высоты среза ботвы посредством перемещения вдоль фиксирующих скоб 4 и возможностью изменения ширины колеи посредством установки регулировочных планок 6 между рамой и стойкой опорного колеса. Рама 1 снабжена прорезью 5, в которой с возможностью поперечного перемещения и фиксации смонтированы гидромоторы 7. Фиксация производится путем болтового соединения, а перемещение вручную, после его ослабления. Каждый вертикальный вал 8 жестко за-

креплен на выходном валу гидромотора 7. На нижнем конце каждого вертикального вала 8 радиально жестко закреплен ротор 9, на котором под углом 90 градусов друг к другу зафиксированы четыре рабочих элемента 10, выполненные гибкими из высокопрочного эластичного материала. В качестве такого материала может быть использован, например, полиуретан, нейлон. Устройство работает следующим образом.

В зависимости от ширины междурядья гидромоторы 7 перемещают в прорезях 5 путем ослабления болтового соединения и фиксируют после завершения регулировки ширины. Опорные колеса перемещают до необходимой ширины путем добавления или удаления планок 6 после предварительного ослабления фиксирующих скоб 4. Гидромоторы 7 получают привод от штатного насоса тягового средства через гибкие шланги (на чертеже не показаны), которые приводят в движение вертикальные валы 8 с рабочими элементами 10 из гибкого эластичного материала, которые начинают вращаться в горизонтальной плоскости.

В процессе срезания ботвы рабочие элементы 10 совершают одновременно вращательное и переносно-поступательное движение, перемещаясь по циклоиде. Поступательное движение определяет величину подачи рабочего элемента при срезании ботвы растений. Рабочие элементы, выполненные из гибкого эластичного материала, такого как полиуретан, нейлон, обеспечивают захват и срезание ботвы, но не повреждают корнеплоды.

Использование данного устройства позволит работать на посевах корнеклубнеплодов с различной шириной междурядий, а также значительно уменьшить травмируемость корнеплода.

Тросовый элемент используется при скашивании ботвы картофеля, титановый рабочий элемент эффективен на сильнозасоренных полях, а эластичный элемент используется на удалении ботвы сахарной свеклы.

Для установления рациональной формы и размеров ротационного рабочего органа проводились теоретические исследования процесса взаимодействия его с ботвой, в результате которых были получены уравнение, позволяющее определить форму линии гибкого рабочего органа при вращении.

Анализ и обсуждение результатов исследований. На форму линии гибкого рабочего элемента при вращении влияют центробежные силы $F_{ц}$ (см. рисунок 2) и силы сопротивления воздуха F_c , действующие на каждый элемент dl , а также силы упругости, возникающие при изгибе гибкого рабочего элемента [9-14]. Из опытов известно, что заметного изменения диаметра зоны вращения гибкого рабочего элемента не происходит даже при достаточно больших оборотах [15,16]. Это свидетельствует о том, что

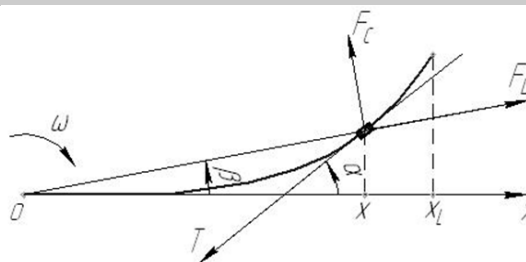


Рисунок 2 – Силы, действующие на гибкий рабочий элемент.

заметного изгиба рабочего элемента не происходит. Поэтому силы упругости троса можно не учитывать.

Силы, действующие на элемент линии dl в точке x (x_L – проекция конца гибкого рабочего элемента на ось x).

Силы $F_{ц}$ и F_c являются суммарными силами, действующими на часть гибкого рабочего элемента от точки x до конца x_L . Такие же силы действуют и на начальный участок до точки x . Но $F_{ц}$ и F_c возрастают с увеличением радиуса вращения и поступательной скорости. Будем считать, что эти силы учтены в силе натяжения элемента T .

Пусть уравнение линии $y = y(x)$. Тогда $dF_{ц}$, действующая на элемент dl линии, находящейся в точке x будет равна:

$$dF_{ц} = \sigma \cdot dl \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (1)$$

где σ – линейная плотность массы троса, направленная под углом β к оси x .

Проинтегрируем по всем x от точки x до конца, то есть до точки x_L , учитывая, что $dl = dx / \cos \alpha$, где α – угол наклона dl в точке x . получим:

$$\left(F_{ц} \right)_x = \int_x^{x_L} \sigma \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} dx \quad (2a)$$

$$\left(F_{ц} \right)_y = \int_x^{x_L} \sigma \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} dx \quad (2б)$$

Сила сопротивления воздуха пропорциональна площади поперечного сечения dl на плоскость, перпендикулярную направлению и .

Степень n берут обычно равной 2 или 3:

$$dF_c = \alpha \cdot dS \cdot V_{п}^n, \quad (3)$$

где α – коэффициент сопротивления, перпендикулярная $dF_{ц}$ в каждой точке. Суммируя все dF_c от точки x до конца x_L получим:

$$\left(F_c \right)_x = - \int_x^{x_L} \alpha \cdot \left(\omega \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \right)^n \cdot \frac{D \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \sin \beta}{\cos \alpha} dx \quad (4a)$$

$$\left(F_c \right)_y = - \int_x^{x_L} \alpha \cdot \left(\omega \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \right)^n \cdot \frac{D \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta}{\cos \alpha} dx \quad (4б)$$

где D – поперечный размер гибкого рабочего элемента.

Здесь учтено, что проекция dl на направление dF_н равна dl·cos(α-β).

Суммируя силы по осям x и y, получим:

$$F_x = (F_{II})_x + (F_C)_x \quad (5)$$

$$F_y = (F_{II})_y + (F_C)_y \quad (6)$$

Считая, что F_x и F_y и определяют наклон dl, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = F_y / F_x$$

Теперь заменим все тригонометрические функции через x, y, y', в результате получим:

$$F_x = - \int_x^{x_L} \left[\sigma \cdot \omega^2 \cdot x - \alpha \cdot D \cdot \omega^n \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})^{n-2} \cdot y \cdot (x + y \cdot y') \right] \cdot \sqrt{1 + y'^2} dx \quad (7a)$$

$$F_y = - \int_x^{x_L} \left[\sigma \cdot \omega^2 \cdot x + \alpha \cdot D \cdot \omega^n \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})^{n-2} \cdot x \cdot (x + y \cdot y') \right] \cdot \sqrt{1 + y'^2} dx \quad (7б)$$

Подставив (7a) и (7б) в (6), получим интегро-дифференциальное уравнение достаточно сложного вида относительно неизвестной функции y(x). Ранее мы уже говорили, что, если изгиб есть, то незначительный. Поэтому в первом приближении можно считать, что y(x) << x и y' ≈ 0. Тогда из (7a,б) получим:

$$F_x = \int_x^{x_L} \sigma \cdot \omega^2 \cdot x dx = \sigma \cdot \omega^2 \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_x^{x_L} = \frac{\sigma \cdot \omega^2}{2} \cdot (x_L^2 - x^2) \quad (8a)$$

$$F_y = \int_x^{x_L} \alpha \cdot D \cdot \omega^n \cdot x^n dx = \frac{\alpha \cdot D \cdot \omega^n}{n+1} \cdot x^{n+1} \Big|_x^{x_L} = \frac{\alpha \cdot D \cdot \omega^n}{n+1} \cdot (x_L^{n+1} - x^{n+1}) \quad (8б)$$

Подставив (8a,б) в (6), получим для формы линии уравнение:

$$y'_{x'} = \frac{\alpha \cdot D \cdot \omega^{n-2} \cdot 2}{\sigma \cdot (n-1)} - \frac{x_L^{n+1} - x^{n+1}}{x_L^2 - x^2}, \quad (9)$$

Проинтегрировав и сделав замену, при n=2 можно вычислить:

$$y(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha \cdot D}{\sigma} \cdot \left(\frac{x^2 - x_L^2}{2} + x_L^2 \cdot \ln(x_L + x) \right) + C, \quad (10)$$

Окончательно для случая n=2 будем иметь:

$$y_2(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha \cdot D}{\sigma} \cdot \left(\frac{x^2}{2} + x_L^2 \cdot \ln \left(1 + \frac{x}{x_L} \right) \right)$$

Мы видим, что в этом случае форма линии не зависит от ω.

Если n=3, из (9) имеем:

$$y_3(x) = \frac{\alpha \cdot D \cdot \omega}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + x_L^2 \cdot x + \frac{4}{3} \cdot x_L^3 \right) + C \quad (11)$$

Окончательно для случая n=3:

$$y_3(x) = \frac{\alpha \cdot D \cdot \omega}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + x_L^2 \cdot x \right) \quad (11a)$$

В этом случае форма линии зависит от ω линейно, то есть чем больше ω, тем больше отклонение формы линии от прямой.

Общую формулу для формы линии можно получить, сложив y₂ и y₃. Для удобства анализа представим y(x) как функцию безразмерного параметра x/x_L, причем, учитывая, что изогнутость мала, будем считать, что x_L ≤ L.

$$y(x) = \frac{1}{3} \cdot \frac{D}{\sigma^*} \cdot \alpha_2 \cdot L^2 \cdot \left[\left(\frac{x}{L} \right)^2 + 2 \cdot \ln \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right] + \frac{1}{6} \cdot \frac{D}{\sigma^*} \cdot \alpha_3 \cdot \omega \cdot L^3 \cdot \left[\left(\frac{x}{L} \right)^3 + 3 \cdot \frac{x}{L} \right] \quad (12)$$

Выводы. Режущий элемент – трос в нашем случае имеет вид петли. Поэтому за линейную плотность троса σ* необходимо брать 2σ, а за диаметр D оставить поперечный размер троса.

1. Из (12) видно, что отклонение y(x) тем больше, чем больше поперечный размер троса D и чем меньше линейная плотность материала σ.

2. Вначале отклонение практически не зависит от скорости вращения ω и соответствует первому слагаемому формулы. С увеличением скорости вращения все большее значение будет оказывать второе слагаемое.

3. Отклонение конца гибкого рабочего элемента от прямой в начальный период равно:

$$y(L) = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot (1 + 2 \cdot \ln 2) \cdot \frac{D}{\sigma^*} \cdot \alpha_2 \cdot L^2 & \text{При малых оборотах} \\ \frac{1}{3} \cdot \frac{D}{\sigma^*} \cdot L^2 \cdot [(1 + 2 \ln 2) \cdot \alpha_2 + 2 \cdot \alpha_3 \cdot \omega \cdot L] & \text{При больших оборотах} \end{cases}$$

4. Коэффициенты сопротивления воздуха α₂ и α₃ необходимо определить из экспериментов, так как на их величину может влиять не только форма и структура поверхности гибкого рабочего элемента, но и климатические условия.

Литература

1. Новый способ отделения клубней картофеля от почвы и ботвы / Максимов Л.М., Максимов П.Л., Максимов Л.Л. // Сельский механизатор. 2009. № 3. С. 6-7.
2. Исследование влияния колебаний рабочих элементов на качество работы ботвоизмельчителя / Калимуллин М.Н., Абдрахманов Р.К. // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 35-37.
3. Исследование модернизированного ботводробителя бд-4м с шарнирными ножами / Угланов М.Б., Бачурин А.Н., Бышов Д.Н., Абрамов Ю.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 128. С. 200-213.
4. Результаты экспериментальных исследований устройства для подкочки клубней картофеля на селекционных участках / Гордеев О.В., Латыпов Р.М., Аржикеев А.М. // Актуальные вопросы гуманитарных, экономических и технических наук: теория и практика (Материалы национальной научной конференции Института агроинженерии). Под ред. М.Ф. Юдина. 2019. С. 110-118.
5. Новый способ отделения клубней картофеля от почвы и ботвы / Максимов Л.М., Максимов П.Л.,

Максимов Л.Л. // Сельский механизатор. 2009. № 3. С. 6-7.

6. Обоснование режимов работы и параметров картофелеуборочной машины / Латыпов Р.М., Бикназаров Н.А., Зинуров В.Г. // Технические науки – агропромышленному комплексу России. (Материалы международной научно-практической конференции). ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет». 2017. С. 187-191.

7. Rotary haulm chopper parameters development and substantiation for root and tuber crops / Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K., Mikhailovich A.S. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 10. С. 25691-25698.

8. Совершенствование технологии возделывания картофеля / Калимуллин М.Н., Абдрахманов Р.К., Галиев И.Г. // Техника и оборудование для села. 2017. № 4. С. 6-9.

9. Моделирование измельчителя ботвы картофеля / Первушин В.Ф., Иванов А.Г., Салимзянов М.З. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 6. С. 2-3.

10. Кинематический анализ работы ротационного рабочего органа с вертикальной осью вращения / Абдрахманов Р.К., Калимуллин М.Н., Авдеев А.В. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2007. Т. 2. № 2 (6). С. 111-112.

11. Определение частоты вращения ротора измельчителя ботвы картофеля / Первушин В.Ф., Иванов А.Г., Салимзянов М.З. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 9. С. 4-5.

12. Моделирование работы ротора ботводробительной машины с шарнирными ножами / Абрамов Ю.Н., Бышов Н.В., Угланов М.Б., Юдаев Ю.А. // Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ. 2019. С. 8-12.

13. Определение оптимального диаметра рабочего элемента ботвоизмельчителя / Абдрахманов Р.К., Калимуллин М.Н., Архипов С.М. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2008. Т. 3. № 4 (10). С. 128-129.

14. Кинематика движения зубчатого ротационного рабочего органа / Булгариев Г.Г., Калимуллин М.Н., Абдрахманов Р.К., Хамитов Р.Р. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 3 (41). С. 68-71.

15. Модель зависимости полноты уничтожения колорадского жука от частоты вращения ротора и скорости движения ботвоизмельчителя / Калимуллин М.Н., Гильфанов Р.М., Абдрахманов Р.К. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 1 (39). С. 82-86.

16. Результаты испытаний ротационного ботвоизмельчителя БИР-2 / Исмагилов Д.М., Абдрахманов Р.К., Калимуллин М.Н., Зиятдинов Р.Р. // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 12. С. 61-64.

Сведения об авторах:

Калимуллин Марат Назипович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», e-mail: marat-kmn@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

Абдрахманов Ринат Кадырович – доктор технических наук, профессор кафедры «Ресурсосберегающих технологий производства сельского хозяйства и лесного комплекса», e-mail: rinatkadyrovich@mail.ru.

ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса», г. Казань, Россия.

Исмагилов Динар Минтагирович – аспирант кафедры «Ресурсосберегающих технологий производства сельского хозяйства и лесного комплекса», e-mail: dinar3009544@mail.ru

ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса», г. Казань, Россия.

Валиев Ильдар Ильгизович – аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», e-mail: ildar-valiev-1993@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

TO DETERMINING THE PARAMETERS AFFECTING THE FLEXIBLE WORKING ELEMENT OF HAULM CHOPPER

Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K., Ismagilov D.M., Valiev I.I.

Abstract. Potato in the Russian Federation takes the second place after grain in its economic importance. In the public sector, potatoes are cultivated on farms, personal and subsidiary plots. In connection with the transition to market relations, the area for planting potatoes has sharply decreased, and as a result, the production of potato harvesting equipment. Therefore, the question arose of the further creation and production of the simplest potato harvesting equipment and the improvement of their new working units. Pre-harvest removal chopping tops occupies an important place in the technology of potato cultivation. The easiest way to remove the tops is mechanical. During operation, it was noted that rotary machines have a number of disadvantages caused by the imperfection of the rotor design, its kinematic regimes, insufficient balance and reliability. In order to eliminate these shortcomings, a rotary topper with a vertical axis of rotation was designed and manufactured. To justify the design and operational parameters, theoretical studies of the process of interaction of the working element of the chopper with the tops of root crops were carried out, as a result of which the main patterns characterizing the working element were identified. In particular, a dependence was obtained that allows one to determine the shape of the line of the working element, which takes into account both the design parameters and the operating modes of the developed haulm chopper. Due to the action of gravity and air resistance during rotation, the working element cannot be a straight rod, that is, the farther the point of the working element from the center of rotation, the more it will lag behind the intended straight line. The deviation value will be in direct proportion to the transverse size of the working element and inversely to the linear density of its material. The coefficient of air resistance is determined experimentally, due to the influence on its value of both the shape and structure of the surface of the working element, as well as humidity and air temperature.

Key words: form, parameter, element, line, force, haulm chopper.

References

1. A new way of separating potato tubers from soil and tops. [Novyy sposob otdeleniya klubney kartofelya ot pochvy i

botvy]. / Maksimov L.M., Maksimov P.L., Maksimov L.L. // *Selskiy mekhanizator. - The rural machine operator*. 2009. № 3. P. 6-7.

2. The study of the influence of working elements fluctuations on the quality of the halm chopper operation. [Issledovanie vliyaniya kolebaniy rabochikh elementov na kachestvo raboty botvoizmelchitelya]. / Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K. // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - Technique and equipment for the village*. 2015. № 10. P. 35-37.

3. The study of the modernized bd-4m haulm chopper with hinged knives. [Issledovanie modernizirovannogo botvodrobitelya bd-4m s sharnirnymi nozhami]. / Uglanov M.B., Bachurin A.N., Byshov D.N., Abramov Yu.N. // *Polimatematicheskiiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - Polimatematicheskiiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal of Kuban State Agrarian University*. 2017. № 128. P. 200-213.

4. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy ustroystva dlya podkopki klubney kartofelya na selektsionnykh uchastkakh. // V sbornike: Aktualnye voprosy gumanitarnykh, ekonomicheskikh i tekhnicheskikh nauk: teoriya i praktika. Materialy natsionalnoy nauchnoy konferentsii Instituta agroinzhenierii. (The results of experimental studies of a device for digging potato tubers in breeding sites. / Gordeev O.V., Latypov R.M., Arzhikeev A.M. // In the collection: Actual issues of the humanitarian, economic and technical sciences: theory and practice. Proceedings of the national scientific conference of the Institute of Agricultural Engineering). Edited by M.F. Yudin. 2019. P. 110-118.

5. A new way of separating potato tubers from soil and tops. [Novyy sposob otdeleniya klubney kartofelya ot pochvy i botvy]. / Maksimov L.M., Maksimov P.L., Maksimov L.L. // *Selskiy mekhanizator. - The rural machine operator*. 2009. № 3. P. 6-7.

6. Obosnovanie rezhimov raboty i parametrov kartofeleborochnoy mashiny. // V sbornike: TEKHNIChESKIE NAUKI - AGROPROMYShLENNOMU KOMPLEKSU ROSSII. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. (Justification of the operating modes and parameters of the potato harvester. / Latypov R.M., Biknazarov N.A., Zinurov V.G. // In the collection: TECHNICAL SCIENCES - TO THE AGRICULTURAL COMPLEX OF RUSSIA. Proceedings of International scientific and practical conference). FGBOU VO "Yuzhno-Uralskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet". 2017. P. 187-191.

7. Rotary haulm chopper parameters development and substantiation for root and tuber crops. / Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K., Mikhailovich A.S. // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. № 10. P. 25691-25698.

8. Improving the technology of potato cultivation. [Sovershenstvovanie tekhnologii vozdeleyvaniya kartofelya]. / Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K., Galiev I.G. // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - Technique and equipment for the village*. 2017. № 4. P. 6-9.

9. Modeling of the chopper of potato tops. [Modelirovanie izmelchitelya botvy kartofelya]. / Pervushin V.F., Ivanov A.G., Salimzyanov M.Z. // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. - Mechanization and electrification of agriculture*. 2010. № 6. P. 2-3.

10. Kinematic analysis of the rotating working unit activity with a vertical axis of rotation. [Kinematicheskiiy analiz raboty rotatsionnogo rabocheho organa s vertikalnoy osyu vrascheniya]. / Abdrakhmanov R.K., Kalimullin M.N., Avdeev A.V. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2007. Vol. 2. № 2 (6). P. 111-112.

11. Determination of the rotational speed of the rotor of haulm chopper of potato tops. [Opredelenie chastoty vrascheniya rotora izmelchitelya botvy kartofelya]. / Pervushin V.F., Ivanov A.G., Salimzyanov M.Z. // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. - Mechanization and electrification of agriculture*. 2010. № 9. P. 4-5.

12. Modelirovanie raboty rotora botvodrobitelnoy mashiny s sharnirnymi nozhami. // V sbornike: Tendentsii inzhenerno-tekhnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa. Materialy Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. (Modeling the rotor's operation of toppler chopper with hinged knives. / Abramov Yu.N., Byshov N.V., Uglanov M.B., Yudaev Yu.A. // In the collection: Trends in engineering and technological development of the agro-industrial complex. Proceedings of National Scientific and Practical Conference). Ministry of Agriculture of the Russian Federation; Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. Sovet molodykh uchenykh FGBOU VO RGA-TU. 2019. P. 8-12.

13. Determination of the optimal diameter of the working element of the toppler chopper. [Opredelenie optimalnogo diametra rabocheho elementa botvoizmelchitelya]. / Abdrakhmanov R.K., Kalimullin M.N., Arkhipov S.M. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - The Herald of Kazan State Agrarian University* 2008. Vol. 3. № 4 (10). P. 128-129.

14. Kinematics of the movement of a gear rotary working tool. [Kinematika dvizheniya zubchatogo rotatsionnogo rabocheho organa]. / Bulgariyev G.G., Kalimullin M.N., Abdrakhmanov R.K., Khamitov R.R. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - The Herald of Kazan State Agrarian University* 2016. Vol. 11. № 3 (41). P. 68-71.

15. A model of the dependence of the destruction's completeness of Colorado potato beetle on the rotor speed and the speed of the toppler chopper. [Model zavisimosti polnoty unichtozheniya koloradskogo zhuka ot chastoty vrascheniya rotora i skorosti dvizheniya botvoizmelchitelya]. / Kalimullin M.N., Gilfanov R.M., Abdrakhmanov R.K. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2016. Vol. 11. № 1 (39). P. 82-86.

16. Test results of BIR-2 rotary toppler chopper. [Rezultaty ispytaniy rotatsionnogo botvoizmelchitelya BIR-2]. / Ismagilov D.M., Abdrakhmanov R.K., Kalimullin M.N., Ziatdinov R.R. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - Achievements of science and technology of the agricultural sector*. 2017. Vol. 31. № 12. P. 61-64.

Authors:

Kalimullin Marat Nazipovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Machines' Operation and Repair Department, e-mail: marat-kmn@yandex.ru
Kazan State Agrarian University", Kazan, Russia.

Abdrakhmanov Rinat Kadyrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Resource-saving technologies for agriculture and forestry production Department, e-mail: rinatkadyrovich@mail.ru
Tatar Institute for Retraining of Agribusiness Personnel, Kazan, Russia.

Ismagilov Dinar Mintagirovich – post-graduate student of Resource-saving technologies for agriculture and forestry production Department, e-mail: dinar3009544@mail.ru

Tatar Institute for Retraining of Agribusiness Personnel, Kazan, Russia.

Valiev Ildar Ilgizovich – graduate student of Machines' Operation and Repair Department, e-mail: ildar-valiev-1993@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.