

Literatura

1. Akanova, L. A. Analiz rabochih organov-mekhanizmov dlya pochvoobrabotki / L. A. Akanova, A. V. Pyrkin, YU. F. Kazakov // *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nauki, tekhniki i obrazovaniya: sbornik nauchnyh trudov po materialam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – CHEboksary: CHGPU im. I. YA. YAKovleva, 2018. – S. 4-10.
2. Grinchenko, A. S. Teoreticheskie modeli funkcionirovaniya i obespecheniya mekhanicheskoy nadezhnosti kul'tivatorov s podpruzhinennymi rabochimi organami / A.S. Grinchenko, A. I. Alferov // *Konstrukciya, proizvodstvo i ekspluatatsiya sel'skohozyajstvennyh mashin*. – Kirovograd, 2015. – Vyp. 45, ch. 1. – Rezhim dostupa: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2015_45%281%29__31.
3. Ivanov, V. M. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty rabocheho organa dlya glubokoj obrabotki pochvy v hmel'nikah: dis... kand. tekhn. nauk / V. M. Ivanov. – CHEboksary, 2004. – 208 s.
4. Medvedev, V. I. Povyshenie effektivnosti shchelevaniya sklonov s ispol'zovaniem podpokrovnogo ryhlyatelya / V. I. Medvedev, V. P. Mazyarov // *Sovershenstvovanie konstrukcii, teorii i rascheta traktorov, avtomobilej i dvigatelej vnutrennego sgoraniya: sbornik nauchnyh trudov po materialam yubilejnoj XV regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii vuzov Povolzh'ya i Predural'ya*. – Kirov: FGOU VPO Vyatskaya GSKHA, 2004. – S. 224-228.
5. Panovko, YA. G. Ustoichivost' i kolebaniya uprugih sistem. Sovremennye koncepcii, paradoksy i oshibki / YA. G. Panovko, I. I. Gubanova. – M.: Nauka, 1967. – 420 s.

Information about authors

1. **Kazakov Yuri Fedorovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Transportation – Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29, e-mail: ura.kazakov@mail.ru, tel. 89033597765;
2. **Ivanov Vyacheslav Michailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Transportation – Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29, e-mail: slava_ivanov_52@mail.ru, tel. 89053407583;
3. **Markov Dimitri Alexeevich**, Postgraduate of the Chair of Transportation – Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29, e-mail: supramar@mail.ru, tel. 89279987517

4УДК 631.356.41

DOI:

ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГИБКИЙ РАБОЧИЙ ЭЛЕМЕНТ БОТВОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

М.Н. Калимуллин¹⁾, Р.К. Абдрахманов²⁾, Д.М. Исмагилов²⁾, А.В. Семенов³⁾

¹⁾Казанский государственный аграрный университет
420015, Казань, Российская Федерация

²⁾Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса
420059, Казань, Российская Федерация

³⁾Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена определению параметров, влияющих на гибкий рабочий элемент ботвоизмельчителя при вращении на холостом ходу.

Скашивание ботвы путем измельчения занимает важное место в процессе уборки картофеля. Использование этого приема позволяет получать более зрелые клубни. Он предотвращает распространение различных болезней, а также способствует повышению устойчивости клубней к обдиранию кожуры при уборке комбайнами. Общепринятым методом удаления ботвы является механический способ. Используемые для этих целей ротационные косилки, предназначенные для измельчения кормовых растений, малоэффективны. В связи с этим был разработан новый ротационный измельчитель ботвы картофеля с тросовым режущим элементом.

В результате теоретических исследований была определена зависимость, которую можно применять для определения формы линии рабочего элемента. Она учитывает как конструктивные, так и режимные параметры работы ротационного измельчителя ботвы корнеклубнеплодов.

Трос режущего элемента был выполнен в виде петли. Поэтому за величину линейной плотности троса σ^* необходимо взять параметр 2σ , а за диаметр D принять размер поперечного сечения троса.

С увеличением размера поперечного сечения троса D и с уменьшением линейной плотности металла происходит увеличение значения отклонения $y(x)$.

В начальном режиме работы отклонение незначительно изменяется в зависимости от угловой скорости вращения ω и выражается первой составляющей формулы. С увеличением скорости вращения режущего элемента растет степень влияния второго слагаемого.

Коэффициенты сопротивления воздуха α_2 и α_3 необходимо определять на основании результатов экспериментальных исследований, так как их значение может зависеть не только от формы и геометрических показателей рабочей поверхности тросового режущего элемента, но и от внешних условий резания.

Полученная зависимость является основой для дальнейших теоретических исследований взаимодействия гибкого рабочего элемента с ботвой корнеклубнеплодов.

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

Введение. Удаление ботвы картофеля является важной технологической операцией. Она значительно облегчает процесс уборки, способствует получению более зрелых клубней, снижает вероятность переноса на них различных болезней, а также уменьшает степень механических повреждений путем создания благоприятных условий для работы картофелеуборочных машин, что приводит к уменьшению потерь картофеля при хранении. Наиболее популярным методом удаления ботвы является механический способ. Применение для этих целей косилок ротационного типа, используемых для скашивания и измельчения кормовых культур, оказалось малоэффективным [3].

Материалы и методы. Для устранения указанных недостатков был разработан ротационный измельчитель ботвы картофеля (рис. 1) с тросовым режущим элементом [3], [5], [8].

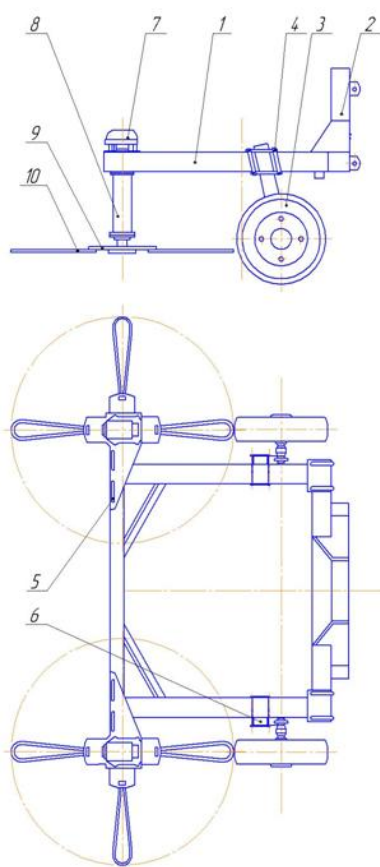


Рис. 1. Общий вид ротационного ботвоизмельчителя корнеклубнеплодов.

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

Устройство состоит из рамы 1 с механизмом навески 2 на мобильное средство (на чертеже не показано) и опорными колесами 3, установленными 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 вмонтированы гидромоторы 7 с возможностью поперечного перемещения и фиксации. Фиксация производится путем болтового соединения, а перемещение осуществляется вручную после его ослабления. Каждый вертикальный вал 8 жестко закреплен 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 гибких рабочих элемента 10, выполненные 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 перемещаются в прорезях 5 путем ослабления болтового соединения и фиксируются 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 передают вращательное движение на вертикальные валы 8 с режущими, выполненными из гибкого материала рабочими элементами 10, получающими вращение в горизонтальной плоскости.

В процессе удаления ботвы гибкие рабочие элементы 10 совершают одновременно вращательное и сложное поступательное движение по циклоиде. При этом величина продольной подачи гибкого рабочего элемента при удалении ботвы картофеля увеличивается путем изменения скорости поступательного движения. Рабочие элементы, выполненные из гибких эластичных материалов, таких, 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 при удалении ботвы сахарной свеклы.

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

Результаты исследования и их обсуждение. На изменение формы линии каждого гибкого рабочего элемента dl при вращении влияют действующие центробежные силы $F_{ц}$ (см. рисунок 2), силы сопротивления воздуха F_c и силы упругости, возникающие при изгибе гибкого рабочего элемента [1], [2], [4], [6]. Однако в научной литературе распространено мнение, что при увеличении частоты вращения диаметр окружности гибкого рабочего элемента относительно оси движения существенно не изменится [7]. Это говорит о том, что при работе не происходит значительной упругой деформации рабочего элемента. Поэтому значениями силы упругости гибкого троса можно пренебречь.

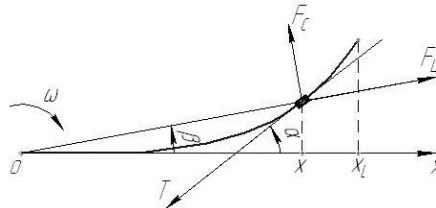


Рис. 2. Силы, действующие на гибкий рабочий элемент.

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 – общие силы, которые действуют на часть рабочего элемента от точки x до конца x_L . Те же силы действуют на начальном участке до точки x . Силы $F_{ц}$ и F_c увеличиваются с повышением радиуса вращения и поступательной скорости. Предположим, что эти силы учтены в силе натяжения элемента T .

Пусть уравнение линии будет определяться, как $y = y(x)$. 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 $dl = \frac{dx}{\cos \alpha}$, где α – угол наклона dl в точке x , и получим:

$$\begin{cases} \vec{F}_{ц} = \int_x^{x_L} \sigma \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} dx & \text{a)} \\ \vec{F}_{c} = \int_x^{x_L} \sigma \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} dx & \text{б)} \end{cases}$$

Сила сопротивления воздуха пропорциональна площади поперечного сечения dl на плоскость, перпендикулярную направлению $V_{п}$ и $V_{п}^n$.

Степень n обычно делают равной 2 или 3:

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

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

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

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

где D – поперечный размер гибкого рабочего элемента.

Здесь учтено, что проекция dl на направление dF_ц равна dl · cos(φ – β).

Суммируя силы по осям x и y, получим:

$$F_x = F_{Цx} + F_{Cx} \quad (5a)$$

$$F_y = F_{Цy} + F_{Cy} \quad (5б)$$

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_y}{F_x} \quad (6)$$

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

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

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

Подставив (7a) и (7б) в (6) получим интегрально-дифференциальное уравнение сложного вида относительно неизвестной функции y(x). При движении не происходит значительного изгиба рабочего элемента. Поэтому при первом приближении можно считать, что y(x) ≪ x и y' ≈ 0. Тогда из (7a, б) получим:

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

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

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

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

Проинтегрировав уравнение, делаем замену, при n=2 можно вычислить:

$$y(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot D}{\sigma} \cdot \left(\frac{x^2 - x_L^2}{2} + x_L^2 \cdot \ln(\varphi + x) \right) + C \quad (10)$$

Окончательно для случая n=2 уравнение будет равно:

$$y_2(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot D}{\sigma} \cdot \left(\frac{x^2}{2} + x_L^2 \cdot \ln \left(1 + \frac{x}{x_L} \right) \right) \quad (10a)$$

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

Если n=3 из (9), то уравнение будет иметь следующий вид:

$$y_3(x) = \frac{\alpha_3 \cdot D \cdot \omega}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + x_L^2 \cdot x + \frac{4}{3} \cdot x_L^3 \right) + C \quad (11)$$

Окончательно для случая n=3 получим:

$$y_3(x) = \frac{\alpha_3 \cdot D \cdot \omega}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + x_L^2 \cdot x \right) \quad (11a)$$

В этом случае форма линии зависит от ω линейно: 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. Тогда получим:

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

Выводы. Трос режущего элемента был выполнен в виде петли. Поэтому за величину линейной плотности троса σ* необходимо взять параметр 2σ, а за диаметр D принять размер поперечного сечения троса.

1) Из уравнения (12) видно, что с увеличением размера поперечного сечения троса D и с уменьшением линейной плотности металла происходит увеличение значения отклонения y(x).

2) На начальном режиме работы отклонение незначительно изменяется в зависимости от угловой скорости вращения ω и выражается первым слагаемым формулы. С увеличением скорости вращения режущего рабочего элемента растет степень влияния второго слагаемого.

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

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

4) Коэффициенты сопротивления воздуха α_2 и α_3 должны определяться на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, так как их значение зависит не только от формы и геометрических показателей рабочей поверхности тросового режущего рабочего элемента, но и от внешних условий резания.

Литература

1. Абдрахманов, Р. К. Кинематический анализ работы ротационного рабочего органа с вертикальной осью вращения / Р. К. Абдрахманов, М. Н. Калимуллин, А. В. Авдеев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2007. – Т. 2, № 2 (6). – С. 111-112.
2. Абдрахманов, Р. К. Определение оптимального диаметра рабочего элемента ботвоизмельчителя / Р. К. Абдрахманов, М. Н. Калимуллин, С. М. Архипов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 3, № 4 (10). – С. 128-129.
3. Калимуллин, М. Н. Исследование влияния колебаний рабочих элементов на качество работы ботвоизмельчителя / М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10. – С. 35-37.
4. Калимуллин, М. Н. Модель зависимости полноты уничтожения колорадского жука от частоты вращения ротора и скорости движения ботвоизмельчителя / М. Н. Калимуллин, Р. М. Гильфанов, Р. К. Абдрахманов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11, № 1 (39). – С. 82-86.
5. Калимуллин, М. Н. Совершенствование технологии возделывания картофеля / М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, И. Г. Галиев // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 4. – С. 6-9.
6. Кинематика движения зубчатого ротационного рабочего органа / Г. Г. Булгариев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11, № 3 (41). – С. 68-71.
7. Результаты испытаний ротационного ботвоизмельчителя БИР-2 / Д. М. Исмагилов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 12. – С. 61-64.
8. Kalimullin, M.N. Rotary haulm chopper parameters development and substantiation for root and tuber crops / M. N. Kalimullin, R. K. Abdrakhmanov, A. S. Mikhailovich // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Т. 10, № 10. – С. 25691-25698.

Сведения об авторах

1. **Калимуллин Марат Назипович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, Казанский государственный аграрный университет, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 65; e-mail: marat-kmn@yandex.ru, тел. 8-908-331-39-80;
2. **Абдрахманов Ринат Кадырович**, доктор технических наук, профессор кафедры ресурсосберегающих технологий производства сельского хозяйства и лесного комплекса, Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, 420059 г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 8; e-mail: rinatkadyrovich@mail.ru, тел.: 8-917-268-29-44;
3. **Исмагилов Динар Минтагирович**, аспирант кафедры ресурсосберегающих технологий производства сельского хозяйства и лесного комплекса, Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, 420059 г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 8; e-mail: dinar3009544@mail.ru, тел.: 8-951-892-98-87;
4. **Семенов Александр Валерьевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: s.alexander2011@yandex.ru, тел. 8-903-359-21-48.

PARAMETERS INFLUENCING THE FLEXIBLE WORKING ELEMENT OF THE BOW-MILLER

M.N. Kalimullin¹, R.K. Abdrakhmanov², D.M. Ismagilov², A.V. Semyonov³

¹Kazan State Agrarian University
420015, Kazan, Russian Federation

²Tatar Institute for Retraining of Agribusiness Personnel
420059, Kazan, Russian Federation

³Chuvash State Agricultural Academy
428003, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the determination of parameters affecting the flexible working element of the topper grinder during rotation at idle speed.

Mowing the tops by grinding takes an important place in the process of harvesting potatoes. Using this technique allows you to get more mature tubers. It prevents the spread of various diseases, and also contributes to increasing the resistance of tubers to peeling of the peel when harvested. The generally accepted method of removing tops is a mechanical method. Rotary mowers used for these purposes, intended for grinding feed plants, are ineffective. In this regard, a new rotary potato haulm topper with a cable cutter was developed.

As a result of theoretical studies, the dependence was determined, which can be used to determine the shape of the line of the work item. It takes into account both constructive and operational parameters of the rotary shredder tops to root and tuber crops.

The cable of the cutting element was made in the form of a loop. Therefore, it is necessary to take the parameter 2σ for the value of the cable linear density σ^* , and for the diameter D to take the size of the cable cross section.

With an increase in the size of the cross section of the cable D and with a decrease in the linear density of the metal, the value of the deviation $y(x)$ increases.

In the initial mode of operation, the deviation varies slightly depending on the angular velocity of rotation ω and is expressed by the first component of the formula. With an increase in the speed of rotation of the cutting element, the degree of influence of the second term increases.

Air resistance coefficients α_2 and α_3 must be determined on the basis of the results of experimental studies, since their value may depend not only on the shape and geometric parameters of the working surface of the cable cutting element, but also on external cutting conditions.

The resulting dependence is the basis for further theoretical studies of the interaction of the flexible work item with the roots of the tubers.

Key words: form, parameter, element, line, force, topper grinder.

Literatura

1. Abdrahmanov, R. K. Kinematicheskij analiz raboty rotacionnogo rabocheho organa s vertikal'noj os'yu vrashcheniya / R. K. Abdrahmanov, M. N. Kalimullin, A. V. Avdeev // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – T. 2, № 2 (6). – S. 111-112.
2. Abdrahmanov, R. K. Opredelenie optimal'nogo diametra rabocheho elementa botvoizmel'chitelya / R. K. Abdrahmanov, M. N. Kalimullin, S. M. Arhipov // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – T. 3, № 4 (10). – S. 128-129.
3. Kalimullin, M. N. Issledovanie vliyaniya kolebanij rabochih elementov na kachestvo raboty botvoizmel'chitelya / M. N. Kalimullin, R. K. Abdrahmanov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2015. – № 10. – S. 35-37.
4. Kalimullin, M. N. Model' zavisimosti polnoty unichtozheniya koloradskogo zhuka ot chastoty vrashcheniya rotora i skorosti dvizheniya botvoizmel'chitelya / M. N. Kalimullin, R. M. Gil'fanov, R. K. Abdrahmanov // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – T. 11, № 1 (39). – S. 82-86.
5. Kalimullin, M. N. Sovershenstvovanie tekhnologii vozdeyviyaniya kartofelya / M. N. Kalimullin, R. K. Abdrahmanov, I. G. Galiev // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2017. – № 4. – S. 6-9.
6. Kinematika dvizheniya zubchatogo rotacionnogo rabocheho organa / G. G. Bulgariev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – T. 11, № 3 (41). – S. 68-71.
7. Rezul'taty ispytaniy rotacionnogo botvoizmel'chitelya BIR-2 / D. M. Ismagilov [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2017. – T. 31, № 12. – S. 61-64.
8. Kalimullin, M.N. Rotary haulm chopper parameters development and substantiation for root and tuber crops / M. N. Kalimullin, R. K. Abdrahmanov, A. S. Mikhailovich // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – T. 10, № 10. – S. 25691-25698.

Information about authors

1. **Kalimullin Marat Nazipovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Operation and Maintenance of Machines, Kazan State Agrarian University, 420015, Kazan, 65, K. Marx str., e-mail: marat-kmn@yandex.ru, tel.: 8 -908-331-39-80;

2. **Abdrakhmanov Rinat Kadyrovich**, Doctor of Technical Sciences., Professor of the Department Resource Saving Technologies of Agriculture and Forestry, Tatar Institute for Retraining of Agribusiness Personnel, 420059 Kazan, 8, Orenbursky Trakt, e-mail: rinatkadyrovich@mail.ru, tel.: 8 -917-268-29-44;

3. **Ismagilov Dinar Mintagirovich**, Post-Graduate Student of the Department Resource-Saving Technologies of Production of Agriculture and Forestry, Tatar Institute for Retraining of Agribusiness Personnel, 420059 Kazan, 8, Orenbursky Trakt, e-mail: dinar3009544@mail.ru, tel.: 8-951-892-98-87;

4. **Semyonov Alexander Valeryevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Cheboksary, 29, K. Marx str., e-mail: s.alexander2011@yandex.ru, tel.: 8 903 359 21 48.