

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТКА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

Г.С. Юнусов, Н.Н. Андержанова, А.В. Алешкин, Б.Г. Зиганшин, Д.Т. Халиуллин

Реферат. Эффективность сельскохозяйственной отрасли, в частности производства продукции растениеводства в большой степени зависит от себестоимости, которую можно снизить, учитывая факторы, влияющие на технико-экономические и эксплуатационные показатели. Ежегодно возрастает востребованность в малогабаритной почвообрабатывающей технике. Но для увеличения функциональности оборудования и качества подготовки почвы к посеву необходимо изучить возможность применения различных дополнительных рабочих органов. Цель работы – теоретические исследования движения и кинематической связи прицепного планчато-спирального катка с мотоблоком, позволяющие обосновать рациональные конструктивно-технологические параметры малогабаритного почвообрабатывающего орудия. В исследовании использованы положения классической механики и аналитической геометрии, методы равновесия и движения механических систем, основанных на дифференциальных и интегральных принципах механики. Рассмотрена механическая система планчато-спирального катка к мотоблоку. Определены количество степеней свободы, кинематическая связь и положение механической системы в инерциальной системе отсчета, связанной с мотоблоком. Учитывая некоторые допущения, пренебрегая малыми величинами некоторых переменных, на основании уравнения Лагранжа второго рода составлено дифференциальное уравнение движения для обобщенных координат. Для его решения вычислена кинетическая энергия системы, определяющаяся как сумма кинетических энергий рамы и катка. Выражение для расчета кинетической энергии системы, зависит от осевых и центробежных моментов инерции, массы, угловой и линейной скоростей рамы и катка. Численные решения полученных выражений позволят определить цифровые значения рациональных конструктивно-технологических параметров малогабаритной почвообрабатывающей машины, использование которой повысит качество подготовки почвы к посеву без дополнительных проходов.

Ключевые слова: мотоблок, каток, механическая система, жесткость пружин, кинетическая энергия, уравнение Эйлера, уравнение Лагранжа.

Введение. Эффективность сельскохозяйственной отрасли в большой степени зависит от себестоимости продукции растениеводства, которую можно снизить, учитывая факторы, влияющие на технико-экономические и эксплуатационные показатели [1, 2, 3], при обосновании мероприятий по оптимизации ее производства [4, 5, 6]. Для достижения такой цели необходимо применять различные энергосберегающие технологии и технические средства [7, 8, 9]. На повышение урожайности сельскохозяйственных культур особое влияние оказывает качественная подготовка почвы под посев в кратчайшие агротехнические сроки [10]. В последние годы все более широкое применение находят комбинированные сельскохозяйственные орудия и машины, способные выполнять одновременно за один проход агрегата несколько технологических операций [11, 12, 13]. Также необходимо отметить, что все большую популярность завоевывает малогабаритная почвообрабатывающая техника: мотоблоки и мотокультиваторы. Для увеличения их функциональности, а также качества подготовки почвы к посеву необходимо изучить возможность применения дополнительных рабочих органов, к числу которых относится универсальный каток, позволяющий качественно рыхлить верхний слой обработанной почвы с одновременным выносом остатков сорных растений на поверхность земли и последующем их прикатывании катком [14, 15].

Цель работы – теоретическое исследование движения и кинематической связи прицепного

планчато-спирального катка с мотоблоком, позволяющие обосновать рациональные конструктивно-технологические параметры малогабаритной почвообрабатывающей машины.

Условия, материалы и методы. При анализе и обосновании параметров почвообрабатывающих орудий необходимо учитывать физико-механические [16, 17] и технологические свойства материалов [18, 19], оказывающих особое влияние при взаимодействии рабочих органов с грунтом.

В процессе исследования движения планчато-спирального катка по почве использованы положения классической механики и аналитической геометрии, методы равновесия и движения механических систем, основанных на дифференциальных и интегральных принципах механики [20, 21, 22].

Рассмотрим прицепной планчато-спиральный каток, предназначенный для прикатывания почвы и давления ее комков после воздействия фрезы мотоблока (рис. 1). Для лучшего копирования поверхности почвы он связан с рамой мотоблока подпружиненными шарнирами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Для обоснования конструктивных параметров прицепного планчато-спирального катка рассмотрим механическую систему, которая состоит из рамы 1 и вращающегося с постоянной угловой скоростью $\dot{\varphi}$ катка 2 (рис. 2). Рама 1 имеет две степени свободы: вращение вокруг оси x_1 на угол θ и вращение вокруг оси



Рис. 1 – Прицепной планчато-спиральный каток:
1 – рама катка; 2 – рабочий орган;
3 – привод

z_2 на угол φ . Каток 2 вращается с постоянной по величине угловой скоростью, то есть на него наложена кинематическая связь:

$$\varphi_2 = \omega t; \quad (1)$$

где φ_2 – угол поворота катка, рад.;
 t – время поворота катка, с.

При вращении катка за счет касательной силы сопротивления почвы \vec{F}_c движение мотоблока происходит в направлении противоположном оси x_1 с постоянной скоростью. А в случае активного привода, моментом сил от клиноременной передачи, связанной с валом отбора мощности мотоблока, направление силы \vec{F}_c противоположно, показанному на рис. 2.

Углы θ и φ будем считать малыми. Они полностью определяют положение механической системы в инерциальной системе отсчета (x_1, y_1, z_1) , связанной с мотоблоком. Если ввести углы Эйлера, то угол θ , называется углом нутации, а угол φ – углом собственного вращения. Угол прецессии ψ отсутствует, так как мотоблок движется прямолинейно. Угол поворота катка φ_2 отсчитывается от горизонтальной прямой, параллельной оси x_2 , меняется в

той же плоскости, что и угол φ , но вокруг оси z_4 и не может считаться малым.

Оси координат (x_2, y_2, z_2) получены при вращении оси z_2 на угол φ , оси (x_3, y_3, z_3) – при вращении вокруг оси на угол θ . Эти оси связаны с рамой и начинаются в точке ее крепления к мотоблоку с помощью двойного шарнира. Оси (x_4, y_4, z_4) , параллельны осям (x_3, y_3, z_3) , но проходят через центр масс катка 2 (рис. 2).

Жесткости пружин c_θ, c_φ , препятствующих вращению, отражают момент сил на один радиан угла поворота и задаются в $(Н \cdot м / рад)$. Центр тяжести рамы находится в точке C_1 , центр тяжести катка – в точке C_2 .

Кроме сил тяжести, приложенных в этих центрах масс, действуют сила реакции (нормального давления) почвы \vec{N} , проходящая с незначительным смещением через C_2 (величина смещения зависит от сопротивления качению) и сила взаимодействия с почвой \vec{F}_c , которая приложена горизонтально в центре пятна контакта катка с поверхностью, ниже C_2 на величину радиуса катка R .

Результаты и обсуждение. Для составления дифференциальных уравнений движения составим два уравнения Лагранжа второго рода для обобщенных координат q_i и, отсчитываемых от положения равновесия в системе отсчета, связанной с точкой O :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = Q_\theta; \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \quad (3)$$

где T – кинетическая энергия системы, Дж;
 Q_θ, Q_φ – обобщенные силы, Н·м.

Вычислим кинетическую энергию системы, которая складывается из кинетической энергии рамы 1 и энергии катка 2:

$$T_1 = \frac{1}{2} (J_{x_3} \omega_{x_3}^2 + J_{y_3} \omega_{y_3}^2 + J_{z_3} \omega_{z_3}^2 - 2 J_{y_3 z_3} \omega_{y_3} \omega_{z_3} -$$

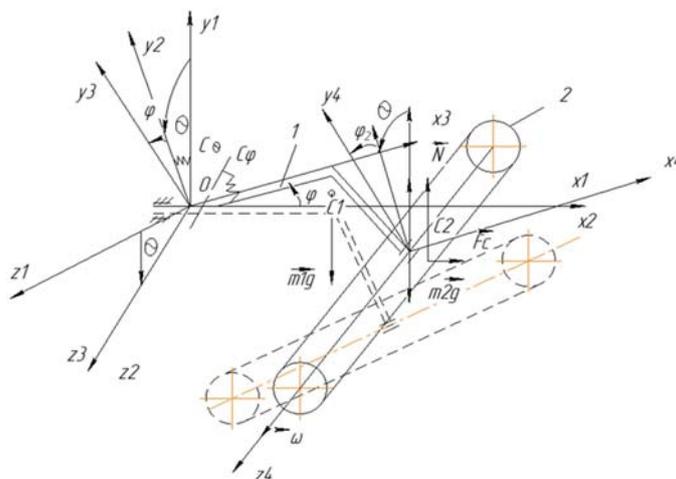


Рис. 2 – Схема механической системы: $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ – координатные оси точки крепления катка к мотоблоку; $x_3, y_3, z_3, x_4, y_4, z_4$ – координатные оси точки центра масс катка; θ – угол нутации; φ – угол вращения рамы катка; \vec{F}_c – касательная сила сопротивления почвы; ω – угловая скорость катка; c_θ, c_φ – жесткости пружин; C_1 – точка центра тяжести рамы; C_2 – точка центра тяжести катка; \vec{N} – сила реакции почвы; $m_1 g$ – сила тяжести рамы; $m_2 g$ – сила тяжести катка

$$-2 J_{z_3 x_3} \omega_{z_3} \omega_{x_3} - 2 J_{x_3 y_3} \omega_{x_3} \omega_{y_3}), \quad (4)$$

где $J_{x_3}, J_{y_3}, J_{z_3}$ – осевые моменты инерции относительно осей координат (x_3, y_3, z_3) , жестко связанных с рамой 1;

$J_{y_3 z_3}, J_{z_3 x_3}, J_{x_3 y_3}$ – центробежные моменты инерции соответственно относительно тех же осей;

$\omega_{x_3}, \omega_{y_3}, \omega_{z_3}$ – проекции абсолютной угловой скорости рамы 1 на подвижные оси.

Запишем кинематические уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \omega_{x_3} = \dot{\psi} \sin(\theta) \sin(\varphi) + \dot{\theta} \cos(\varphi); \\ \omega_{y_3} = \dot{\psi} \sin(\theta) \cos(\varphi) - \dot{\theta} \sin(\varphi); \\ \omega_{z_3} = \dot{\psi} \cos(\theta) + \dot{\varphi}. \end{cases} \quad (5)$$

С учетом отсутствия изменения угла прецессии уравнения (5) примут вид:

$$\begin{cases} \omega_{x_3} = \dot{\theta} \cos(\varphi); \\ \omega_{y_3} = -\dot{\theta} \sin(\varphi); \\ \omega_{z_3} = \dot{\varphi}. \end{cases} \quad (6)$$

Плоскость (x_3, y_3) – плоскость материальной симметрии, следовательно, ось z_3 – главная ось инерции, поэтому:

$$J_{z_3 x_3} = J_{z_3 y_3} = 0 \quad (7)$$

Выразим кинетическую энергию рамы 1 через обобщенные координаты по выражению (6) и с учетом (7) запишем:

$$T_1 = \frac{1}{2} (J_{y_3} (\dot{\theta} \sin(\varphi))^2 + J_{x_3} (\dot{\theta} \cos(\varphi))^2 + J_{z_3} \dot{\varphi}^2 + 2 J_{x_3 y_3} \dot{\theta}^2 \cos(\varphi) \sin(\varphi)). \quad (8)$$

Учитывая допущения, что углы θ и φ и их производные по времени – малые величины, получим:

$$\sin(\varphi) = \varphi; \quad (9)$$

$$\cos(\varphi) = 1. \quad (10)$$

С учетом формул (9) и (10), выражение (8) представим в следующем виде:

$$T_1 = \frac{1}{2} (J_{y_3} (\dot{\theta} \varphi)^2 + J_{x_3} \dot{\theta}^2 + J_{z_3} \dot{\varphi}^2 + 2 J_{x_3 y_3} \dot{\theta}^2 \varphi) \quad (11)$$

Оставим в выражении (11) величины только второго порядка малости, отбросив слагаемые более высокого порядка, так, чтобы после вычисления производных в уравнениях Лагранжа (2) и (3) были представлены величины первого порядка малости:

$$T_1 = \frac{1}{2} (J_{x_3} \dot{\theta}^2 + J_{z_3} \dot{\varphi}^2) \quad (12)$$

Согласно теореме Кёнига кинетическая энергия катка 2 (см. рис. 2) вычисляется следующим образом:

$$T_2 = \frac{m_2 v_{C2}^2}{2} + \frac{1}{2} (J_{y_4} \omega_{y_4}^2 + J_{x_4} \omega_{x_4}^2 + J_{z_4} \omega_{z_4}^2) \quad (13)$$

где m_2 – масса катка, кг;

v_{C2} – скорость центра масс катка, с;

$J_{x_4}, J_{y_4}, J_{z_4}$ – моменты инерции катка относительно осей (y_4, x_4, z_4) .

Моменты инерции катка – это главные оси

инерции, поэтому в выражении (13) нет ее центробежных моментов.

Угловые скорости запишем в проекции на выбранные оси аналогично уравнениям (6):

$$\begin{cases} \omega_{x_4} = \dot{\theta} \cos(\varphi_2) = \dot{\theta} \cos(\omega t); \\ \omega_{y_4} = -\dot{\theta} \sin(\varphi_2) = -\dot{\theta} \sin(\omega t); \\ \omega_{z_4} = \dot{\varphi}_2 = \omega. \end{cases} \quad (14)$$

Определим v_{C2} скорость центра масс катка как скорость точки, связанной с рамой 1:

$$\vec{v}_{C2} = \vec{\omega}_3 \times \vec{r}_{C2} \quad (15)$$

Радиус-вектор центра масс катка \vec{r}_{C2} в системе координат (x_3, y_3, z_3) имеет проекции $(x_{3C2}, y_{3C2}, 0)$, а $\vec{\omega}_3$ – определяется уравнениями (6), тогда:

$$\vec{v}_{C2} = \begin{vmatrix} \vec{i}_3 & \vec{j}_3 & \vec{k}_3 \\ \dot{\theta} \cos(\varphi) & -\dot{\theta} \sin(\varphi) & \dot{\varphi} \\ x_{3C2} & y_{3C2} & 0 \end{vmatrix}, \quad (16)$$

где $\vec{i}_3, \vec{j}_3, \vec{k}_3$ – единичные векторы осей координат.

Раскроем определитель (16) по элементам первой строки и получим проекции скорости на оси координат:

$$\begin{cases} v_{x3C2} = -y_{3C2} \dot{\varphi}; \\ v_{y3C2} = x_{3C2} \dot{\varphi}; \\ v_{z3C2} = \dot{\theta} \cos(\varphi) y_{3C2} + \dot{\theta} \sin(\varphi) x_{3C2}. \end{cases} \quad (17)$$

На основе проекций скорости точки (17) определим ее квадрат:

$$v_{C2}^2 = \dot{\varphi}^2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2) + \dot{\theta}^2 ((\cos(\varphi) y_{3C2})^2 + (\sin(\varphi) x_{3C2})^2). \quad (18)$$

Подставляя систему уравнений (14) угловых скоростей и формулу (18) определения квадрата скорости центра масс катка, в выражение (13), получим:

$$T_2 = \frac{m_2}{2} \left(\dot{\varphi}^2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2) + \dot{\theta}^2 \left((\cos(\varphi) y_{3C2})^2 + (\sin(\varphi) x_{3C2})^2 \right) \right) + \frac{1}{2} \left(J_{x_4} (\dot{\theta} \cos(\omega t))^2 + J_{y_4} (\dot{\theta} \sin(\omega t))^2 + J_{z_4} \omega^2 \right) \quad (19)$$

Ограничимся в выражении (19) величинами второго порядка малости и, с учетом (9) и (10), запишем:

$$T_2 = \frac{m_2}{2} (\dot{\varphi}^2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2) + \dot{\theta}^2 y_{3C2}^2) + \frac{1}{2} \dot{\theta}^2 (J_{x_4} (\cos(\omega t))^2 + J_{y_4} (\sin(\omega t))^2) + \frac{1}{2} J_{z_4} \omega^2. \quad (20)$$

Имея виду, что осевые моменты инерции катка равны – $J_{x_4} = J_{y_4}$ и, учитывая, что

$$(\cos(\omega t))^2 + (\sin(\omega t))^2 = 1,$$

кинетическую энергию катка можно записать следующим образом:

$$T_2 = \frac{m_2}{2} (\dot{\phi}^2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2) + \dot{\theta}^2 y_{3C2}^2) + \frac{1}{2} \dot{\theta}^2 J_{x4} + \frac{1}{2} J_{z4} \omega^2. \quad (21)$$

Сложив кинетическую энергию катка 2 и рамы 1, а затем сгруппировав слагаемые, можно будет определить кинетическую энергию системы:

$$T = \frac{1}{2} (J_{x3} + m_2 y_{3C2}^2 + J_{x4}) \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} ((J_{z3} + m_2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2)) \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} J_{z4} \omega^2). \quad (22)$$

Обозначим суммы постоянных величин следующим образом:

$$A = J_{x3} + m_2 y_{3C2}^2 + J_{x4} \quad (23)$$

$$B = J_{z3} + m_2 (y_{3C2}^2 + x_{3C2}^2). \quad (24)$$

Тогда выражение кинетической энергии системы примет вид:

$$T = \frac{1}{2} A \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} B \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} J_{z4} \omega^2. \quad (25)$$

Выводы. На основании анализа механической системы прицепного планчато-спирального катка к мотоблоку определены количество степеней свободы, кинематическая связь и положение механической системы в инерциальной системе отсчета, связанной с мотоблоком. Учитывая некоторые допущения, пренебрегая малыми величинами некоторых переменных, на основании уравнения Лагранжа второго рода составлено дифференциальное уравнение движения для обобщенных координат. Для решения дифференциального уравнения движения вычислена кинетическая энергия системы, определяющаяся как сумма кинетических энергий рамы и катка. Полученная теоретическая зависимость для определения кинетической энергии системы, устанавливает связь между осевыми и центробежными моментами инерции, массой, угловой и линейной скоростями рамы и катка. Численные решения полученных выражений позволят определить рациональные конструктивно-технологические параметры прицепного планчато-спирального катка к мотоблоку.

Литература

1. Обоснование энергетических и экономических показателей комбинированного агрегата / Г. С. Юнусов, М. М. Ахмадеева, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 3(41). С. 72–78.
2. Theoretical investigation of increasing efficiency of combine harvester operation on slopes / A. Belinsky, B. Ziganshin, A. Valiev, et al. // Engineering for Rural Development. 18th international scientific conference engineering for rural development. 2019. P. 206–213.
3. Влияние уровня эксплуатации тракторов в сельскохозяйственном производстве на показатели их надежности / И. Г. Галиев, Р. К. Хусаинов, Т. А. Хусаинова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 3 (50). С. 77–80.
4. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization / Apazhev A. K., Shekikhachev Y. A., Fiapshev A. G., et al. // E3S Web of Conferences International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/339159794_Energy_efficiency_of_improvement_of_agriculture_optimization_technology_and_machine_complex_optimization (дата обращения 17.05.2021).
5. Валиев А. Р., Яруллин Ф. Ф. Определение оптимальных параметров взаимного расположения конических рабочих органов на раме почвообрабатывающего орудия // Вестник Казанского ГАУ. 2012. № 3 (25). С. 68–73.
6. Optimization of plow adjustment / Khaliullin D., Belinsky A., Valiev A., et al. // BIO Web of Conferences 27. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources», 2020. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2020/11/bioconf_fies-20_00103/bioconf_fies-20_00103.html (дата обращения 17.05.2021).
7. Валиев А. Р., Ибяттов Р. И., Яруллин Ф. Ф. Обоснование параметров конического почвообрабатывающего рабочего органа путем решения многокритериальной задачи оптимизации // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 7. С. 69–72.
8. Валиев А. Р., Яруллин Ф. Ф. Исследование взаимодействия ротационного конического рабочего органа с почвой // Техника и оборудование для села. 2015. № 10 (220). С. 27–31.
9. Результаты экспериментальных исследований ротационного конического рабочего органа в почвенном канале / А. Р. Валиев, Ф. Ф. Яруллин, Р. И. Ибяттов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2014. №3 (33). С. 78–85.
10. Обоснование уровня дифференциации сельскохозяйственных работ по тракторам / И. Г. Галиев, Б. Г. Зиганшин, Р. К. Абдрахманов и др. // Техника и оборудование для села. 2017. № 10. С. 28–31.
11. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М. Рациональные параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего шлейфа // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 2. С. 146–151.
12. Алёшкин А. В., Дёмшин С. Л., Владимиров Е. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного агрегата для обработки почвы и посева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2009. № 1 (12). С. 143–148.
13. Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops / A. Apazhev, V. Smelik, Y. Shekikhachev, et al. // Engineering for Rural Development. 2019. Vol 18. P. 192–198. doi: 10.22616/ERDev2019.18.N235.
14. Юнусов Г. С., Гилязов Р. М., Майоров А. В. Комбинированный агрегат для предпосевной подготов-

- ки почвы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011. Т. 6. № 1(16). С. 113–115.
15. Аналитическая оценка рабочих органов для мотоблоков / Г. С. Юнусов, А. В. Майоров, Н. Н. Андержанова и др. // Вестник Поволжского государственного университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 1 (13). С. 62–68.
16. Theoretical fundamentals for determining soil erosion potential (energy concept) Part 1 / I. I. Maksimov, N. R. Adigamov, A. A. Mustafin, at al. // Periodico Tche Quimica. 2019. Vol. 16. No. 31. P. 540–557.
17. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener / A. Valiev, I. Mukhametshin, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for Rural Development. 18th international scientific conference. Jelgava, 2019. P. 312–318.
18. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage / F. Yarullin, A. Valiev, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for rural development. 19th international scientific conference. Jelgava, 2020. P. 1069–1075.
19. Study of the influence of the oncoming flow of soil on the screw surface of a subsoiler / Mukhametshin I. S., Valiev A. R., Aleshkin A. V., at al. // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019). Kazan, 2020. URL: https://www.researchgate.net/Publication/339554521_Study_of_the_influence_of_the_oncoming_flow_of_soil_on_the_screw_surface_of_a_subsoiler (дата обращения: 17.04.2021).
20. Маркеев А.П. Теоретическая механика. М.: ЧеРо, 1999. 572 с.
21. Кинематический анализ и обоснование параметров спирально-винтового рабочего органа почвообрабатывающей машины / Л. М. Нуриев, Ф. Ф. Яруллин, С. М. Яхин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 114–119.
22. Kinematic analysis of conical rotary subsoil loosener for tillage / I. Mukhametshin, A. Valiev, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for rural development. 19th international scientific conference. Jelgava, 2020. P. 1946–1952.

Сведения об авторах

Юнусов Губейдулла Сибятуллович – доктор технических наук, профессор кафедры Механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, e-mail: 270144@mail.ru.
 Андержанова Нурия Нургалиевна – аспирант, e-mail: nuri160616@bk.ru
 Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола,
 Алешкин Алексей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры Механики и инженерной графики, e-mail: 00008@vyatsu.ru
 Вятский государственный университет, г. Киров.
 Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор РАН, профессор кафедры машины и оборудования в агробизнесе, e-mail: zigan.66@mail.ru
 Халиуллин Дамир Тагирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: damirtag@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань.

THEORETICAL RESEARCH ROLLER FOR SMALL TILLAGE MACHINE G.S. Yunusov, N.N. Anderzhanova, A.V. Aleshkin, B.G. Ziganshin, D.T. Khaliullin

Abstract. The efficiency of the agricultural sector, and in particular the production of crop products, to a great extent depends on the cost of the products obtained, which can be reduced, taking into account the factors affecting the technical, economic and operational indicators. Every year, the demand for small-sized tillage equipment, which is a real assistant for gardeners when working on their backyard plots, is growing. But in order to increase the functionality of the equipment and the quality of soil preparation for sowing, it is necessary to conduct research on the possibility of using various additional working bodies for the walk-behind tractor. The aim of the research is to develop and study the design of an active roller for a walk-behind tractor, which allows high-quality preparation of the soil for sowing. To solve the set tasks, the mechanical system of a slatted-spiral roller for a walk-behind tractor is considered. The number of degrees of freedom, the kinematic connection and the position of the mechanical system in the inertial frame of reference associated with the walk-behind tractor have been determined. Taking into account some assumptions, neglecting the small values of some variables, on the basis of the Lagrange equation of the second kind, a differential equation of motion for generalized coordinates is compiled. To solve the differential equation of motion, the kinetic energy of the system is calculated, which is determined as the sum of the kinetic energies of the frame and the roller. The expression for determining the kinetic energy of the system depends on the axial and centrifugal moments of inertia, mass, angular and linear speeds of the frame and roller. The expressions obtained make it possible to substantiate the main rational design and technological parameters of a slatted-spiral roller for a walk-behind tractor.

Key words: walk-behind tractor, roller, mechanical system, the stiffness of the springs, the kinetic energy, the Euler equation, equation Lagrange.

References

1. Yunusov GS, Akhmadeeva M. M., Valiev AR. [Substantiation of energy and economic indications of the combined unit]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; 3 (41): 72-78 p.
2. Belinsky A, Ziganshin B, Valiev A. Theoretical investigation of increasing efficiency of combine harvester operation on slopes. Engineering for rural development. 18th International scientific conference engineering for rural development. 2019; 206-213 p.
3. Galiev IG, Khusainov RK, Khusainova TA. [Influence of the level of operation of tractors in agricultural production on the indicators of their reliability]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13; 3 (50): 77-80 p.
4. Apazhev AK, Shekikhachev YA, Fiapshev AG. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization. [Internet]. E3S Web of Conferences International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, 2019; [cited 2021 May 17]. Available from: <https://www.researchgate.net/publica->

tion/339159794_Energy_efficiency_of_improvement_of_agriculture_optimization_technology_and_machine_complex_optimization.

5. Valiev AR, Yarullin FF. [Determination of the optimal parameters of the mutual arrangement of the conical working units on the frame of the tillage tool]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2012; 3 (25): 68-73 p.
6. Khaliullin D, Belinsky A, Valiev A. Optimization of plow adjustment. [Internet]. BIO Web of Conferences 27. International scientific and practical conference "Agriculture and food security: technology, innovation, markets, human resources". 2020; [cited 2021 May 17]. Available from: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2020/11/bioconf_fies-20_00103/bioconf_fies-20_00103.html.
7. Valiev AR, Ibyatov RI, Yarullin FF. [Substantiation of the parameters of a conical tillage working unit by solving a multicriteria optimization problem]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017; 7: 69-72.
8. Valiev AR, Yarullin FF. [Study of the interaction of the rotary conical working unit with the soil]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10 (220): 27-31 p.
9. Valiev AR, Yarullin FF, Ibyatov RI. [Results of experimental studies of a rotary conical working unit in a soil channel]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2014; 3 (33): 78-85 p.
10. Galiev IG, Ziganshin BG, Abdrakhmanov RK. [Substantiation of the level of differentiation of agricultural work on tractors]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2017; 10: 28-31 p.
11. Apazhev AK, Shekikhachev YuA, Khazhmetov LM. [Rational parameters and operating modes of the combined soil-cultivating plume]. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; Vol.53; 2: 146-151 p.
12. Aleshkin AV, Demshin SL, Vladimirov EA. [Substantiation of the design-technological scheme of the combined unit for tillage and sowing]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2009; 1 (12): 143-148 p.
13. Apazhev A, Smelik V, Shekikhachev Y. Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops. Engineering for rural development. 2019; Vol.18: 192-198 p. doi: 10.22616/ERDev2019.18.N235.
14. Yunusov GS, Gilyazov RM, Maiorov AV. [Combined unit for pre-sowing soil preparation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011; Vol.6; 1(16): 113-115 p.
15. Yunusov GS, Maiorov AV, Anderzhanova NN. [Analytical assessment of working units for motoblocks]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii. 2020; 1 (13): 62-68 p.
16. Maksimov II, Adigamov NR, Mustafin AA. Theoretical fundamentals for determining soil erosion potential (energy concept) Part 1. Periodico Tche Quimica. 2019; Vol.16; 31: 540-557 p.
17. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener / A. Valiev, I. Mukhametshin, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for Rural Development. 18th international scientific conference. Jelgava, 2019. P. 312-318.
18. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage / F. Yarullin, A. Valiev, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for rural development. 19th international scientific conference. Jelgava, 2020. P. 1069-1075.
19. Study of the influence of the oncoming flow of soil on the screw surface of a subsoiler / Mukhametshin I. S., Valiev A. R., Aleshkin A. V., at al. // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019). Kazan, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/339554521_Study_of_the_influence_of_the_oncoming_flow_of_soil_on_the_screw_surface_of_a_subsoiler.
20. Markeev AP. Teoreticheskaya mekhanika. [Theoretical mechanics]. Moscow: CheRo. 1999; 572 p.
21. Nuriev LM, Yarullin FF, Yakhin SM. [Kinematic analysis and substantiation of the parameters of the spiral-screw working unit of the tillage machine]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15; 2 (58): 114-119 p.
22. Mukhametshin I, Valiev A, Muhamadyarov F. Kinematic analysis of conical rotary subsoil loosener for tillage. Engineering for rural development. 19th International scientific conference. Jelgava. 2020; 1946-1952 p.

Authors:

Yunusov Gubeidulla Sibyatulloevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Mechanization of production and processing of agricultural products, Mari State University, Yoshkar-Ola, e-mail: 270144@mail.ru.
 Anderzhanova Nuria Nurgalieva – postgraduate student of Mari State University, Yoshkar-Ola, e-mail: nuri160616@bk.ru.
 Mari State University, Mari, Russian
 Aleshkin Aleksey Vladimirovich – Doctor of technical sciences, Professor of Mechanics and engineering graphics Department, e-mail: 00008@vyatsu.ru.
 Vyatka State University, Kirov, Russian
 Ziganshin Bulat Gusmanovich – Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doktor of technical sciences, professor of RAS, professor the chair «Machinery and equipment in agribusiness», e-mail: zigan.66@mail.ru
 Khaliullin Damir Tagirovich – Ph.D. of Technical Sciences, associate professor, Head of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: damirtag@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian