

Научная статья

УДК 631.372

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-79-87

Динамика поворота колесного трактора на склоне

Казбек Дмитриевич Кудзиев¹, Мухтарбек Агубеевич Кубалов²,
Алан Маирбекович Агузаров^{✉3}

Горский государственный аграрный университет, улица Кирова, 37, Владикавказ, Россия, 362040

¹k.d.kudziev@gmail.com

²mechfac-ggau@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8224-9518>

^{✉3}alan-aguzarov@mail.ru

Аннотация. Проблема сохранения плодородия почв стоит особенно остро в горном земледелии, где водная эрозия наносит значительный урон. Наиболее доступным и эффективным методом борьбы с эрозией на склонах является применение специальных почвообрабатывающих технологий, в частности контурной обработки, при которой движение агрегата осуществляется поперек склона. В таких условиях главными показателями, определяющими качество технологического процесса, становятся устойчивость и управляемость мобильных машинно-тракторных агрегатов (МТА). Составлена система уравнений равновесия, учитывающая геометрические параметры трактора, крутизну склона, перераспределение вертикальных реакций почвы по колесам, а также явление бокового увода шин. В отличие от распространенного подхода с цифровым интегрированием, авторы применяют аналитические методы для решения дифференциальных уравнений движения. В результате сложных преобразований получено дифференциальное уравнение, описывающее динамику поворота трактора на склоне, которое в дальнейшем представлено в виде передаточной функции. Показано, что структура передаточной функции колесного МТА на склоне представляет собой последовательное соединение инерционного звена второго порядка, интегрирующего и изодромного звеньев. На примере трактора МТЗ-82 с использованием выражений для коэффициентов передаточной функции построены графики их зависимостей от скорости движения (в диапазоне 1–3 м/с) и крутизны склона (до 15°). Установлено, что все коэффициенты монотонно возрастают с увеличением скорости движения и убывают с ростом крутизны склона. Полученные аналитические выражения позволяют на стадии проектирования оценивать влияние конструктивных параметров и условий эксплуатации на управляемость агрегата, что способствует сокращению дорогостоящих экспериментальных исследований.

Ключевые слова: водная эрозия, колесный трактор, устойчивость движения, поперечный склон, боковой увод шин, передаточная функция, динамика поворота, центр масс, контурная обработка почвы, математическая модель

Для цитирования: Кудзиев К. Д., Кубалов М. А., Агузаров А. М. Динамика поворота колесного трактора на склоне // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 2(52). С. 79–87. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-79-87

Original article

Dynamics of turning a wheeled tractor on a slope

Kazbek D. Kudziev¹, Mukhtarbek A. Kubalov², Alan M. Aguzarov^{✉3}

Gorsky State Agrarian University, 37 Kirov Street, Vladikavkaz, Russia, 362040

¹k.d.kudziev@gmail.com

²mechfac-ggau@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8224-9518>

^{✉3}alan-aguzarov@mail.ru

Abstract. The problem of preserving soil fertility is particularly acute in mountain agriculture, where water erosion causes significant damage. The most accessible and effective method of combating erosion on slopes is the use of special tillage technologies, in particular contour farming, in which the unit moves across the slope. Under such conditions, the main indicators determining the quality of the technological process are the stability and controllability of mobile machine-tractor units (MTU). A system of equilibrium equations was compiled, taking into account the geometric parameters of the tractor, the slope steepness, the redistribution of vertical soil reactions across the wheels, as well as the phenomenon of tire lateral slip. Unlike the common approach of digital integration, the authors apply analytical methods to solve differential equations of motion. As a result of complex transformations, a differential equation describing the dynamics of tractor turning on a slope was obtained, which is further presented in the form of a transfer function. It is shown that the structure of the transfer function of a wheeled MTU on a slope represents a series connection of a second-order inertial element, an integrating element, and an isodromic (first-order lead-lag) element. Using the MTZ-82 tractor as an example, with expressions for the transfer function coefficients, graphs of their dependencies on travel speed (in the range of 1–3 m/s) and slope steepness (up to 15°) were plotted. It was established that all coefficients increase monotonically with increasing speed and decrease with increasing slope steepness. The obtained analytical expressions make it possible to assess the influence of design parameters and operating conditions on the unit's controllability at the design stage, which helps to reduce costly experimental research.

Keywords: water erosion, wheeled tractor, motion stability, lateral slope, tire side slip, transfer function, turning dynamics, center of mass, contour tillage, mathematical mode

For citation: Kudziev K.D., Kubalov M.A., Aguzarov A.M. Dynamics of turning a wheeled tractor on a slope. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;2(52):79–87. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-79-87

Введение. Проблема сохранения плодородия почв наиболее остро проявляется в горном земледелии, где из-за несовершенства почвообрабатывающих технологий и орудий водная эрозия наносит катастрофический урон. Темпы выноса питательных веществ в 1,5 раза превышают темпы их внесения в почву. Среди мероприятий по предотвращению водной эрозии почв наиболее доступным, высокоэффективным и наименее дорогостоящим является использование специальных почвообрабатывающих технологий. К таковым относится «контурная обработка» почв, при которой машинно-тракторный агрегат движется поперек склона [1–3].

Устойчивость и управляемость мобильных сельскохозяйственных агрегатов, предназначенных для работы на склонах с плоским и сложным пересеченным рельефом, являются главными, решающими показателями, определяющими качество выполняемого технологического процесса [4–6].

Для разработки рациональных конструкций мобильных агрегатов сельскохозяйственного назначения следует в стадии проектных работ учитывать параметры, характеризующие устойчивость и управляемость [7–10].

Для достижения поставленной цели зарубежные исследователи работы ведут по двум направлениям: путем проведения огромного объема экспериментов с элементами проверочной теории и, наоборот – путем проведения глубоких теоретических исследований с небольшим объемом экспериментов с целью доказательства достоверности полученных аналитических расчетных выражений.

Для своих исследований мы предпочтение отдаем второму направлению, так как оно обходится значительно дешевле и способствует заметному сокращению дорогостоящего объема экспериментов. Хотя устойчивость и управляемость работы агрегата направлены на обеспечение высокого технологического эффекта данного процесса, целесообразно исследования вести в первую очередь по направлению вскрытия реальной сути устойчивости. Эта цель обычно достигается путем составления уравнений движения исследуемой механической системы. Далее решается система этих уравнений и оценивается устойчивость по одному из известных методов.

Обычно уравнения движения мобильных МТА не интегрируются аналитически, и проводится их цифровое интегрирование, что не

позволяет вскрыть реальную суть происходящих динамических процессов. В данной работе мы попытаемся избежать метода цифрового интегрирования и воспользуемся аналитическими методами, чтобы решить поставленную задачу.

Цель исследования – анализ динамики поворота колесного трактора при движении поперек склона для получения аналитических зависимостей, описывающих его поведение.

Материалы, методы и объекты исследования. При выполнении работы применялись общепринятые нормативные и справочные материалы. В процессе исследования использованы методы теоретической механики и теории устойчивости движения. Объектом исследования является динамическая система «колесный трактор–склон», функционирующая в режиме криволинейного движения (поворота) при выполнении контурной обработки почвы.

Результаты исследования. При движении колесного трактора по склону с углом наклона ν вектор силы тяжести G раскладывается на две составляющие. Продольная состав-

ляющая $G \sin \nu$ приложена к центру масс и направлена параллельно поверхности поля вниз по склону. Нормальная составляющая $G \cos \nu$ направлена перпендикулярно поверхности. На основании расчетных схем (рис. 1, 2), вертикальные реакции почвы на переднюю R_n и заднюю R_z оси определяются по следующим формулам:

$$R_n = \frac{Ga}{L_m} \cdot \cos \nu - \frac{h_{cm}}{L_m} \cdot G \sin \nu \sin \varphi, \quad (1)$$

$$R_z = \frac{Gb}{L_m} \cos \nu + \frac{h_{cm}}{L_m} G \sin \nu \sin \varphi, \quad (2)$$

где

L_m – база трактора;

G – вес трактора;

h_{cm} – высота расположения центра масс трактора;

a, b – расстояние от центра масс соответственно до передней и задней осей трактора;

ν – крутизна склона;

φ – курсовой угол относительно горизонтали.

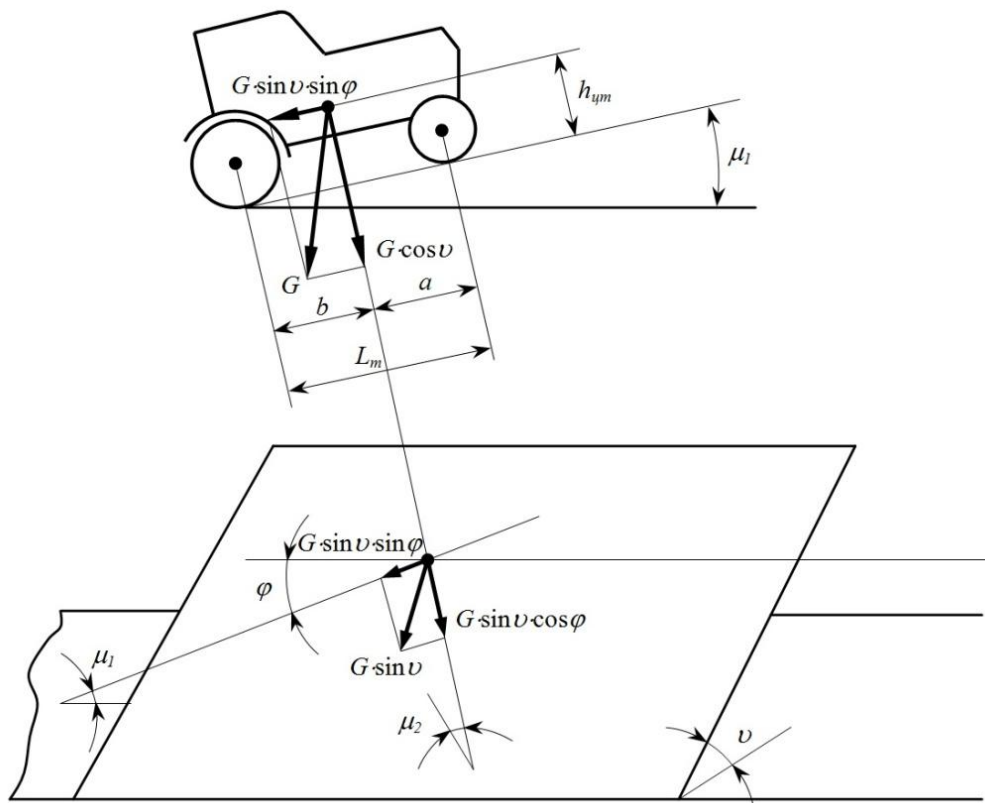


Рисунок 1. Схема движения колесного трактора поперек склона
Figure 1. Diagram of wheeled tractor movement across the slope

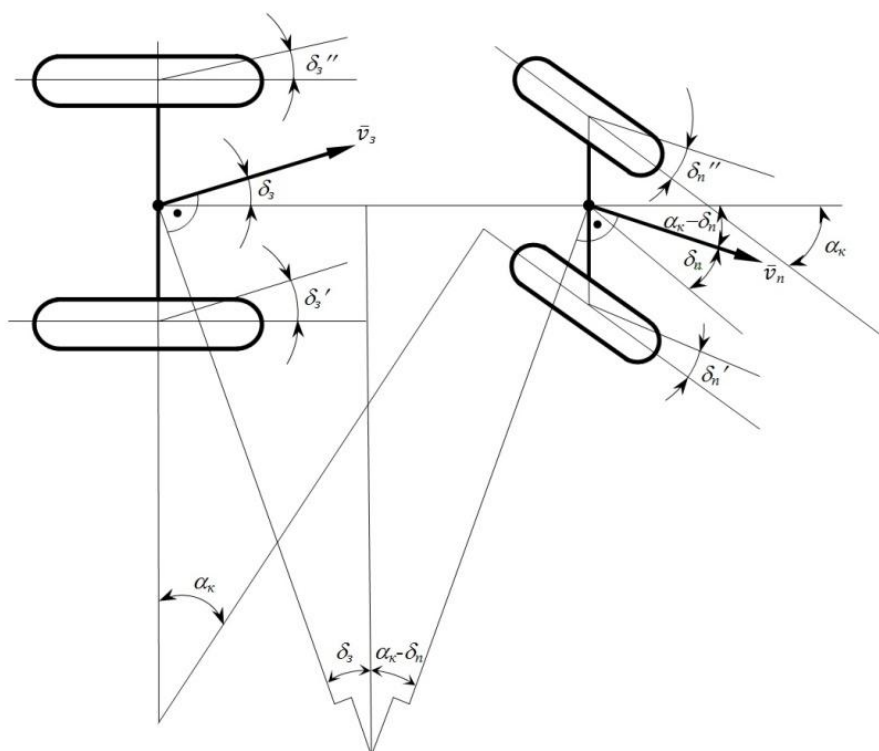


Рисунок 2. Схема определения углов увода передней и задней осей трактора
Figure 2. Diagram for determining the slip angles of the tractor's front and rear axles

На переднюю ось трактора на высоте центра масс ($h_{ум}$) действует составляющая поперечной силы, равная $G \sin \nu \cos \varphi$ (или $\frac{a}{L_m} G \sin \nu \cos \varphi$). Соответственно, на заднюю ось приходится оставшаяся часть этой силы – $\frac{b}{L_m} G \sin \nu \cos \varphi$.

В таком случае вертикальная составляющая реакции опорной поверхности, приложенная к переднему колесу, находящемуся с нижней стороны склона, выражается формулой:

$$R_{nu} = \frac{G}{L_m} \left[a \left(\frac{\cos \nu}{2} - \frac{h_{ум}}{B} \sin \nu \cos \varphi \right) + \frac{h_{ум}}{2} \sin \nu \sin \varphi \right], \quad (3)$$

где

B – колея трактора.

Вертикальная составляющая реакции опорной поверхности, действующая на переднее колесо, расположенное с верхней стороны склона, определяется выражением:

$$R_{ne} = \frac{G}{L_m} \left[a \left(\frac{\cos \nu}{2} + \frac{h_{ум}}{B} \sin \nu \cos \varphi \right) - \frac{h_{ум}}{2} \sin \nu \sin \varphi \right]. \quad (4)$$

Вертикальные реакции опорной поверхности, приходящиеся на задние колеса трактора, определяются следующим образом:

$$R_{zu} = \frac{G}{L_m} \left[b \left(\frac{\cos \nu}{2} - \frac{h_{ум}}{B} \sin \nu \cos \varphi \right) + \frac{h_{ум}}{2} \sin \nu \sin \varphi \right]; \quad (5)$$

$$R_{ze} = \frac{G}{L_m} \left[b \left(\frac{\cos \nu}{2} + \frac{h_{ум}}{B} \sin \nu \cos \varphi \right) - \frac{h_{ум}}{2} \sin \nu \sin \varphi \right]. \quad (6)$$

В случае движения трактора по горизонтальным склонам (поперек уклона) вертикальные составляющие реакций опорной поверхности на его колесах рассчитываются по формулам (1)–(6).

Закономерности движения колесного МТА по склоновой поверхности могут быть представлены с помощью следующей системы уравнений равновесия:

$$Y_1 + Y_2 = N, \quad (7)$$

$$I \cdot \omega = Y_{1a} + Y_{2b}, \quad (8)$$

где

Y_1 – боковая составляющая реакции опорной поверхности, воспринимаемая передним мостом трактора;

Y_2 – боковая составляющая реакции опорной поверхности, воспринимаемая задним мостом трактора;

N – нормальная сила инерции, приложенная к центру масс трактора;

I – момент инерции трактора относительно оси, проходящей через центр масс нормально к поверхности поля;

ω – угловая скорость поворота.

Суммарные боковые реакции, действующие на оси трактора, равны:

$$Y_1 = (R_{нн} + R_{не})\mu_n, \quad (9)$$

$$Y_2 = (R_{зн} + R_{зе})\mu_z, \quad (10)$$

где

μ_n и μ_z – коэффициенты сцепления передних и задних колес трактора с почвой в боковом направлении.

При анализе динамики поворота колесного МТА на склоне необходимо учитывать, что при качении тракторного колеса по горизонтали склона пятно контакта шины с поверхностью почвы искажается под действием боковой составляющей нагрузки и принимает форму искривленного эллипса.

Точка приложения равнодействующих реакций почвы при этом смещается на величину l от продольной плоскости симметрии колеса, что обуславливает наличие бокового увода шин. Величина этого смещения прямо пропорциональна боковому уводу шин:

$$\delta = \frac{l}{R_k}, \quad (11)$$

где

δ – угол бокового увода колеса;

R_k – динамический радиус качения колеса.

С другой стороны, углы увода передней и задней осей соответственно равны:

$$\delta_1 = \xi_1 Y_1; \quad (12)$$

$$\delta_2 = \xi_2 Y_2, \quad (13)$$

где

ξ_1 и ξ_2 – коэффициенты бокового увода передней и задней осей трактора.

Углы увода передней и задней осей трактора, определенные из кинематических соотношений в соответствии с рисунком 2, равны:

$$\delta_1 = \frac{v_{cn} - wa + v\alpha_k}{v}; \quad (14)$$

$$\delta_2 = \frac{v_{cn} + wb}{v}, \quad (15)$$

где

v – проекция скорости трактора на его продольную ось;

v_{cn} – проекция скорости центра масс на ось, перпендикулярную продольной оси трактора;

α_k – угол поворота управляемых колес.

Тогда, используя (8), (11) – (15) и принимая во внимание, что $Y_1 = \frac{2eG_i(1 + \sin \nu)}{B}$,

можно переписать (8) в виде:

$$I_\omega = 2 \frac{a^2(v_{cn} - wa + v\alpha_k)R_{кн}G(1 + \sin \nu)}{L_m B v} - 2 \frac{b^2(v_{cn} + wb)R_{кз}G(1 + \sin \nu)}{L_m B v}. \quad (16)$$

Затем, введя обозначения:

$$\frac{L_m B}{2R_{кн} \cdot a^2 \cdot G(1 + \sin \nu)} = q_1; \quad (17)$$

$$\frac{L_m B}{2R_{кз} \cdot b^2 \cdot G(1 + \sin \nu)} = q_2, \quad (18)$$

после нескольких преобразований из (16), получаем:

$$I_\omega = \left(\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} \right) \frac{v_{cn}}{v} - \left(\frac{a}{q_1} + \frac{b}{q_2} \right) \frac{w}{v} + \frac{1}{q_1} \alpha_k, \quad (19)$$

или, разрешив (19) относительно v_{cn} получаем:

$$v_{cn} = \frac{I_\omega v q_1 q_2 + (a q_2 + b q_1) \omega - q_2 v \alpha_k}{q_1 + q_2}. \quad (20)$$

Продифференцировав (20) по времени и учитывая, что при движении МТА на гоне поступательная скорость изменяется незначительно, т. е. $v \approx 0$, получаем:

$$v_{cn} = \frac{I_\omega v q_1 q_2 + (a q_2 + b q_1) \omega - q_2 v \alpha_k}{q_1 + q_2}. \quad (21)$$

Уравнения (20) и (21) характеризуют взаимосвязь между углом поворота управ-

ляемых колес трактора α_k и угловой скоростью поворота, однако они содержат переменную v_{cn} и ее производную. Для ее исключения необходимо при помощи (7) составить уравнение боковых сил и реакций, действующих на агрегат в поперечном направлении, решить его относительно v_{cn} и ее производной и приравнять правые части полученных выражений к правым частям выражений (20) и (21). Произведя указанные действия (промежуточные выкладки для краткости опущены), получим дифференциальное уравнение, описывающее динамику поворота колесного трактора на склоне в виде:

$$A\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + C\varphi + D\alpha_k + E\alpha_k = 0, \quad (22)$$

где

$$A = \frac{q_1 q_2 I v}{q_2 - q_1}; \quad (23)$$

где

$$T_2^2 = \frac{A}{C} = \frac{q_1^2 \cdot q_2^2 \cdot I \cdot v^2 \cdot abm}{(aq_1 + bq_2)(aq_2 + bq_1) + ab(q_2^2 - q_1^2) + abq_1 q_2 m v^2 (q_2 - q_1)}; \quad (30)$$

$$T_1 = \frac{B}{C} = \frac{(abm + I)(aq_1 + bq_2)q_2 q_1 v}{(aq_1 + bq_2)(aq_2 + bq_1) + ab(q_2^2 + q_1^2) + abq_1 q_2 (q_2 - q_1) m v^2}; \quad (31)$$

$$K_1 = \frac{D}{C} = \frac{q_1 \cdot q_2^2 \cdot v^2 \cdot abm}{(aq_1 + bq_2)(aq_2 + bq_1) + ab(q_2^2 - q_1^2) + abq_1 q_2 (q_2 - q_1) m v^2}; \quad (32)$$

$$K_0 = \frac{E}{C} = \frac{[(aq_1 + bq_2) - b(q_2 - q_1)]q_2 v}{(aq_1 + bq_2)(aq_2 + bq_1) + ab(q_2^2 - q_1^2) + 2abq_1 q_2 (q_2 - q_1) m v^2}. \quad (33)$$

Уравнение (29) можно записать в виде передаточной функции тракторного агрегата по курсовому углу:

$$W_y(0) = \frac{\varphi}{\alpha_k} = \frac{K_1 P + K_0}{P(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)}. \quad (34)$$

Тогда выражения (30)–(33) характеризуют зависимость коэффициентов передаточной функции от скорости движения, крутизны склона и конструктивных параметров агрегата. Для расчета зависимостей коэффициентов передаточной функции колесного трактора от скорости движения и крутизны склона были

$$B = \frac{aq_2 - bq_1}{q_2 + q_1} + \frac{(aq_1 + bq_2)I}{abm(q_2 - q_1)}; \quad (24)$$

$$C = \frac{(aq_1 + bq_2)(aq_2 + bq_1)}{ab(q_2 - q_1)q_2 q_1 m v} - \frac{q_1 - q_2}{q_1 q_2 m v} + v; \quad (25)$$

$$D = \frac{q_2 v}{q_2 - q_1}; \quad (26)$$

$$E = - \left[\frac{aq_1 + bq_2}{ab(q_2 + q_1)qm} - \frac{1}{aq_1 m} \right]. \quad (27)$$

Уравнение (22) можно переписать в виде:

$$T_2^2 \ddot{\varphi} + T_1 \dot{\varphi} + \varphi = K_1 \alpha_k + K_0 \alpha_k \quad (28)$$

или в форме:

$$(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)P_\varphi = (K_1 p + K_0)\alpha_k, \quad (29)$$

использованы следующие численные значения конструктивных параметров трактора МТЗ-82: $G=32340$ Н; $I=2520$ Нм s^2 ; $R_{km}=0,45$ м; $R_{кз}=0,8$ м; $B=1,8$ м; $m=3300$ кг; $a=1,8$ м; $b=0,6$ м.

Рассчитанные с использованием выражений (30)–(33) зависимости коэффициентов передаточной функции от угла склона и скорости движения приведены на рисунке 3.

Выводы. 1. Передаточная функция колесного трактора (МТА) на склоне описывается последовательным соединением инерционного звена второго порядка, а также интегрирующего и изодромного звеньев.

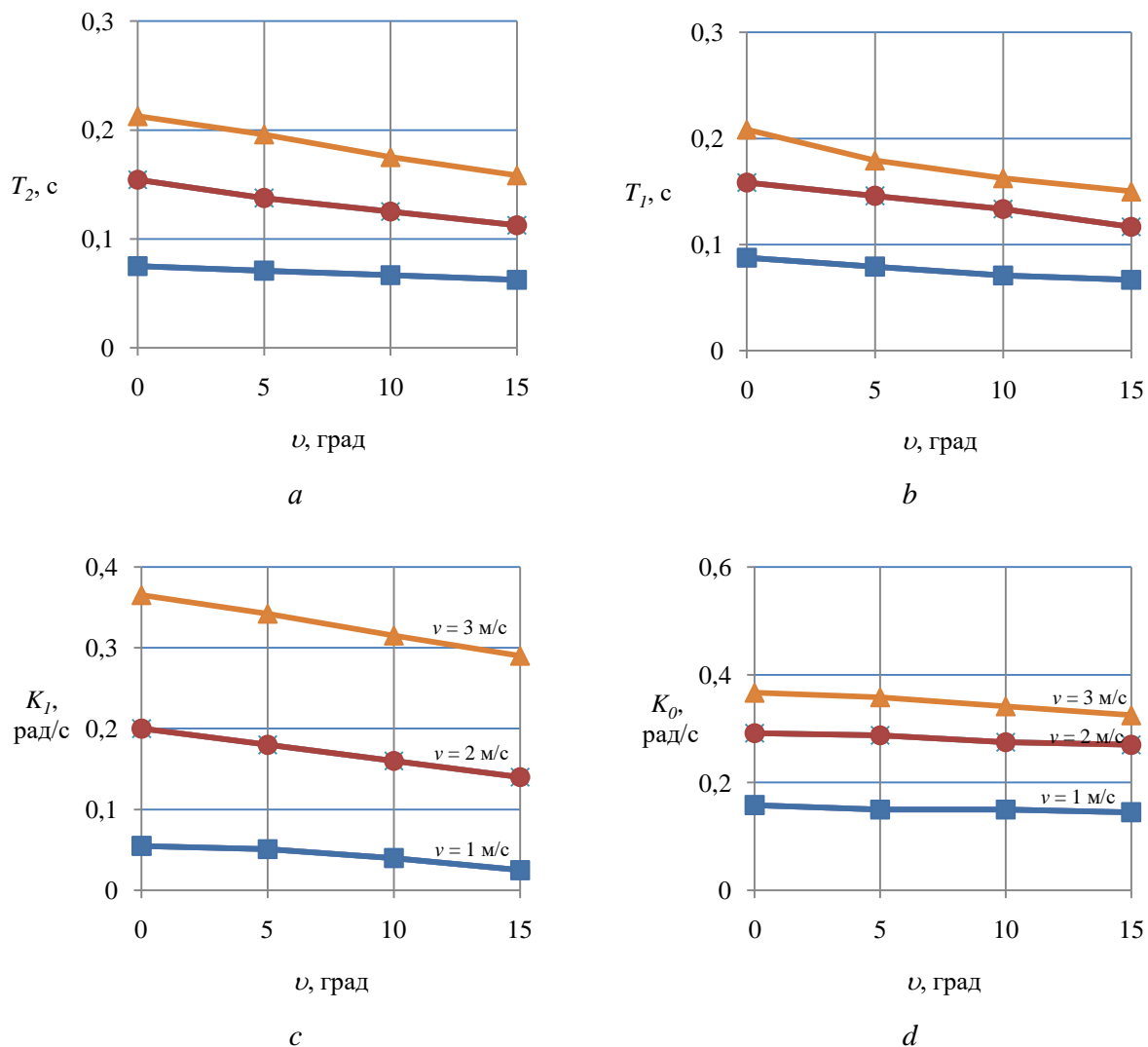


Рисунок 3. Зависимости постоянных времени T_2 (a), T_1 (b), коэффициентов K_1 (c), K_0 (d) от крутизны склона и скорости движения агрегата

Figure 3. Dependences of time constants T_2 (a), T_1 (b), coefficients K_1 (c), K_0 (d) on slope steepness and unit speed of movement

2. Установлено, что коэффициент передаточной функции колесного МТА определяется конструктивными параметрами агрегата, скоростью его движения и крутизной склона.

3. Коэффициенты передаточной функции колесного МТА монотонно возрастают с увеличением скорости движения в диапазоне 1–3 м/с и монотонно убывают с увеличением крутизны склона в диапазоне 0–15° (0–0,25 рад).

Список литературы

1. Исследование движения колесного трактора на склоне / Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев, Л. З. Шекихачева [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2019. № 4(26). С. 81–86. EDN: NXIKNV
2. Шахов В. А., Тарасова С. В., Асманкин Е. М. Обоснование способа теоретического исследования траекториальной устойчивости мобильных энергетических средств в условиях склонового земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 81–83. EDN: RHAAAP
3. Улучшение тягово-сцепных свойств колесных тракторов в условиях склоновых земель Кабардино-Балкарской Республики / Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев, Л. З. Шекихачева, А. Г. Фиापшев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2025. № 3(47). С. 44–49. EDN: YIDMNH

4. Технологическое и техническое обеспечение повышения эффективности интенсивного горного и предгорного садоводства / А. Л. Хажметова, А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2019. № 6(264). С. 23–28. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28. EDN: NERVCY
5. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 4(310). С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: HHJDDY
6. Методика прогнозирования долговечности агрегатов и узлов машин по показателям долговечности их элементов / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.] // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 2 (43). С. 92–100. EDN: ZXFUCE
7. Шекихачев Ю. А. Основные направления повышения надежности деталей сельскохозяйственных машин // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, Заслуженного деятеля науки КБР, доктора биологических наук, профессора Б. Х. Фиапшева. Нальчик, 2025. С. 105–109. EDN: LKIFOP
8. Шекихачев Ю. А. К вопросу обеспечения необходимого уровня надежности сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б.Х. Фиапшева. Нальчик, 2024. С. 163–165. EDN: ACCFLB
9. Шекихачев Ю. А. Техничко-технологические аспекты повышения эффективности сельскохозяйственного производства // Актуальные вопросы аграрной науки: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора А. М. Биттирова. Нальчик, 2024. С. 354–357. EDN: SDYAEH
10. Шекихачев Ю. А. Анализ закономерностей изменения технического состояния машин // Актуальные проблемы современного строительства, природообустройства и механизации сельскохозяйственного производства: материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2023. С. 163–166. EDN: EUFOIK

References

1. Shekikhachev Yu.A., Mishkhozhev V.Kh., Shekikhacheva L.Z. [et al.]. Study of wheel tractor movement on slope. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019;4(26):81–86. (In Russ.). EDN: NXIKNV
2. Shakhov V.A., Tarasova S.V., Asmankin E.M. Substantiation of the practice of theoretical research on the trajectory stability of mobile energy facilities under the conditions of hillside farming. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2013;(5):81–83. (In Russ.). EDN: RHAAAP
3. Shekikhachev Yu.A., Mishkhozhev V.Kh., Shekikhacheva L.Z., Fiapshev A.G. Improvement of traction properties of wheeled tractors in the conditions of sloping lands of the Kabardino-Balkarian Republic. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2025;3(47):44–49. (In Russ.). EDN: YIDMHH
4. Khazhmetova A.L., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. [et al.]. Technological and technical support for improving the efficiency of intensive mountain and foothill gardening. *Machinery and equipment for rural area*. 2019;6(264):23–28. (In Russ.). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28. EDN: NERVCY
5. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. Improving the operational reliability of agricultural machines. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;4(310):12–16. (In Russ.). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: HHJDDY
6. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. *Metodika prognozirovaniya dolgovechnosti agregatov i uzlov mashin po pokazatelyam dolgovechnosti ih elementov* [Methodology for predicting the durability of machine units and components based on the durability indicators of their elements]. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2023;2(43):92–100. (In Russ.). EDN: ZXFUCE
7. Shekikhachev Yu.A. Main directions of increasing the reliability of agricultural machinery parts. *Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost': materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki Rossijskoj Federacii, Zasluzhennogo deyatelya nauki KBR, doktora biologicheskikh nauk, professora B.H. Fiapsheva* [Agricultural land use and food security: Proceedings of the XI International scientific and practical conference dedicated to the memory of the Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Scientist of the Kabardino-Balkarian Republic, Doctor of Biological Sciences, Professor B.Kh. Fiapshev]. 2025. Pp. 105–109. (In Russ.). EDN: LKIFOP
8. Shekikhachev Yu.A. On the issue of ensuring the necessary level of reliability of agricultural equipment. *Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost': materialy H Mezhdunarodnoj*

nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya, professora B.H. Fiapsheva [Agricultural land use and food security: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Honored Scientist of the Russian Federation, the Kabardino-Balkarian Republic, and the Republic of Adygea, Professor B.Kh. Fiapshev]. Nalchik, 2024. Pp. 163–165. (In Russ.). EDN: ACCFLB

9. Shekihachev Yu.A. Technical and technological aspects of increasing the efficiency of agricultural production technical and technological aspects of increasing the efficiency of agricultural production. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki: materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati doktora biologicheskikh nauk, professora A. M. Bittirova* [Current issues in agricultural science: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the memory of Doctor of Biological Sciences, Professor A.M. Bittirov]. Nalchik, 2024. Pp. 354–357. (In Russ.). EDN: SDYAEX

10. Shekihachev Yu.A. Analysis of patterns of changes in the technical condition of machines. *Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva, prirodoobustrojstva i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy III Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii* [Current issues of modern construction, environmental management and mechanization of agricultural production: Proceedings of the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference]. Nalchik, 2023. Pp. 163–166. (In Russ.). EDN: EUFOIK

Сведения об авторах

Кудзиев Казбек Дмитриевич – кандидат технических наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 9355-4280

Кубалов Мухтарбек Агубеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 4923-6000

Агузаров Алан Маирбекович – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 2360-1535

Information about the authors

Kazbek D. Kudziev – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-код: 9355-4280

Mukhtarbek A. Kubalov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-код: 4923-6000

Alan M. Aguzarov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-код: 2360-1535

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

Author's contribution. All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 05.03.2026;
одобрена после рецензирования 23.03.2026;
принята к публикации 30.03.2026.*

*The article was submitted 05.03.2026;
approved after reviewing 23.03.2026;
accepted for publication 30.03.2026.*