Научная статья
УДК 519.8:629.3.014.2.018
doi:10.35694/YARCX.2026.74.2.017

ВЛИЯНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП В УСЛОВИЯХ СКЛОНА

Сария Валейевна Тарасова[1], Николай Михайлович Ожегов[2]
[1, 2]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
Санкт-Петербург, Пушкин, Россия
[1]saria20@mail.ru, ORCID 0009-0001-8347-2534
[2]kaf.atts@spbgau.ru, ORCID 0009-0003-2355-6394

Реферат. В статье представлена математическая модель силового взаимодействия элементов машинно-тракторного агрегата с культиватором КРН-5,6В при работе на склоне. Разработана методика расчёта перераспределения вертикальных нагрузок на опорных колёсах культиватора, обусловленного действием скатывающей составляющей силы тяжести при движении по склону. Установлено, что даже на склонах умеренной крутизны (5–8°) происходит перекос рамы культиватора, приводящий к неравномерной глубине хода рабочих органов на разных секциях. Разность глубин хода между лапами, расположенными на нижней и верхней сторонах склона, достигает 20,5 мм при угле наклона 8°, что превышает агротехнические допуски и создаёт условия для ускоренного абразивного износа. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методов компенсации перекоса рамы и оптимизации режимов работы широкозахватных культиваторов в условиях склонного земледелия.

Ключевые слова: *культиватор КРН-5,6В, машинно-тракторный агрегат, склонное земледелие, перекос рамы, абразивный износ, стрельчатая лапа*

THE EFFECT OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT MOVEMENT STABILITY ON THE WEAR RATE OF CULTIVATOR SHOVELS IN SLOPE CONDITIONS

Sariya V. Tarasova[1], Nikolay M. Ozhegov[2]
[1, 2]Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia
[1]saria20@mail.ru, ORCID 0009-0001-8347-2534
[2]kaf.atts@spbgau.ru, ORCID 0009-0003-2355-6394

Abstract. The article presents a mathematical model of the force interaction of the machine-tractor unit elements with the cultivator KRN-5.6V when operating on a slope. A method for calculating the redistribution of vertical loads on the support wheels of the cultivator, due to the action of the rolling component of gravity when moving along the slope, has been developed. It has been established that even on slopes of moderate steepness (5–8°), the cultivator frame is skewed, leading to an uneven depth of the working tools in different sections. The difference in the working depths between the shovels located on the lower and upper sides of the slope reaches 20.5 mm at an angle of inclination of 8°, which exceeds the agrotechnical tolerances and creates conditions for accelerated abrasive wear. The obtained results can be used in the development of methods for compensating of frame tilt and optimizing the operating modes of wide-span cultivators in mountain farming conditions.

Keywords: *KRN-5.6V cultivator, machine-tractor unit, mountain farming, frame tilt, abrasive wear, duckfoot shovel*

Введение. Значительную долю в структуре затрат на производство продукции растениеводства занимают расходы на техническое обслуживание и ремонт почвообрабатывающей техники. Одной из наиболее массовых машин для предпосевной и междурядной обработки почвы является культиватор КРН-5,6В, широко эксплуатируемый в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации. Основным рабочим органом данного орудия выступает стрельчатая лапа, ресурс которой лимитируется абразивным износом при взаимодействии с почвой.

Проблема абразивного износа культиваторных лап усугубляется при эксплуатации машинно-тракторных агрегатов (МТА) в склонном земледелии, доля которых в структуре сельскохозяйственных угодий ряда регионов достигает 30–40% [1]. В этих условиях возникает неравномерность износа рабочих органов, расположенных на разных секциях одного орудия, что приводит к снижению ресурса, нарушению агротехнических требований и дополнительным экономическим затратам.

При эксплуатации широкозахватных культиваторов типа КРН-5,6В на полях со сложным рельефом наблюда-

ется явление, требующее отдельного научного анализа: интенсивность изнашивания рабочих органов, расположенных на разных секциях одного орудия, может существенно различаться при движении по склону.

Экспериментальными исследованиями К. К. Нуриева установлены количественные характеристики износа стрельчатых лап. Средняя интенсивность износа составляет: на носке – 0,732 мм/га, в средней части крыла – 0,271 мм/га. При этом интенсивность износа на носке превышает износ в средней части крыла в 3,8 раза. Изменение динамики износа по ширине захвата происходит по закону вогнутой параболы [2]. Исследования проводились в условиях Узбекистана на средне-тяжелосуглинистых почвах при культивации хлопчатника с использованием культиватора КХУ-4 и трактора МТЗ-80.

В работах А. М. Колосовского, Н. М. Ожегова рассмотрено совершенствование технологии восстановления быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающих машин методом дуговой наплавки твёрдыми сплавами. Установлено, что наплавка износостойких материалов на рабочие органы обеспечивает прирост ресурса до 40% [3].

Однако все перечисленные исследования выполнены в предположении горизонтальности поля или без учёта влияния уклона рельефа на перераспределение нагрузок между секциями широкозахватного орудия. Влияние угла склона на дифференциальный износ культиваторных лап, расположенных на разных сторонах агрегата, в доступной литературе не изучено.

Для корректного анализа механизма дополнительного износа культиваторных лап, расположенных ниже по склону, необходимо сформулировать понятие «стабильного движения» машинно-тракторного агрегата при работе на рельефах со сложным ландшафтом. В научной литературе, посвящённой вопросам эксплуатации колёсных тракторов и агрегатируемых с ними орудий на склоновых землях, устойчивость движения рассматривается как комплексная характеристика, включающая курсовую устойчивость (способность сохранять заданное направление движения) и траекторную устойчивость (способность двигаться по требуемой технологической колее без аномальных боковых отклонений).

С точки зрения агротехнических требований, предъявляемых к междурядной обработке пропашных культур, стабильным следует считать такое движение МТА, при котором выполняются следующие условия. Во-первых, агрегат движется по прямолинейной или близкой к прямолинейной траектории, обеспечивая равномерное рыхление почвы и подрезание сорняков в междурядьях без повреждения культурных растений. Во-вторых, глубина хода рабочих органов поддерживается в заданных пределах (для культиватора КРН-5,6В при работе со стрельчатыми лапами это диапазон 6–10 см) с допустимым отклонением, не превышающим 1 см. В-третьих, отсутствуют боковые уводы и «рыскание» агрегата, вызывающие перекрытие рядков или, напротив, образование необработанных полос в междурядьях [4].

Однако при переходе от горизонтального поля к участку, расположенному на склоне, выполнение перечисленных условий сталкивается с объективными трудностями, обусловленными действием гравитационной составляющей. При работе на участках с уклоном наблюдается снижение как продольной, так и поперечной устойчивости движения МТА. При этом происходит боковой увод эластичной пневматической шины – колесо катится под углом к плоскости своего вращения, а также происходит сползание трактора вниз по склону. Величина бокового увода зависит от боковой силы, действующей на трактор со стороны склона, боковой эластичности шины, нормальной нагрузки на колесо, а также условий сцепления с опорной поверхностью.

При работе на горизонтальном поле сила тяжести (G) МТА направлена строго вертикально и воспринимается опорными колёсами трактора и культиватора равномерно (с учётом статического распределения масс). Однако при движении на склоне, имеющем угол α относительно горизонта, вектор силы тяжести раскладывается на две составляющие. Нормальная составляющая $G_n = G \cdot \cos\alpha$ прижимает агрегат к поверхности склона, в то время как скатывающая составляющая $G_{ск} = G \cdot \sin\alpha$ стремится сместить МТА вниз по склону [1].

Материалы и методы. Для понимания причин неравномерного износа культиваторных лап, расположенных на разных секциях одного орудия при движении по склону, необходимо рассмотреть полную картину силового взаимодействия элементов машинно-тракторного агрегата как между собой, так и с внешней средой – почвой. В отличие от горизонтального участка, где все силы действуют симметрично относительно продольной оси агрегата, наличие уклона рельефа вносит существенные коррективы в баланс сил, обусловленные гравитационной составляющей (рис. 1).

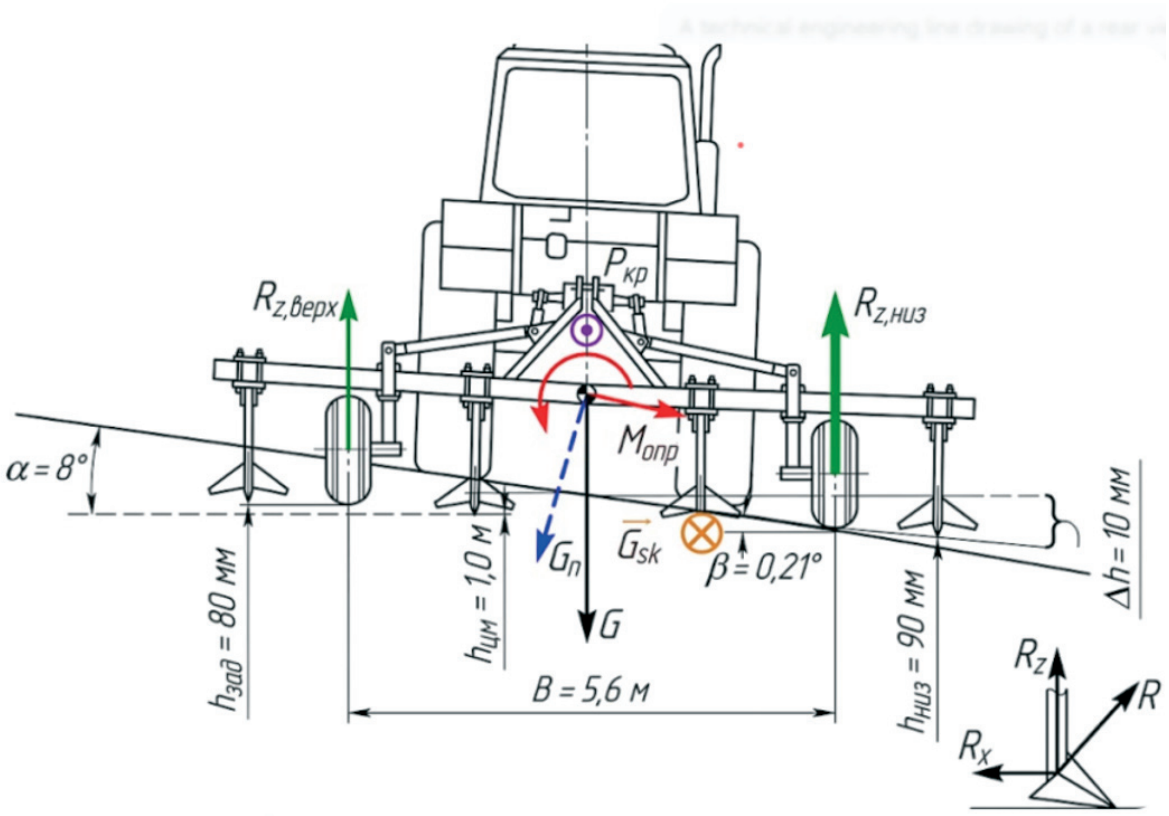
Особую значимость для анализа перекоса рамы имеет момент, создаваемый скатывающей силой относительно продольной оси агрегата. Приложенная на высоте центра масс $h_{цм}$ от поверхности склона сила G_{sk} создаёт опрокидывающий момент [5; 6; 1]:

$$M_{\text{опр}} = G_{\text{ск}} \cdot h_{\text{цм}} = G \cdot sin\,\alpha \cdot h_{\text{цм}}, \qquad (1)$$

где $M_{опр}$ – опрокидывающий момент, Н·м; $G_{ск}$ – скатывающая составляющая силы тяжести, Н; G – сила тяжести машинно-тракторного агрегата, Н; $h_{цм}$ – высота центра масс над поверхностью склона, м; B – ширина колеи опорных колёс культиватора КРН-5,6В; α – угол склона, град.

Опрокидывающий момент стремится наклонить МТА вниз по склону. Реактивными силами ($R_{z,верх}$, $R_{z,низ}$), противодействующими этому моменту, являются вертикальные реакции на опорных колёсах культиватора и колёсах трактора. Поскольку ширина колеи культиватора КРН-5,6В составляет B = 5,6 м, перераспределение вертикальных нагрузок между правым (нижним) и левым (верхним) опорными колёсами описывается соотношениями [5; 6; 1]:

$$R_{z,верх} = \frac{G_n}{2} - \frac{M_{опр}}{B}, \qquad (2)$$



β – суммарный угол перекоса рамы, град.; $R_{z,верх}$ – вертикальная реакция на верхнем (левом) опорном колесе, Н; $R_{z,низ}$ – вертикальная реакция на нижнем (правом) опорном колесе, Н; G – сила тяжести машинно-тракторного агрегата, Н; G_n – нормальная составляющая силы тяжести, Н; ΔRz – разность вертикальных реакций, Н; $M_{опр}$ – опрокидывающий момент, Н·м; $G_{ск}$ – скатывающая составляющая силы тяжести, Н; $h_{цм}$ – высота центра масс над поверхностью склона, м; B – ширина колеи опорных колёс культиватора КРН-5,6В; α – угол склона, град.; Δh – разность глубины хода, м.

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на культиватор КРН-5,6В при работе на склоне

$$R_{z,низ} = \frac{G_n}{2} + \frac{M_{опр}}{B}, \quad (3)$$

где $R_{z,верх}$ – вертикальная реакция на верхнем (левом) опорном колесе, Н; $R_{z,низ}$ – вертикальная реакция на нижнем (правом) опорном колесе, Н; G_n – нормальная составляющая силы тяжести, Н; ΔRz – разность вертикальных реакций, Н.

Разность нагрузок между нижним и верхним колёсами составляет:

$$\Delta R_z = R_{z,низ} - R_{z,верх} = \frac{2M_{опр}}{B} = \frac{2G \cdot \sin\alpha \cdot h_{цм}}{B}. \quad (4)$$

Анализ этого выражения показывает, что при увеличении угла склона α разность нагрузок возрастает пропорционально sin α. При ширине захвата B = 5,6 м даже относительно небольшое значение α приводит к заметному перераспределению нагрузок.

Важным фактором, усугубляющим перекос рамы, является наличие упругих элементов в конструкции МТА. Пневматические шины опорных колёс обладают конечной радиальной жёсткостью. Под действием возросшей нагрузки $R_{z,низ}$ шина нижнего колеса деформируется сильнее, чем шина верхнего колеса, что приводит к дополнительному наклону рамы. Суммарный угол перекоса рамы β можно определить из геометрических соображений:

$$\beta = \frac{\Delta h_ш}{B} = \frac{R_{z,низ} - R_{z,верх}}{c_ш \cdot B}, \quad (5)$$

где $\Delta h_ш$ – разность деформаций шин верхнего и нижнего опорных колёс, м; β – суммарный угол перекоса рамы, град.; $c_ш$ – радиальная жёсткость шины опорного колеса, Н/м.

Следствием перекоса рамы на угол β является изменение глубины хода рабочих органов, установленных на разных секциях. Поскольку рабочие органы (стрельчатые лапы) жёстко закреплены на стойках, которые, в свою очередь, связаны с рамой через параллелограммные механизмы, изменение пространственного положения рамы непосредственно влияет на глубину погружения лап в почву.

Для лап, расположенных на нижней (по склону) стороне культиватора, глубина хода $h_{низ}$ оказывается больше номинальной $h_{зад}$ на величину, пропорциональную половине ширины захвата и углу перекоса:

$$h_{низ} = h_{зад} + \frac{B}{2} \cdot \beta. \quad (6)$$

Для лап на верхней стороне глубина хода уменьшается:

$$h_{верх} = h_{зад} - \frac{B}{2} \cdot \beta. \quad (7)$$

Разность глубин хода между нижними и верхними лапами составляет:

$$\Delta h = h_{низ} - h_{верх} = B \cdot \beta. \quad (8)$$

Эта разность может достигать значений, при которых нижние лапы работают на глубине, существенно превышающей агротехнически обоснованную. Увеличение глубины хода, в свою очередь, переводит рабочие органы в более плотные горизонты почвы, где концентрация абразивных частиц выше, а сопротивление перемещению рабочего органа возрастает.

Таким образом, физический механизм возникновения перекоса рамы культиватора КРН-5,6В при работе на склоне включает последовательную цепь явлений: действие скатывающей составляющей силы тяжести → возникновение опрокидывающего момента → перераспределение вертикальных реакций на опорных колёсах → упругая деформация шин и элементов конструкции → перекос рамы в поперечной плоскости → изменение глубины хода рабочих органов на разных секциях → ускоренный износ лап, расположенных ниже по склону.

Для количественного анализа явления перекоса рамы культиватора КРН-5,6В при работе на склоне разработана математическая модель, связывающая угол наклона рельефа с величиной дополнительного заглубления рабочих органов, расположенных ниже по склону.

Результаты. Культиватор КРН-5,6В представляет собой навесную машину, агрегатируемую с тракторами тягового класса 1,4 (БЕЛАРУС-82.1). Основные технические характеристики, значимые для настоящего расчёта: рабочая ширина захвата B = 5,6 м; масса культиватора (конструкционная) $m_к$ = 940–1300 кг; глубина обработки $h_{зад}$ = 6–16 см; количество секций – 9; тип подвески секций – параллелограммная; опорные колёса – пневматические [4]. При выполнении оценочных расчётов в качестве массы культиватора принимается среднее значение $m_к$ = 1100 кг, а масса трактора БЕЛАРУС-82.1 с учётом навесного оборудования составляет $m_{тр}$ = 4000 кг.

Разность нагрузок между нижним и верхним колёсами составляет [5; 6; 1]:

$$\Delta R_z = R_{z,низ} - R_{z,верх} = \frac{2G \cdot \sin\alpha \cdot h_{цм}}{B}. \quad (9)$$

Подставляя численные значения (G = 50031 Н; $h_{цм}$ = 1,0 м; B = 5,6 м),

$$\Delta R_z = \frac{2 \cdot 50031 \cdot \sin\alpha \cdot 1{,}0}{5{,}6} = 17868 \cdot \sin\alpha \; H. \quad (10)$$

Для примера на склоне с углом α = 8° (sin 8° = 0,1392):

$$\Delta R_z = 17868 \cdot 0{,}1392 \approx 2487 \; H \approx 2{,}5 \; кН. \quad (11)$$

Таким образом, нижнее опорное колесо культиватора нагружено дополнительной силой около 2,5 кН по сравнению с верхним колесом. Это перераспределение нагрузок является первопричиной перекоса рамы.

Определение угла перекоса рамы. Под действием разности нагрузок происходит упругая деформация пневматических шин опорных колёс. Радиальная жёсткость шины сельскохозяйственного колеса типоразмера 5.00-10 (применяемого на опорных колёсах культиватора КРН-5,6В) составляет ориентировочно $c_ш$ = 250–350 кН/м. Примем для расчёта среднее значение $c_ш$ = 300 кН/м.

Дополнительная деформация (осадка) шины нижнего колеса под действием дополнительной нагрузки [1]:

$$\Delta h_{ш,низ} = \frac{\Delta R_z \div 2}{c_ш} = \frac{1243{,}5}{30000} \approx 0{,}00414 \; м = 4{,}1 \; мм. \quad (12)$$

Одновременно происходит разгрузка верхнего колеса, что приводит к уменьшению его деформации (шина «распрямляется») на величину:

$$\Delta h_{ш,верх} = \frac{\Delta R_z \div 2}{c_ш} = 4{,}1 \; мм. \quad (13)$$

Суммарное изменение взаимного положения опорных колёс в вертикальной плоскости:

$$\Delta h_ш = \Delta h_{ш,низ} + \Delta h_{ш,верх} = 8{,}2 \; мм. \quad (14)$$

Изменение глубины хода рабочих органов, расположенных на разных сторонах культиватора, определяется геометрией перекоса рамы. Для лап, расположенных на расстоянии $B \div 2$ = 2,8 м от продольной оси агрегата, изменение глубины хода составляет:

для нижних лап (дополнительное заглубление):

$$\Delta h_{низ} = \frac{B}{2} \cdot \beta = 2{,}8 \cdot 0{,}00366 \approx \approx 0{,}01025 \; м = 10{,}3 \; мм; \quad (15)$$

для верхних лап (выглубление):

$$\Delta h_{верх} = \frac{B}{2} \cdot \beta = 10{,}3 \; мм. \quad (16)$$

Суммарная разность глубин хода между нижними и верхними лапами:

$$\Delta h = B \cdot \beta = 5{,}6 \cdot 0{,}00366 \approx \approx 0{,}0205 \; м = 20{,}5 \; мм. \quad (17)$$

При заданной глубине обработки $h_{зад}$ = 80 мм (8 см – типовое значение для предпосевной культивации стрельчатыми лапами) фактическая глубина хода составит:

для лап, расположенных выше по склону,

$$h_{верх} = h_{зад} - \frac{\Delta h}{2} = 80 - 10{,}3 \approx 69{,}7 \; мм; \quad (18)$$

для лап, расположенных ниже по склону,

$$h_{низ} = h_{зад} + \frac{\Delta h}{2} = 80 + 10{,}3 \approx 90{,}3\ мм. \quad (19)$$

Относительное отклонение глубины хода нижних лап от заданного значения:

$$\delta = \frac{h_{низ} - h_{зад}}{h_{зад}} \cdot 100\% = \frac{10{,}3}{80} \cdot 100\% \approx 12{,}9\%, \quad (20)$$

где δ – относительное отклонение глубины хода, %.

Обсуждение. Выполненный математический анализ показывает, что при движении культиватора КРН-5,6В по склону с углом α = 8° происходит следующее:

– перераспределение вертикальных нагрузок на опорных колёсах достигает $\Delta R_z \approx 2{,}5$ кН, что составляет около 5% от общей силы тяжести МТА;

– вследствие упругой деформации шин и элементов конструкции рама культиватора перекашивается на угол $\beta \approx 0{,}00366$ рад (0,21°);

– разность глубин хода между лапами, расположенными на нижней и верхней сторонах склона, составляет $\Delta h \approx 20{,}5$ мм;

– лапы, расположенные ниже по склону, заглубляются на 90 мм вместо заданных 80 мм, что превышает агротехнический допуск (±10 мм) более чем в 2 раза;

– относительное превышение глубины хода нижних лап составляет около 13%.

Представленная математическая модель является приближённой и имеет следующие ограничения. Во-первых, не учитывается влияние деформации почвы под опорными колёсами, которая может как увеличивать, так и уменьшать перекос рамы в зависимости от твёрдости и влажности почвы. Во-вторых, коэффициент k_β, учитывающий податливость элементов конструкции, требует уточнения на основе экспериментальных данных для конкретных экземпляров культиваторов с различной степенью износа шарнирных соединений. В-третьих, модель предполагает статическое равновесие, тогда как в реальных условиях движение МТА сопровождается динамическими колебаниями, которые могут усиливать негативный эффект.

Тем не менее, полученные результаты позволяют количественно оценить масштаб явления: даже на склонах умеренной крутизны (5–7°) дополнительное заглубление нижних лап составляет 13–18 мм, что превышает агротехнические допуски и создаёт условия для ускоренного абразивного износа. При увеличении угла склона до 10–12° превышение глубины хода достигает 25–30 мм, что переводит работу нижних лап в заведомо неблагоприятный режим с точки зрения как агротехники, так и ресурса рабочих органов.

Выводы. На основании проведённого теоретического анализа можно сформулировать следующие основные выводы.

Внешне стабильное движение МТА с культиватором КРН-5,6 по склону (отсутствие рыскания, пробуксовки и активного подруливания) не тождественно равномерности нагружения всех секций культиватора. Гравитационная составляющая силы тяжести создаёт опрокидывающий момент, приводящий к перераспределению вертикальных реакций на опорных колёсах.

Вследствие упругой деформации пневматических шин и элементов конструкции рама культиватора перекашивается в поперечной плоскости, что приводит к изменению глубины хода рабочих органов: лапы, расположенные ниже по склону, заглубляются больше заданного значения, а расположенные выше – меньше.

Разность глубин хода между нижними и верхними лапами определяется выражением $\Delta h = \frac{2k_\beta \cdot G \cdot h_{цм} \cdot \sin\alpha}{c_ш \cdot B}$ и для склона 8° составляет около 20,5 мм.

Относительное превышение глубины хода нижних лап над заданным значением (80 мм) достигает 13%, что превышает агротехнический допуск более чем в 2 раза и создаёт предпосылки для ускоренного абразивного износа.

Список источников

1. Тарасова С. В., Асманкин Е. М., Ушаков Ю. А. Специфика методического обеспечения траекториальной устойчивости машинно-тракторного агрегата в условиях склонного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (103). С. 149–154. DOI 10.37670/2073-0853-2023-103-5-149-154. EDN RBMJLQ.

2. Нуриев К. К., Кувандиков Е. Т., Кабилов Б. У. Исследование изменения основных параметров лезвия серийной стрельчатой лапы культиватора при абразивном износе // Universum: технические науки. 2023. № 11-2 (116). С. 50–53. EDN TAWOZF.

3. Колосовский А. М., Рожков А. С., Ожегов Н. М., Черкасов В. Е. Упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2023. № 6 (362). С. 43–51. DOI 10.33979/2073-7408-2023-362-6-43-51. EDN JSFDIG.

4. Донцов И. Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 9. С. 31–34. EDN JUMBSJ.

5. Ожегов Н. М., Бондар К. А., Цыплакова И. В., Михайлов А. А. Модернизация динамического давления почвенной абразивной среды в зоне контактного взаимодействия с поверхностью клина // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 72–75. EDN JHIWHK.

6. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв : монография. Киев : Феникс, 2008. 265 с. ISBN 978-966-651-621-6.

References

1. Tarasova S. V., Asmankin E. M., Uskhakov Yu. A. Specifika metodicheskogo obespecheniya traektorial'noj ustojchivosti mashinno-traktornogo agregata v usloviyah sklonnogo zemledeliya // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 5 (103). S. 149–154. DOI 10.37670/2073-0853-2023-103-5-149-154. EDN RBMJLQ.

2. Nuriev K. K., Kuvandikov E. T., Kabilov B. U. Issledovanie izmeneniya osnovnyh parametrov lezviya serijnoj strel'chatoj lapy kul'tivatora pri abrazivnom iznose // Universum: tekhnicheskie nauki. 2023. № 11-2 (116). S. 50–53. EDN TAWOZF.

Влияние устойчивости движения машинно-тракторного агрегата на интенсивность износа культиваторных лап в условиях склона

3. Kolosovskij A. M., Rozhkov A. S., Ozhegov N. M., Cherkasov V. E. Uprochnenie rabochih organov sel'skohozyajstvennyh mashin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2023. № 6 (362). S. 43–51. DOI 10.33979/2073-7408-2023-362-6-43-51. EDN JSFDIG.

4. Dontsov I. E. Ustojchivost` dvizheniya MTA s orudiyami frontal`noj ili zadnej naveski // Traktory` i sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. 2008. № 9. S. 31–34. EDN JUMBSJ.

5. Ozhegov N. M., Bondar K. A., Tsyplakova I. V., Mikhajlov A. A. Modernizaciya dinamicheskogo davleniya pochvennoj abrazivnoj sredy v zone kontaktnogo vzaimodejstviya s poverhnost'yu klina // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2022. № 61. S. 72–75. EDN JHIWHK.

6. Panov I. M., Vetokhin V. I. Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv : monografiya. Kiev : Feniks, 2008. 265 s. ISBN 978-966-651-621-6.

Сведения об авторах

Сария Валейевна Тарасова – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 8700-4230.

Николай Михайлович Ожегов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», spin-код: 7422-1246.

Information about the authors

Sariya V. Tarasova – Candidate of Technical Sciences, Docent, Doctoral Student of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", spin-code: 8700-4230.

Nikolay M. Ozhegov – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", spin-code: 7422-1246.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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