

Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной

Григорий Александрович Иовлев,
кандидат экономических наук, доцент,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Ирина Игоревна Голдина,
старший преподаватель,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. Тяговые свойства трактора зависят от многих факторов: мощности двигателя, эксплуатационной массы и ее распределения между мостами, размерности, профиля, диапазона и количества передач. Кроме этого важно техническое состояние трактора – от топливной системы, влияющей на выходные показатели мощности двигателя, до ходовой части, влияющей на проходимость, управляемость, деформацию почвы. (*Цель исследования*) Изучить влияние на тяговые свойства трактора способа соединения с сельскохозяйственной машиной, массы сельскохозяйственной машины, ширины захвата на основные технико-экономические показатели. Проанализировать зависимость от геометрических параметров трактора и сельскохозяйственных машин реакции почвы под опорными колесами машины, передними и задними колесами трактора. Определить влияние конструктивных особенностей культиваторов с различной шириной захвата на основные эксплуатационные свойства машинно-тракторного агрегата. (*Материалы и методы*) Исследование эксплуатации трактора «Беларус 82.1» с культиваторами КПС-4 и КПС-5 различных производителей проводили с использованием расчетного, расчетно-конструктивного, расчетно-графического, экономико-математических методов, а также сравнения, измерения, описания. (*Результаты и обсуждение*) Определили показатели, влияющие на изменение нагрузки, которая передается на трактор от навесных культиваторов. По этим показателям определены изменения реакций почвы на опорные колеса культиваторов и задние колеса трактора. (*Выводы*) На основании расчетов по влиянию навесных культиваторов с различной шириной захвата (эксплуатационной массой) на перераспределение реакций почвы между мостами определено изменение тягового усилия трактора, производительность машинно-тракторного агрегата, удельный расход топлива.

Ключевые слова: мощность двигателя, движитель, коэффициент сцепления, реакция почвы, тяговое сопротивление, равновесие моментов, толкающая сила.

■ **Для цитирования:** Иовлев Г.А., Голдина И.И. Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 75-81. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81. EDN: HFALZX.

Dependence of Tractor Traction Properties on Agricultural Machinery Connections

Gregory A. Iovlev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Irina I. Goldina,
senior lecturer,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Tractor traction properties depend on many factors including engine power, operating weight and tractor weight distribution across axles, dimensions, profile, gears range and gear count in the gearbox. Moreover, the tractor technical condition plays a vital role, encompassing aspects from the fuel system affecting the engine power output, to the chassis, influencing terrain traversability, maneuverability, and soil deformation. (*Research purpose*) The paper addresses several research problems. To investigate the impact of the agricultural machinery connections with the tractor on the tractor traction properties, and determine the impact of agricultural machinery weight, and grip width on the main technical and economic parameters. To analyze how geometrical parameters of tractors and agricultural machinery correlate with soil reactions under the machine support wheels as well as the front and rear wheels of the tractor. To determine the influence of the design characteristics of cultivators with varying working widths on the main operational properties of the machine-tractor unit. (*Materials and methods*) The study involves examining the operation of the *Belarus 82.1* tractor with cultivators *KPS-4* and *KPS-5* from different manufacturers. Various methods were employed, including

calculation, calculation-construction, calculation-graphic analysis, economic-mathematical techniques, along with comparison, measurement, and description. (*Results and discussion*) This study identified indicators impacting the load redistribution transmitted to the tractor from mounted cultivators. Based on these indicators, alterations in soil reactions under cultivator support wheels and the tractor's rear wheels were deduced. (*Conclusions*) The calculations on the effect of mounted cultivators with different working widths (different operating weight) on the redistribution of soil reactions between axles, enabled the determination of modifications in tractor traction force, machine-tractor unit productivity, and specific fuel consumption.

Keywords: engine power, propulsor, friction coefficient, soil reaction, traction resistance, moment balance, pushing force.

For citation: Iovlev G.A., Goldina I.I. Zavisimost' tyagovykh svoystv traktora ot tipa soedineniya s sel'skokhozyaystvennoy mashinoy [Dependence of tractor traction properties on agricultural machinery connections]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 75-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81. EDN: HFALZX.

При формировании парка транспортно-технологических машин для выполнения комплекса работ по возделыванию сельскохозяйственных культур задействуют тракторы с различными тяговыми усилиями и энергонасыщенностью. Для выполнения эксплуатационных операций с трактором соединяют сельскохозяйственные машины с различной шириной захвата. По способу соединения с трактором различают навесные и прицепные машины.

Тяговые свойства трактора определяются его движущей силой, весом и коэффициентом сцепления с почвой. Коэффициент сцепления зависит от агрофона обрабатываемой почвы, состояния дорог и при выполнении транспортных операций равен от 0,5 до 0,9. При расчете тяговых свойств необходимо также учитывать уклон обрабатываемой поверхности и дорожного полотна.

В эксплуатационном весе трактора важна вертикальная составляющая тягового сопротивления агрегата, которая зависит от величины тягового сопротивления и угла приложения тягового усилия. Это значит, при работе с навесными орудиями следует учитывать влияние их силового воздействия на тяговые свойства колесных тракторов.

Цель исследования. Изучить влияние на тяговые свойства трактора способа соединения с сельскохозяйственной машиной; определить зависимость от геометрических параметров трактора и сельскохозяйственных машин реакции почвы под их колесами; влияние конструктивных особенностей культиваторов с различной шириной захвата на эксплуатационные свойства машинно-тракторного агрегата.

Материалы и методы. Исследование выполнено с использованием руководства по эксплуатации трактора «Беларус 82.1», культиваторов КПС-4 и КПС-5, а также с учетом информации в опубликованных работах отечественных и зарубежных ученых.

Использовались методы:

- расчетный, расчетно-конструктивный, расчетно-графический, измерения (определение центра тяжести у трактора, культиватора, реакции почвы на опорные колеса культиваторов, колеса трактора, угла между горизонталью и результирующей силы от

тягового сопротивления и веса культиватора, угла наклона нижних тяг навески трактора);

- сравнения (реакции почвы на опорное колесо культиватора и колеса трактора при сравнении эксплуатационных свойств агрегата с различными культиваторами);

- описания (формирование тяговых свойств трактора);

- экономико-математические (сравнение эксплуатационных свойств машинно-тракторного агрегата).

Результаты и обсуждение. Сельскохозяйственные машины в зависимости от способа соединения с трактором по-разному влияют на формирование его тяговых свойств. Отмечается, что использование в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) навесных машин и орудий изменяет распределение нормальных реакций почвы на колеса трактора [1, 2]. Совершенствование технологических процессов в растениеводстве связано с научно обоснованным выбором рациональных параметров МТА, в том числе его подъемно-навесного устройства (ПНУ).

Данным направлением занимались многие отечественные ученые, рассматривая влияние на тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины расстояния между рабочими органами в продольной плоскости [3, 4]. Коллектив авторов под руководством Кравченко В.А., используя теоретико-экспериментальный метод исследования при оценке эффективности различных вариантов движителей, рассмотрели реакции типов почвы, различных агрофонов на «широкопрофильные шины» и с увеличенным наружным диаметром [5-7]. При оценке эффективности учитывались такие показатели, как кинематический радиус качения r_k , нормальная нагрузка R к горизонтальной поверхности на испытываемое колесо. В этих исследованиях также изучались тягово-сцепные свойства шин из новых материалов [5-7].

Для снижения реакций почвы на колеса, повышения эксплуатационных свойств предлагается устанавливать сдвоенные колеса, а для баллаستирования использовать воду или незамерзающий раствор хлорида кальция [8, 9].

Результаты изучения эксплуатационных свойств сельскохозяйственных тракторов приведены и в [10].

Кроме того, определенный вклад в изучение данной темы внесли работы [11-13].

Основной целью исследования, результаты которого обобщены в данной статье, было определение влияния способа соединения сельскохозяйственной машины с трактором на его тяговые свойства.

Расчеты влияния навесных культиваторов КПС-4 и КПС-5 на тяговые свойства трактора «Беларус 82.1» проведены, исходя из действующих на МТА сил (рис. 1).

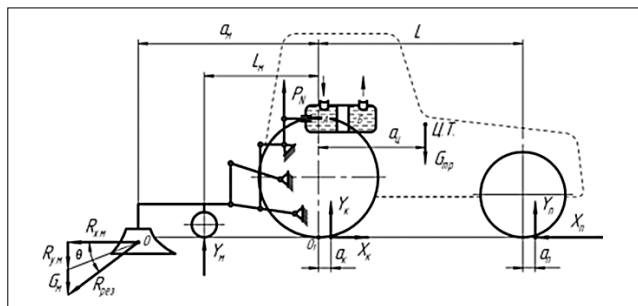


Рис. 1. Силы, действующие на машинно-тракторный агрегат в продольной плоскости

Fig. 1. Forces acting on the machine-tractor unit in the longitudinal plane

Для определения влияния навесных орудий на повышение сцепного веса трактора используем уравнение равновесия моментов относительно точки O_1 [14]:

$$a_M \cdot R_{xM} \cdot \operatorname{tg} \theta - Y_M \cdot L_M + Y_K \cdot a_K + Y_P (L + a_P) - G_{TP} \cdot a_{Ц} = 0, \quad (1)$$

где a_M – расстояние от центра заднего моста до центра тяжести культиватора;

R_{xM} – тяговое сопротивление культиватора;

θ – угол между горизонталью и результирующей силы от тягового сопротивления и веса культиватора, град;

Y_M – реакция почвы на опорные колеса культиватора;

L_M – расстояние от центра заднего моста до центра опорного колеса культиватора;

Y_K – реакция почвы на задние колеса;

a_K – смещение приложения реакции почвы и толкающей силы на заднем колесе;

Y_P – реакция почвы на передние колеса;

L – база трактора;

a_P – смещение приложения реакции почвы и толкающей силы на переднем колесе;

G_{TP} – эксплуатационный вес трактора;

$a_{Ц}$ – расстояние от центра заднего моста до центра тяжести трактора.

После преобразования уравнения (1) реакция почвы на задние колеса

$$Y_K \cdot a_K = Y_M \cdot L_M - a_M \cdot R_{xM} \cdot \operatorname{tg} \theta - Y_P (L + a_P) + G_{TP} \cdot a_{Ц}. \quad (2)$$

Для расчетов по формуле (2) известны следующие величины:

$L_M = 1539$ мм (1089 мм от центра заднего моста до центра шаровых опор нижних тяг, 450 мм от прицепного устройства до центра опорного колеса культиватора);

$L = 2450$ мм;

$R_{xM} = 7,99$ кН (815 кг);

$a_M = 1739$ мм (1089 мм от центра заднего моста до центра шаровых опор нижних тяг, 650 мм от прицепного устройства до центра тяжести культиватора);

$G_{TP} = 36,8$ кН (3750 кг);

$a_{Ц} = (Y_P \cdot L) / G_{TP} = (1407 \cdot 2450) / 3750 = 919$.

Для определения смещения приложения реакции почвы и толкающей силы на колесах можно использовать формулу:

$$f = a / r, \quad (3)$$

где f – коэффициент сопротивления качению колеса; r – динамический радиус колеса, мм [15].

После преобразования формулы (3) получаем:

для ведущего колеса $a_K = f \cdot r_K = 0,105 \cdot 824 = 86,5$ мм;

для ведомого колеса $a_P = f \cdot r_K = 0,105 \cdot 500 = 52,5$ мм.

Для определения реакции почвы на задние колеса необходимо определить реакцию почвы на опорные колеса культиватора:

$$Y_M = R_{xM} \cdot \operatorname{tg} \theta - R_{xM} \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (4)$$

где γ – угол наклона нижних тяг навески трактора, град.

Углы $\theta = 20^\circ$ и $\gamma = 10^\circ$ определены расчетно-графическим методом с использованием инструкций по эксплуатации трактора «Беларус 82.1» и культиватора КПС-4. Получаем:

$$Y_M = 815 \cdot 0,364 - 815 \cdot 0,1763 = 296,7 - 143,7 = 153 \text{ кг.}$$

Преобразовав уравнение (2), находим значение реакции почвы на задние колеса при использовании культиватора КПС-4. С учетом того, что $Y_K \cdot a_K + Y_P \times a_P = M_f$ (M_f – момент сопротивления качению колеса), по оптимальному распределению эксплуатационного веса трактора между мостами момент сопротивления качению колеса:

$$M_f = 2343 \cdot 0,0865 + 1407 \cdot 0,0525 = 202,7 + 73,9 = 276,6 \text{ кг.}$$

Реакция почвы на задние колеса Y_K численно равна эксплуатационной массе машинно-тракторного агрегата, приходящейся на задний мост трактора:

$$Y_K = [G_{TP} \cdot (L - a_{Ц}) + R_{xM} \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot (L + a_M) - Y_M \cdot (L + L_M) + M_f] / L;$$

$$\begin{aligned} Y_K &= [3750 \cdot (2,45 - 0,919) + 815 \cdot 0,364 \cdot (2,45 + 1,739) - \\ &\quad - 153 \cdot (2,45 + 1,539) + 276,6] / 2,45 = \\ &= (5741,2 + 1242,7 - 630,3 + 276,6) / 2,45 = 2706 \text{ кг.} \end{aligned}$$

В целом, с учетом перераспределения массы куль-

тиватора и его тягового сопротивления на задний мост трактора, эксплуатационная масса трактора составит 4113 кг, т.е. тяговое усилие увеличится с 14,4 до 15,8 кН.

Для определения производительности агрегата и удельного расхода топлива рассчитаны тяговые усилия трактора на различных рабочих передачах (табл. 1).

Расход топлива

$$g_{\Gamma A} = (G_{\Gamma} + G_{\Pi} + G_{\Pi EP} + G_{\chi D}) / W_{\chi}, \quad (6)$$

где G_{Γ} , G_{Π} , $G_{\Pi EP}$, $G_{\chi D}$ – средний часовой расход топлива в течение смены соответственно при выполнении основной (чистой) работы, холостом ходе на поворо-

Таблица 1		Тяговые усилия трактора на различных передачах / Tractor traction forces in various gears			Table 1
Передача Transmission	Скорость, км/ч / Speed, km/h		Тяговое усилие, кН / Traction force, kN		
	Без понижающего редуктора Without reduction gear	С понижающим редуктором With reduction gear	Без понижающего редуктора Without reduction gear	С понижающим редуктором With reduction gear	
2	4,38		15,8		
3	7,44	5,63	13,9	15,0	
4	9,15	6,92	12,9	14,2	
5	10,83	8,19	11,9	13,5	
6	12,67	9,59	10,7	12,6	
7	15,5	11,78	9,03	11,3	
8		13,95		9,97	

Исходные данные для расчетов при выполнении технологической операции культивации: удельное сопротивление – 1,7 кН/м, коэффициент сопротивления перекачиванию – 0,15, запас тягового усилия 7,5%. При расчетах необходимо выбирать возможно более высокие скорости в соответствии с агротехническими требованиями.

Для трактора с культиватором КПС-4 определяли эксплуатационные свойства (тяговое сопротивление 7,99 кН).

Часовая производительность:

$$W_{\chi} = e \cdot B_p \cdot V_p = e \cdot \zeta_B \cdot B_a \cdot \zeta_v \cdot V_T \cdot \tau, \text{ га/ч}, \quad (5)$$

где e – коэффициент, учитывающий единицы измерения скорости движения агрегата. При использовании рабочей скорости в (км/ч) $e = 0,1$;

B_p и B_a – соответственно рабочая и конструктивная ширина захвата агрегата, м; $B_p = \zeta_B \cdot B_a$;

ζ_B – коэффициент использования ширины захвата, учитывающий отличие рабочей ширины захвата от конструктивной. При поверхностной обработке почвы $\zeta_B = 0,95-0,96$;

V_p и V_T – соответственно рабочая и теоретическая скорость движения агрегата, км/ч; $V_p = \zeta_v \cdot V_T$;

ζ_v – коэффициент использования скорости. Для тракторов класса 1,4 тс $\zeta_v = 0,77$;

τ – коэффициент использования времени смены; $\tau = T_p / T_{\text{см}}$. При хорошей организации труда и нормальных условиях эксплуатации $\tau = 0,7-0,8$.

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на 7-й передаче без понижающего редуктора (15,5 км/ч) с тяговым усилием 9,03 кН и его запасом, поэтому

$$W_{\chi} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 15,5 \cdot 0,75 = 3,42 \text{ га/ч}.$$

тах, переездах и холостой работе двигателя (остановки агрегата с работающим двигателем), кг/ч.

Средний часовой расход топлива принимается по справочным данным или путем расчета через удельный расход топлива на одну эффективную лошадиную силу и степень загрузки двигателя.

$$g_{\Gamma A} = (12,75 \cdot 0,75 + 7 \cdot 0,25) / 3,42 = \\ = (9,56 + 1,75) / 3,42 = 3,31 \text{ кг/га}.$$

Влияние культиватора КПС-5 на повышение сцепного веса трактора определяли также расчетно-графическим методом с использованием инструкций по эксплуатации трактора «Беларус 82.1» и культиватора КПС-5. Отличительные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 2.

Эксплуатационная масса трактора составит 4188 кг, т.е. его тяговое усилие увеличится с 14,4 до 16,1 кН.

Тяговые усилия трактора на различных рабочих передачах, данные расчетов представлены в табл. 3.

Определим эксплуатационные свойства для трактора с культиватором КПС-5 (тяговое сопротивление 11,39 кН).

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на 6-й передаче с понижающим редуктором (9,59 км/ч) с тяговым усилием 12,9 кН и с запасом тягового усилия.

$$W_{\chi} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 9,59 \cdot 0,75 = 3,43 \text{ га/ч}.$$

У трактора с прицепным вариантом культиватора тяговое усилие направлено на преодоление тягового сопротивления орудия. При равной высоте прицепного устройства культиватора и тягового устройства трактора реакция почвы на мостах не изменится, поэтому при расчетах производительности МТА необходимо использовать номинальное тяговое усилие.

Таблица 2

Table 2

ПОКАЗАТЕЛИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ НАГРУЗКИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ НА ТРАКТОР ОТ НАВЕСНЫХ КУЛЬТИВАТОРОВ КПС-4/ТРАКТОР И КПС-5
INDICATORS AFFECTING LOAD VARIATION TRANSMITTED TO THE TRACTOR FROM MOUNTED CULTIVATORS KPS-4/TRACTOR AND KPS-5

Показатель / Indicator	Состав агрегата / Unit composition	
	Трактор + КПС-4 Tractor + KPS-4	Трактор + КПС-5 Tractor + KPS-5
Расстояние от центра заднего моста до центра тяжести культиватора a_M , мм Distance from the rear axle center to the center of gravity of the cultivator a_M , mm	1739	1811
Расстояние от центра заднего моста до центра опорного колеса культиватора L_M , мм Distance from the rear axle center to the center of the cultivator support wheel L_M , mm	1539	1589
Тяговое сопротивление культиватора R_{XM} , кН (кг) Traction resistance of the cultivator R_{XM} , kN (kg)	7,99(815)	11,39 (1059)
Реакция почвы на опорные колеса культиватора Y_M , кг Soil reaction to the cultivator support wheels Y_M , kg	153	187,5
Угол между горизонталью и результирующей силы от тягового сопротивления и веса культиватора θ , град The angle between the horizontal and the resulting force from the traction resistance and the cultivator weight θ , degree	20	19
Угол наклона нижних тяг навески трактора γ , град Angle of inclination of the lower links of the tractor hitch γ , degree	10	9,5
Реакция почвы на задние колеса Y_K , кг Soil reaction to the rear wheels Y_K , kg	2706	2781

Таблица 3

Table 3

ТЯГОВЫЕ УСИЛИЯ ТРАКТОРА НА РАЗЛИЧНЫХ ПЕРЕДАЧАХ / TRACTOR TRACTION FORCES IN VARIOUS GEARS

Передача Transmission	Скорость, км/ч / Speed, km/h		Тяговое усилие, кН / Traction force, kN	
	Без понижающего редуктора/ Without reduction gear	С понижающим редуктором/ With reduction gear	Без понижающего редуктора/ Without reduction gear	С понижающим редуктором/ With reduction gear
2	4,38		16,1	
3	7,44	5,63	14,2	15,3
4	9,15	6,92	13,1	14,5
5	10,83	8,19	12,1	13,7
6	12,67	9,59	11,0	12,9
7	15,5	11,78	9,2	11,5
8		13,95		10,2

Часовая производительность при использовании прицепного культиватора КПС-4

$$W_q = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 13,95 \cdot 0,75 = 3,08 \text{ га/ч.}$$

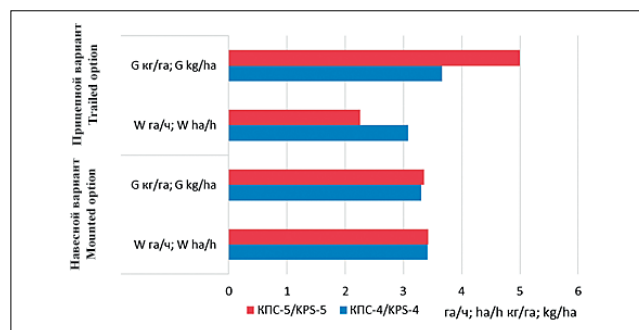


Рис. 2. Часовая производительность и удельный расход топлива при использовании трактора в агрегате с культиваторами КПС-4/трактор и КПС-5 при различных вариантах соединения

Fig. 2. Hourly productivity and specific fuel consumption when using the tractor in conjunction with cultivators KPS-4/tractor and KPS-5 in different connection variants

Трактор способен выполнять технологическую операцию культивации на 8-й передаче с понижающим редуктором (13,95 км/ч) с тяговым усилием 9,09 кН и с запасом тягового усилия.

Часовая производительность при использовании прицепного культиватора КПС-5:

$$W_q = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 8,19 \cdot 0,75 = 2,26 \text{ га/ч.}$$

Для наглядности результаты расчетов производительности и удельного расхода топлива для агрегатов с навесными и прицепными вариантами культиваторов КПС-4 и КПС-5 представлены на рис. 2.

Выводы. Масса навесного сельскохозяйственного орудия в рабочем положении влияет на тяговые свойства трактора. Так, при работе машинно-тракторного агрегата «Беларус 82.1» + КПС-4 в результате перераспределения массы культиватора, его тягового сопротивления на задний мост трактора тяговое усилие составит 15,8 кН, что на 9,7% больше номинального значения, часовая производительность увеличится на 11%, удельный расход топлива меньше на

9,8%, чем при использовании прицепного варианта культиватора.

При соединении с навесным культиватором КПС-5 тяговое усилие составит 16,1 кН, это на 11,8% больше номинального, часовая производительность повысится в 1,5 раза, удельный расход топлива на 32,8% меньше по сравнению с прицепным вариантом соединения.

При сравнении навесных вариантов культиваторов часовая производительность практически равная, но удельный расход топлива у агрегата в составе «Беларус 82.1» + КПС-4 ниже на 9,8%, чем у агрегата с культиватором КПС-5, поэтому предпочтительнее трактор «Беларус 82.1» использовать с культиватором КПС-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.Б. Влияние подъемно-навесного устройства на перераспределение нагрузки на колеса сельскохозяйственного трактора // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2020. N1(80). С. 32-39. EDN: QNPEBA.
2. Попов В.Б. Аналитическое определение тяговой нагрузки трактора со стороны агрегатируемого навесного плуга // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2021. N2 (85). С. 62-68. EDN: SBDKXQ.
3. Капов С.Н., Хаустов П.А. Влияние расстояния между рабочими органами плоскореза-щелевателя на тяговое сопротивление сельскохозяйственного орудия // *Вестник аграрной науки Дона*. 2023. Т. 16. N1(61). С. 29-38. EDN: SFUKKD.
4. Славкин В.И., Махмутов М.М., Хисматулина Ю.Р., Гладкова Е.В. Исследование тягово-сцепных свойств колесного движителя сельскохозяйственного агрегата на примере тракторов типа «Беларусь» // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2019. N31(36). С. 55-61. EDN: CCGSDI.
5. Кравченко В.А., Меликов И.М., Кондра Б.А. Влияние габаритных размеров шин на тягово-сцепные и агротехнические показатели трактора тягового класса 5 // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. N166. С. 53-67. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-166-007>.
6. Кравченко В.А., Кравченко Л.В., Меликов И.М. Сравнительная оценка тягово-сцепных свойств крупногабаритных шин с разным конструктивным исполнением для трактора пятого тягового класса // *Вестник аграрной науки Дона*. 2021. N4(56). С. 4-15.
7. Кравченко В.А., Кравченко Л.В. Результаты исследования тягово-сцепных свойств олигомерных шин для движителей тракторов третьего тягового класса // *Вестник аграрной науки Дона*. 2020. N1(49). С. 10-20. EDN: LYCGNA.
8. Журавлёв С.Ю. Улучшение эксплуатационных свойств колесных 4к4 сельскохозяйственных тракторов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N4(84). С. 127-132.
9. Ребров О.Ю. Визначення максимального тиску на ґрунт сільськогосподарських шин при різних способах баластування трактора // *Автомобільний транспорт*. Харків: 2019. N45. С. 112-122. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.112.
10. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Улучшение эксплуатационных свойств сельскохозяйственных тракторов // *Вестник Вятского ГАТУ*. 2022. N1(11). С. 5.
11. Tarandeep S., Verma A., Singh M. Development and implementation of an IOT based instrumentation system for computing performance of a tractor-implement system. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 97. 105-118. DOI: 10.1016/j.jterra.2021.07.002.
12. Mohieddin H., Yatskul A., Ugarte C., et al. Trade-off between agronomical and energetical performances during barley sowing varying adjustable parameters in a tractor-tire-tool system. *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 226. 105582. DOI: 10.1016/j.still.2022.105582.
13. Solonshchikov P., Moshonkin A. Determination of safety parameters for cars and tractors. *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 61. 492-498. DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.080. EDN ELCNBC.
14. Ялалетдинов Д.А. Обоснование параметров механизма навешивания универсального орудия для поверхностной обработки почвы к трактору // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2022. N4(64). С. 144-150. DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-144-150. EDN EWJOOV.
15. Калашников С.С., Калашников С.Ф., Раднаев Д.Н., Петров В.А. Методика измерения удельных давлений колёс трактора на почву и определение коэффициента сопротивления качению // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2023. N1(70). С. 150-157. DOI 10.34655/bgsha.2023.70.1.018. EDN: YGMMDI.

REFERENCES

1. Popov V.B. Vliyanie podemno-navesnogo ustroystva na pereraspredelenie nagruzki na kolesakh sel'skokhozyaystvennogo traktora [Effect of hydraulic lift system on load redistribution on the wheels of an agricultural tractor]. *Vestnik Gomeľ'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2020. N1(80). 32-39 (In Russian). EDN: QNPEBA.
2. Popov V.B. Analiticheskoe opredelenie tyagovoy nagruzki traktora so storony agregatiruemogo navesnogo pluga [Analytical definition of traction load of tractor from the side of aggregated mounted plough]. *Vestnik Gomeľ'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2021. N2(85). 62-68 (In Russian). EDN: SBDKXQ.
3. Kapov S.N., Khaustov P.A. Vliyanie rasstoyaniya mezhdu rabochimi organami ploskoreza-shchelevatelya na tyagovoe

- soprotivlenie sel'skokhozyaystvennogo orudiya [Influence of the distance between the working tools of the flat cutter-slitter on the traction resistance of the agricultural implement]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2023. Vol. 16. N1(61). 29-38 (In Russian). EDN: SFUKKD.
4. Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Khismatullina Yu.R., Gladkova E.V. Issledovanie tyagovo-stsepnnykh svoystv kolesnogo dvizhitelya sel'skokhozyaystvennogo agregata na primere traktorov tipa «Belarus'» [The study of traction properties wheeled propulsion agricultural unit in the example of tractor of type "Belarus"]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*. 2019. N31(36). 55-61 (In Russian). EDN: CCGSDI.
 5. Kravchenko V.A., Melikov I.M., Kondra B.A. Vliyaniye gabaritnykh razmerov shin na tyagovo-stsepnnyye i agrotekhnicheskie pokazateli traktora tyagovogo klassa 5 [The impact of the tires of overall sizes on the traction-coupling and agrotechnical parameters in the tractor of class 5 traction]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. N166. 53-67 (In Russian). <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-166-007>.
 6. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V., Melikov I.M. Sravnitel'naya otsenka tyagovo-stsepnnykh svoystv krupnogabaritnykh shin s raznym konstruktivnym ispolneniem dlya traktora pyatogo tyagovogo klassa [Comparing traction and coupling performance of various design oversized tires for a fifth-class tractor]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2021. N4(56). 4-15 (In Russian).
 7. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. Rezultaty issledovaniya tyagovo-stsepnnykh svoystv oligomernykh shin dlya dvizhitel'ey traktorov tret'ego tyagovogo klassa [Exploring traction-coupling characteristics of oligomeric tires for third-class tractor propulsion systems: research findings]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2020. N1(49). 10-20 (In Russian). EDN: LYCGNA.
 8. Zhuravlyov S.Yu. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv kolyosnykh 4k4 sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Enhancing operational characteristics of 4k4 wheeled agricultural tractors]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. N4(84). 127-132 (In Russian).
 9. Rebrov O.Yu. Vyznacheniya maksimal'nogo tisku na rrunt sil'skogospodars'kikh shin pri raznykh sposobakh balastuvannyya traktora [Analyzing maximum soil pressure of agricultural tires: a comparative study of tractor ballasting methods]. *Avtomobil'niy transport*. Khar'kov: 2019. N45.112-122 (In Ukrainian). DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.112.
 10. Iovlev G.A., Goldina I.I. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Improving the operational properties of agricultural tractors]. *Vestnik Vyatskogo GATU*. 2022. N1(11). 5 (In Russian).
 11. Tarandeep S., Verma A., Singh M. Development and implementation of an IoT based instrumentation system for computing performance of a tractor-implement system. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 97. 105-118 (In English). DOI: 10.1016/j.jterra.2021.07.002.
 12. Mohieddin H., Yatskul A., Ugarte C. [et al.]. Trade-off between agronomical and energetical performances during barley sowing varying adjustable parameters in a tractor-tire-tool system. *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 226. 105582 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2022.105582.
 13. Solonshchikov P., Moshonkin A. Determination of safety parameters for cars and tractors. *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 61. 492-498 (In English). DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.080. EDN: ELCNBC.
 14. Yalaletdinov D.A. Obosnovaniye parametrov mekhanizma naveshivaniya universal'nogo orudiya dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy k traktoru [Justification of the mechanism parameters of hanging a universal implement for surface soil treatment to a tractor]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. N4(64). 144-150 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2022-64-4-144-150. EDN: EWJOOV.
 15. Kalashnikov S.S., Kalashnikov S.F., Radnaev D.N., Petrov V.A. Metodika izmereniya udel'nykh davleniy kolyos traktora na pochvu i opredeleniye koeffitsienta soprotivleniya kacheniyu [Method of measuring specific pressures of tractor wheels on the soil and determination of rolling resistance coefficient]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*. 2023. N1(70). 150-157 (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.018. EDN: YGMMDI.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Иовлев Г.А. – общее руководство, замысел исследования, анализ и интерпретация данных;

Голдина И.И. – разработка дизайна иллюстраций, подготовка статьи, ее критический анализ, окончательное одобрение варианта статьи для публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Iovlev G.A. – general supervision, research concept, data analysis and interpretation;

Goldina I.I. – illustration design development, manuscript preparation, critical analysis of the manuscript, manuscript final approval

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

06.07.2023

25.08.2023