

Научная статья

УДК 629.114.3

doi: 10.34655/bgsha.2023.72.3.017

К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНООСНОГО ПРИЦЕПА НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ

Д.Н. Раднаев¹, С.В. Щитов², Е.Е. Кузнецов³, С.С. Калашников⁴, Ю.А. Сергеев⁵

^{1,4,5}Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

^{2,3}Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

¹daba01@mail.ru

²shitov.sv1955@maul.ru

³ji.tor@mail.ru

^{4,5}goodron@yandex.ru

Аннотация. В нашей страны колесные тракторы на транспортных перевозках использовались недостаточно из-за отсутствия тракторных прицепов, приспособленных для работы в условиях сельскохозяйственного производства, в то время как в зарубежной практике они занимают значительное место в транспортных перевозках. Это в некоторой степени объясняется недостаточностью исследований в определении основных требований к тракторным прицепах, их ходовой части, наиболее рациональной грузоподъемности, отсутствием исследований по эффективности использования транспортных перевозок с учетом условий сельскохозяйственного производства, отсутствием данных по исследованию эффективности применения колесных тракторов на транспортных работах в зависимости от конструкции прицепов и дальности перевозок. Между тем колесные тракторы находят все более широкое использование на транспортных перевозках. Однако при их работе на грунтах, не обеспечивающих достаточного сцепления движителей с почвой, имеет место неполное использование мощности двигателя на полезную работу, так как значительная часть мощности расходуется на буксование. Для снижения потерь мощности на буксование уменьшают полезный груз на прицепах. Одним из методов определения эксплуатационных показателей работы тяговых агрегатов является расчет с использованием тяговой характеристики трактора. Буксование трактора (потери мощности на буксование) можно снизить путем увеличения сцепного веса трактора. Последнее достигается применением полуприцепов, так как часть веса полуприцепа передается на прицепную серьгу трактора, что влечет за собой увеличение расхода мощности двигателя на перекачивание трактора. По результатам теоретических исследований по предложенной методике было выявлено, что за счет дополнительной загрузки ведущей оси происходит увеличение движущей силы трактора МТЗ-80 на 6,9 кН.

Ключевые слова: тракторно-транспортный агрегат, одноосный прицеп, буксование трактора, тягово-сцепные свойства.

Original article

REVISITING THE METHODS OF STUDYING A SINGLE-AXLE TRAILER DURING THE HAULING OPERATIONS

Daba N. Radnaev¹, Sergey V. Shchitov², Evgeny E. Kuznetsov³,
Sergey S. Kalashnikov⁴, Yuri A. Sergeev⁵

^{1,4,5}Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, Ulan-Ude, Russia

². Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

¹daba01@mail.ru

²shitov.sv1955@maul.ru

³ji.tor@mail.ru

^{4,5}goodron@yandex.ru

Abstract. *In our country, wheeled tractors were not widespread for transportation due to the lack of tractor trailers adapted to work in agricultural production, while in foreign practice they occupy a significant place within the transport service system. Such situation to some extent occurs due to the lack of research works to determine the basic requirements for tractor trailers, their chassis, the most reasonable load capacity, the lack of studying the efficiency of the use of transportation considering the conditions of agricultural production, the lack of data on the effectiveness of the wheeled tractors use in hauling operations, depending on trailer designs and haul distances. Meanwhile, wheeled tractors are increasingly being used in transportation. However, when they work on soils that do not provide sufficient adhesion of propellers to the soil, there is an incomplete use of engine power for useful work, since a significant part of the power is spent on slipping. To reduce power losses because of slipping, the payload on trailers is reduced. One of the methods to determine the operational performance of traction units is the calculation using the traction characteristics of the tractor. Tractor slippage (loss of power due to slippage) can be reduced by increasing trailing weight of a tractor. The latter is achieved by semi-trailers usage, since a part of weight of a semi-trailer is transferred to the tractor hitch, which leads to an increase of the engine power consumption for tractor movement. Based on the results of theoretical studies on the proposed method usage, it was revealed that due to the additional loading of the drive axle, the driving force of the MTZ-80 tractor increases by 6.9 kN..*

Keywords: tractor-hauling unit, single-axle trailer, tractor slippage, traction properties.

Введение. До последнего времени в сельском хозяйстве нашей страны тракторы на транспортных перевозках недостаточно использовались из-за отсутствия тракторных прицепов, приспособленных для работы в условиях сельскохозяйственного производства, в то время как в зарубежной практике они занимают значительное место в транспортных перевозках. Это в некоторой степени объясняется недостаточностью исследований в определении основных требований к тракторным прицепах, их ходовой части, наиболее рациональной грузоподъемности, отсутствием исследований по эффективности использования того или иного вида транспорта в условиях сельскохозяйственного производства, отсутствием

данных по исследованию эффективности применения колесных тракторов на транспортных работах в зависимости от дальности перевозок [1, 2, 3].

За последние годы промышленностью выпускаются и осваиваются тракторные прицепы как двух-, так и одноосные (большой частью двухосные). Осваиваются одноосные прицепы лишь малой грузоподъемности. Однако все эти прицепы громоздки, тяжелы и имеют большую грузочную высоту [4, 5].

За последнее время колесные тракторы находят все более широкое использование на транспортных перевозках. Однако при их работе на грунтах, не обеспечивающих достаточного сцепления движителей с почвой, имеет место неполное

использование мощности двигателя на полезную работу, так как значительная часть мощности расходуется на буксование. Для снижения потерь мощности на буксование уменьшают полезный груз на прицепах. За счет уменьшения грузоподъемности снижается сопротивление перекачиванию прицепов, т. е. уменьшается нагрузка на крюке трактора и его буксование [6, 7, 8]. **Целью** исследования является разработка методики исследования одноосного прицепа на транспортных работах.

Условия и методы исследований.

Одним из методов определения эксплуатационных показателей работы тяговых агрегатов является расчет с использованием тяговой характеристики трактора, определенной по методикам [9, 10, 11], и данных об энергетических показателях тракторно-транспортного агрегата.

Известно, что предел движущей силы тяги трактора по сцеплению равен

$$P'_k = \varphi G_{\text{сц}}, \text{ кН}, \quad (1)$$

где φ – коэффициент сцепления;

$G_{\text{сц}}$ – сцепной вес, кН.

С другой стороны, касательная сила тяги трактора равна

$$P_k = M i_k i_0 \eta_T / r_k \quad (2)$$

где M – крутящий момент двигателя, кН м;

i_k – передаточное число в коробке передач;

i_0 – передаточное число главной и бортовой передач;

r_k – радиус ведущего колеса, м;

η_T – коэффициент полезного действия трансмиссии трактора.

Результаты исследований и обсуждение. Если движущая сила трактора по сцеплению меньше касательной силы тяги трактора по двигателю из выражения (2), то есть если $P'_k < P_k$, то мощность двигателя реализуется не полностью – часть ее тратится на буксование движителей. Буксование движителей при работе трактора всегда имеет место, но в этом случае буксование будет выходить за пределы допустимого. Увеличение же

P'_k путем увеличения сцепного веса в результате применения одноосных прицепов даст возможность не только повысить нагрузку на крюке трактора, но и уменьшить потери на буксование.

Буксование трактора (потери мощности на буксование) можно снизить путем увеличения сцепного веса трактора. Последнее достигается применением полуприцепов, так как часть веса полуприцепа передается на прицепную серьгу трактора.

Увеличение сцепного веса путем передачи части веса прицепа на прицепную серьгу вызовет некоторое увеличение расхода мощности двигателя на перекачивание трактора. Если f – коэффициент перекачивания трактора, G'_{np} – часть веса прицепа, передающаяся на прицепную серьгу трактора и если считать, что коэффициент перекачивания f не изменяет своей величины при передаче части веса прицепа на прицепную серьгу, а некоторое изменение должно иметь место (в сторону снижения) за счет определенной загрузки передних колес, то дополнительные потери мощности двигателя на перекачивание трактора составят:

$$P'_f = f G'_{np}. \quad (3)$$

Одновременно вес прицепа уменьшится на ту же величину, следовательно, сопротивление на его перекачивание уменьшится на величину

$$P'_{np} = f' G'_{np} \quad (4)$$

где f' – коэффициент перекачивания прицепа. В общем случае $f' \neq f$.

Очевидно, увеличение сцепного веса трактора путем передачи части веса прицепа на прицепную серьгу без учета изменения потерь на буксование будет всегда целесообразно, если

$$\varphi G'_{np} > f G'_{np} - f' G'_{np}$$

или

$$\varphi G'_{np} > (f - f') G'_{np}$$

Так как практически $f' = f$ или близки между собой и всегда имеет место уменьшение потерь на буксование, то увеличе-

ние сцепного веса трактора, если движущая сила трактора ограничивается сцеплением движителей с почвой, целесообразно. Поэтому применение полуприцепов вместо двухосных прицепов при $P'_k < P_k$ более выгодно.

Применение полуприцепов с гусеничным трактором, даже если движущая сила трактора ограничивается не сцеплением, а крутящим моментом двигателя, также будет целесообразно. В этом случае путем передачи части веса полуприцепа на прицепную серьгу трактора имеется возможность повысить проходимость прицепа по грунтам с недостаточной несущей способностью, так как гусеничный трактор в одних и тех же условиях имеет удельное давление на грунт значительно меньшее, чем полуприцеп, и имеет лучшую проходимость. Некоторое увеличение расхода мощности двигателя на перекачивание трактора (при увеличении веса за счет того, что коэффициент перекачивания гусеничного хода несколько больше колесного) будет компенсировано относительным увеличением грузоподъемности полуприцепа по сравнению с двухосным прицепом (на единицу мертвого веса прицепа). В этом случае при работе трактора в одних и тех же условиях возможный перевозимый груз будет всегда больше на полуприцепе в сравнении с двухосным прицепом. Если принять во внимание, что мертвый вес полуприцепа одной и той же грузоподъемности меньше веса двухосного прицепа, станет очевидным, что использование полуприцепов в качестве транспортного средства в сельском хозяйстве должно найти самое широкое применение.

Предельная величина G'_{np} – части веса полуприцепа, передаваемого на прицепную серьгу, определяется, с одной стороны, пределом касательной силы тяги трактора по двигателю по формуле

$$G'_{np \max} = (M i_k i_0 \eta_T / \varphi r_k) - G_{сц тр} \quad (5)$$

с другой стороны, допустимой нагрузкой на ведущие колеса и управляемостью трактора. Так как касательная сила тяги колесного трактора в большинстве случа-

ев ограничивается не мощностью двигателя, а сцеплением движителей с почвой (поскольку на современных тракторах прицепная серьга вынесена назад относительно оси ведущих колес и дополнительная вертикальная нагрузка на прицепную серьгу создает дополнительный момент, разгружающий переднюю ось трактора), то условием, определяющим предельную величину части веса одноосного прицепа, передаваемого на прицепную серьгу трактора, будет допустимая нагрузка на задние колеса трактора. В целях повышения устойчивости трактора, в смысле управляемости, желательно оборудовать колесные тракторы прицепной серьгой, уменьшающей момент разгрузки передних колес.

Движущая сила такого агрегата будет определяться не только сцепным весом трактора, а всей нагрузкой, приходящейся на ведущие колеса трактора и одноосного прицепа. Таким образом, движущая сила трактора с одноосным прицепом равна

$$P'_k = \varphi (G_{сц тр} + G'_{np}) \quad (6)$$

Предельная величина $G'_{np \max}$, определяемая пределом касательной силы тяги колесного трактора, значительно превосходит допустимую дополнительную нагрузку на ведущие колеса.

При теоретических расчетах было получено, что если движущая сила трактора МТЗ-80 по двигателю на третьей передаче равна 15,2 кН, по сцеплению при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$ равна 8,28 кН, то за счет дополнительной загрузки ведущей оси получено увеличение движущей силы трактора на 6,9 кН, а при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$ дополнительная вертикальная нагрузка равна 17,5 кН, что более чем в 2 раза превосходит допустимую нагрузку на колеса (на четвертой передаче дополнительная нагрузка равна 12,5 кН, что в 1,5 раза больше допустимой).

Заключение. Предложенная методика позволяет оценить целесообразность применения одноосных прицепов в смысле их тягово-сцепной эффективности. По

результатам теоретических исследований по предложенной методике было выявлено, что за счет дополнительной загрузки ведущей оси происходит увеличение движущей силы трактора МТЗ-80 на 6,9 кН.

Наличие одноосных прицепов позволит начать весенние полевые работы, в частности по вывозке и внесению удобрений значительно раньше, и расширить диапазон использования колесных тракторов на перевозках сельскохозяйственных грузов в периоды, не благоприятные для их работы.

Список источников

1. Алдошин Н.В. Исследование технологических процессов растениеводства при помощи стохастических матриц // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 3. С. 45 – 47.

2. Ворохобин А.В., Карташов А.Л. Проблемы использования тракторного транспорта в сельскохозяйственном производстве // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 29–30 апреля 2021 года. Часть I. Воронеж, 2021. С. 154-160. EDN: ENETNW

3. Измайлов А.Ю. Повышение уровня использования транспорта в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 2. С. 8–10.

4. Азимов Б., Якубжанова Д.К. Параметрическая идентификация и оценка динамических нагрузок на несущие элементы колесного трактора // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. XI международной научно-практической конференции, 19-21 марта 2014 / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. Т. 1. С. 70-74.

5. Азимжанов И.У. Динамическая модель трактора с полунавесным прицепом // Тракторы и сельхозмашины. 2001. № 9. С. 25-27.

6. Ворохобин А.В. Перспективные направления совершенствования конструкции тягово-сцепных устройств сельскохозяйственных тракторов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4 (63). С. 21-26. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.21. EDN: YZLEPZ

7. Горшков Ю.Г., Попова А.Г., Лисицина Е.В. Увеличение сцепного веса МТА с по-

мощью автоматического догрузателя // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 4. С. 21-23.

8. Исследования криволинейного движения транспортных агрегатов / А.Н. Кушнарев, А.А. Шуравин, О.П. Митрохина [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 98-107. doi: 10.24412/1999-6837-2021-1-98-107. EDN: NKTBNF

9. Расширение функциональных возможностей колёсной энергетики / О.А. Кузнецова, З.Ф. Кривуца С.В. Щитов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С.87-98. doi: 10.24412/1999-6837-2021-1-87-98. EDN: QBOQIN

10. Ворохобин А.В., Федюнин А.Е. Оценка эксплуатационных свойств машинно-тракторного агрегата при корректировании вертикальных нагрузок на колеса // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 29–30 апреля 2021 года. Часть I. Воронеж, 2021. С. 160-166. EDN: UNISKW

11. Щитов С.В., Евдокимов В.Г., Кривуца З.Ф. Методы повышения тягово-сцепных свойств транспортных средств // Двойные технологии. 2012. № 2. С. 75-77.

References

1. Aldoshin N.V. Study of technological processes in crop production using stochastic matrices. *Technique in agriculture*. 2007;3:45-47 (In Russ.)

2. Vorokhobin A.V., Kartashov A.L. Problemy ispolzovaniya traktornogo transporta v sel'skoxozyajstvennom proizvodstve. *Teoriya i praktika innovacionnyh texnologij v APK*. Proc. of National Sci. and Pract. Conf. Part I. Voronezh, 2021. Pp. 154-160 (In Russ.)

3. Izmailov A.Yu. Increasing the level of use of transport in agriculture. *Technique in agriculture*. 2006;2:8–10 (In Russ.)

4. Azimov B., Yakubzhanova D.K. Parametricheskaya identifikatsiya i otsenka dinamicheskikh nagruzok na nesushchiye elementy kolesnogo traktora. *Sovremennyye instrumentalnyye sistemy, informatsionnyye tekhnologii i innovatsii*. Proc. of Int. Sci. and Pract. Conf., Kursk, 2014. Vol. 1. Pp. 70-74 (In Russ.)

5. Shitov S.V., Kuznetsov E.E. [et al.]. Studies of the curvilinear movement of transport units. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2021;1(57):98-107 (In Russ.)

6. Vorokhobin A.V. Perspectives for design development of traction devices of agricultural tractors. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;Vol.12;4(63):21-26 (In Russ.)

7. Gorshkov Yu.G., Popova A.G., Lisitsina E.V. Increasing the coupling weight of the MTA with the help of an automatic loader. *Tractors and agricultural machines*. 2010;4:21-23 (In Russ.)

8. Kushnarev A.N., Shuravin A.A., Mitrohina O.P. [et al.] Studies of curvilinear motion of transport units. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2021;1 (57):98-107 (In Russ.)

9. Kuznetsova O.A., Krivutsa Z.F. Shitov S.V. [et al.] Expansion of wheeled power

functional capabilities. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2021;1(57):87-98 (In Russ.)

10. Vorokhobin A.V., Fedyunin A.E. Otsenka ekspluatatsionny'h svojstv mashinno-traktornogo agregata pri korrektirovani vertikalnyh nagruzok na koleasa. *Teoriya i praktika innovacionny'x texnologij v APK. Teoriya i praktika innovacionnyh texnologij v APK. Proc. of National Sci. and Pract. Conf. Part I. Voronezh, 2021. S. 160-166 (In Russ.)*

11. Shitov S.V., Evdokimov V.G., Krivutsa Z.F. Methods for improving the traction properties of vehicles. *Double technologies*. 2012;2:75-77 (In Russ.)

Информация об авторах

Даба Нимаевич Раднаев – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов»;

Сергей Васильевич Щитов – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-энергетические средства и механизация АПК»;

Евгений Евгеньевич Кузнецов – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;

Сергей Сергеевич Калашников – кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов»;

Юрий Антонович Сергеев – доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов».

Information about the authors

Daba N. Radnaev – Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Professor, Chair of Mechanization of Agricultural Processes;

Sergey V. Shchitov – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Transport and Energy Means and Mechanization of the Agro-Industrial Complex;

Evgeny E. Kuznetsov – Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Professor, Chair of Operation of Transport and Technological Machines and Complexes;

Sergey S. Kalashnikov – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Mechanization of Agricultural Processes;

Yuri A. Sergeev – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Mechanization of Agricultural Processes.

Статья поступила в редакцию 12.05.2023; одобрена после рецензирования 27.07.2023; принята к публикации 22.08.2023.

The article was submitted 12.05.2023; approved after reviewing 27.07.2023; accepted for publication 22.08.2023.