Safonov Valentin - Doctor of Engineering. Sciences, Professor of the Department "Technical support of the agro-industrial complex", Saratov State Agrarian University named after. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Shishurin Sergey - Doctor of Engineering. Sci., Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State Agrarian University named after V.I. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: s.shishurin@gmail.com.

Medenko Alexander - Deputy Director for after-sales service of machinery and equipment, TVS-AGROTEKHNIKA LLC, Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: a.medenko@tvsagrotechnika.ru.

Gorbushin Pavel - Ph.D. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State Agrarian University named after V.I. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: pavelgorbushin@gmail.com.

Chumakova Svetlana - Ph.D. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics, Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (927) 226-71-10; E-mail: ch-sv@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 21.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 24.03.2022

УДК 629.3.014

DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-16-22

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ ПО КОЛЕСАМ ТРАКТОРА

¹Беляев Александр Николаевич ¹Афоничев Дмитрий Николаевич ¹Тришина Татьяна Владимировна

¹ΦГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. Изучены закономерности распределения крутящих моментов по мостам и колесам трактора. В качестве объекта исследований выбран энергонасыщенный универсально-пропашной трактор интегральной схемы класса 2 ЛТЗ-155 со всеми ведущими и управляемыми одинакового размера сдвоенными колесами с шинами типоразмера 9,5-42. Исследования выполнены при следующих вариантах компоновки и условиях движения: 1) прямолинейное движение отдельного трактора — холостой ход; 2) выполнение технологического процесса при работе машиннотракторного агрегата в междурядьях пропашных культур – культивация; 3) прямолинейное движение машинно-тракторного агрегата с орудиями в транспортном положении – холостой ход. Установлено, что суммарные значения крутящих моментов на колесах трактора при относительно постоянных условиях движения по всем опытным заездам с увеличением поступательной скорости движения возрастают на 5...18 %..вследствие повышения частоты динамического воздействия микропрофиля со стороны опорной поверхности на колеса и колебаний тяговой нагрузки. При этом среднее квадратическое отклонение моментов колес не превышает 18...25 % их средней величины, являющейся для стационарного эргодичного процесса постоянной. При рассмотренных вариантах эксплуатации машинно-тракторного агрегата, перераспределение крутящих моментов, как по мостам, так и по колесам каждой оси, даже, если принять, что к ведущим колесам подводится постоянный суммарный крутящий момент, носит очень сложный и динамичный характер, обусловленный неточностью посадок вследствие допусков соединения в сцепном устройстве между трактором и культиватором из-за невозможности соблюдения соосности охватываемой и охватывающей стыковочных элементов соединительных треугольников, что приводит к асимметрии весовой нормальной нагрузки колес от навесных орудий и соответствующему не пропорциональному распределению тяговых усилий по колесам.

Ключевые слова: трактор, машинно-тракторный агрегат, крутящий момент, распределение, ведущие колеса, скорость движения.

DISTRIBUTION OF TORQUES ON TRACTOR WHEELS

¹Belyaev Alexander ¹Afonichev Dmitry ¹Trishina Tatiana

¹FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»

Abstract. The regularities of the distribution of torques on axles and tractor wheels have been studied. An energy-saturated universal tractor of class 2 integrated circuit LTZ-155 with all driving and steered twin wheels of the same size with tires of size 9.5-42 was chosen as the object of research. The studies were carried out under the following layout options and driving conditions: 1) rectilinear movement of a separate tractor - idling; 2) execution of the technological process during operation of the machine-tractor unit in row spacing of row crops - cultivation; 3) rectilinear movement of a machinetractor unit with guns in the transport position - idling. It was found that the total values of torques on tractor wheels under relatively constant driving conditions for all experimental races with an increase in translational speed of movement slightly, by about 5... 18%, increase due to an increase in the frequency of the dynamic impact of the microprofile from the side of the bearing surface on the wheels and fluctuations in the traction load. At the same time, the mean square deviation of the wheel moments does not exceed 18... 25% of their average value, which is constant for a stationary ergodic process. With the considered variants of operation of the machine-tractor unit, the redistribution of torques, both on the axles and on the wheels of each axle, even if we assume that a constant total torque is supplied to the driving wheels, is very complex and dynamic, due to the inaccuracy of landings due to the tolerances of the coupling in the coupling device between the tractor and the cultivator from- due to the inability to comply with the alignment of the covered and encompassing connecting elements of the connecting triangles, this leads to an asymmetry of the normal weight load of the wheels from the mounted guns and the corresponding non-proportional distribution of traction forces on the wheels.

Keywords: tractor, machine-tractor unit, torque, distribution, driving wheels, speed.

Введение. При движении колесного трактора крутящие моменты на его колесах непрерывно меняются, что является следствием не только сложности связей и многообразия процессов, происходящих в силовой системе передачи энергии от двигателя к ведущим колесам самой машины, но, в основном — влияния переменных внешних условий, на которые она реагирует автоматически или под действием управляющего сигнала водителя.

Целью настоящей работы является опытное изучение закономерностей распределения крутящих моментов по мостам и колесам трактора.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на энергонасыщенном универсально-пропашном тракторе с интегральной схемы класса 2 ЛТЗ-155 со всеми ведущими и управляемыми одинакового размера сдвоенными колесами с шинами типоразмера 9,5-42 по методике, изложенной в работах [1, 2, 3]. Распределение крутящих моментов по колесам во многом зависит от наличия и типа дифференциалов, их места установки и характеристик. Для исследований был выбран трактор, оборудованный шестеренным межосевым дифференциалом, шестеренным дифференциалом в заднем ведущем мосту и самоблокирующимся храповым дифференциалом в переднем ведущем мосту, автоматически отключающим забегающее колесо при повороте [4, 5].

При проведении испытаний на «поле, подготовленном под посев», трактор использовался в составе навесного комбинированного машинно-тракторного агрегата (МТА), оборудованного по схеме КРШ-8,1+НП-5,4+ЛТЗ-155+КРШ-8,1 (передняя и задняя навеска машин) [6]. Степень влияния на изучаемые динамические процессы собственных свойств трактора изучали в опытах на одиночном тракторе.

В данной работе проведен анализ результатов, полученных при следующих вариантах компоновки и условиях движения: 1) прямолинейное движение отдельного трактора — холостой ход; 2) выполнение технологического процесса при работе МТА в междурядьях пропашных культур — культивация; 3) прямолинейное движение МТА с орудиями в транспортном положении — холостой ход.

Результаты и их обсуждение. Определенные экспериментально методом тензометрирования величины крутящих моментов M_{Kp} на ведущих колесах трактора [1, 7], по всем вариантам опытов в виде графических зависимостей от поступательной скорости движения V, представлены на рисунках 1, 2 и 3, где введены следующие обозначения: I — крутящий момент на правом заднем колесе $M_{\mathit{Kp}\,\mathit{IB}}$; 2 — крутящий момент на левом заднем колесе $M_{\mathit{Kp}\,\mathit{IB}}$; 3 — крутящий момент на правом переднем колесе $M_{\mathit{Kp}\,\mathit{III}}$; 4 — крутящий момент на левом переднем колесе $M_{\mathit{Kp}\,\mathit{III}}$.

Установлено, что суммарные значения крутящих моментов на колесах трактора $M_{\it Кp \, Cym}$ при относительно постоянных условиях движения по всем опытным заездам с увеличением поступательной скорости движения незначительно, примерно на 5...18 %, возрастают вследствие повышения частоты динамического воздействия микропрофиля со стороны опорной поверхности на колеса и колебаний тяговой нагрузки: при изменении V с 1,43 м/с до 2,06 м/с для трактора и МТА с орудиями в транспортном положении, при незначительном буксовании колес, соответственно получено $M_{\it Kp \, Cym} = 5,81...7,04$ кН·м и $M_{\it Kp \, Cym} = 8,22...9,8$ кН·м, а при культивации на том же эксплуатационном режиме движения, но при буксовании 15...19 % и изменении V от 1,19 м/с до 1,75 м/с имеем $M_{\it Kp \, Cym} = 21,13...22,17$ кН·м (рисунки 1, 2 и 3). При этом среднее квадратическое отклонение моментов колес не превышает 18...25 % их средней величины, являющейся для стационарного эргодичного процесса постоянной.

На рисунке 1 зависимости крутящих моментов на каждом колесе от скорости относятся к прямолинейному движению отдельного трактора. Как видно, моменты по колесам мостов трактора распределяются достаточно равномерно, при скорости движения $V=1,67~{\rm M/c}$ крутящий момент на правом заднем колесе $M_{{\it Kp}\,{\it II3}}=1,35~{\rm kH\cdot m}$, на левом заднем колесе $M_{{\it Kp}\,{\it III}}=2,15~{\rm kH\cdot m}$. Таким образом, в общем имеем: при изменении скорости от 1,43 м/с до 2,06 м/с расхождение по передним колесам практически отсутствует (не более 1 %), а по задним -5,1...12,2 %.

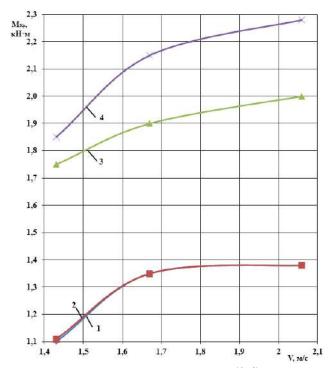


Рисунок 1 — Зависимости крутящих моментов на колесах (1-4) трактора от поступательной скорости движения (прямолинейное движение отдельного трактора — холостой ход)

Расхождение по передним колесам обусловлено несколько разными условиями их сцепления с почвой. Практически равномерное распределение крутящих моментов по левому и правому задним колесам получено вследствие того, что они катятся по следу передних, которые создали для них практически идентичные условия качения и взаимодействия с опорной поверхностью. Также разность моментов возникает, как известно, из-за момента трения в дифференциалах и некоторого расхождения радиусов качения левого и правого колес одной оси [8, 9, 10].

Характер распределения крутящих моментов по мостам (на колесах заднего моста суммарный крутящий момент изменяется в пределах $M_{\textit{Кр 3Cym}}=2,21...2,76~\text{кH·м}$, а переднего — $M_{\textit{Кр 1ICym}}=3,60...4,28~\text{кH·м})$ обусловлен развесовкой трактора, согласно которой большая часть его веса в статике (60 %) приходится на переднюю ось. Примерно такую же картину распределения указанных крутящих моментов по колесам трактора получили и при культивации МТА с крюковой нагрузкой $P_{\textit{кp}}=22,4...24,3~\text{kH}$ (рисунок 2). При этом величины крутящих моментов в сравнении с холостым движением МТА на выбранных режимах увеличились в 2,3...2,6 раза. При V=1,43~м/c получили следующие значения: $M_{\textit{Кр 113}}=5,53~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 113}}=6,35~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 111}}=4,85~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 111}}=4,66~\text{kH·m},~a~\text{при}~V=1,75~\text{m/c}-M_{\textit{Kp 113}}=5,88~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 113}}=6,6~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 111}}=4,66~\text{kH·m},~M_{\textit{Kp 111}}=5,03~\text{kH·m}.$

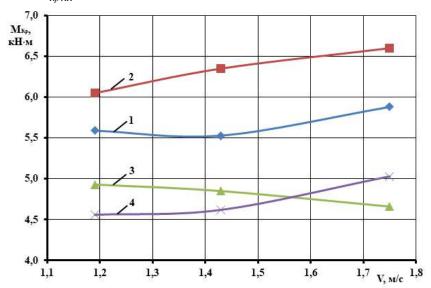


Рисунок 2 — Зависимость крутящих моментов на колесах (1-4) трактора от поступательной скорости движения (собственно выполнение технологического процесса при работе МТА в междурядьях пропашных культур — культивация)

Сравнение динамики изменения крутящих моментов, особенно на передних колесах, доказывает равномерность их распределения по ним. При изменении скорости V от 1,19 м/с до 1,75 м/с в процентном соотношении имеем расхождение: по передним колесам - 7,6...12,9 %, по задним колесам - 4,7...7,5 %. Некоторая неравномерность распределения моментов вызвана также неодинаковыми условиями качения колес и в основном периодическими колебаниями и асимметрией тяговой нагрузки.

Достаточно неоднозначная картина перераспределения крутящих моментов, как по колесам мостов, так и по мостам получена при прямолинейном движении МТА с транспортным положением орудий (рисунок 3).

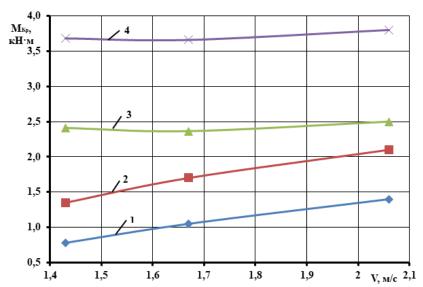


Рисунок 3 — Зависимость крутящих моментов на колесах трактора от поступательной скорости движения (прямолинейное движение МТА с орудиями в транспортном положении — холостой ход)

Сравнивая величины крутящих моментов с их значениями при холостом ходе отдельного трактора, имеем их возрастание в 1,3...1,41 раза. Так при $V=2,06\,$ м/с получены следующие значения крутящих моментов: $M_{Kp\,III}=1,4\,$ кH·м, $M_{Kp\,III}=2,1\,$ кH·м, $M_{Kp\,III}=2,5\,$ кH·м, $M_{Kp\,III}=2,5\,$ кH·м, $M_{Kp\,III}=3,8\,$ кH·м. При изменении V от 1,43 м/с до 2,06 м/с получили следующее расхождение: по передним колесам — 33,3... 42 %, а по задним — 34,2...35,4 %. При этом установлено, что по осям трактора крутящие моменты распределяются также очень неравномерно: $M_{Kp\,IC_{VM}}=2,13...3,50\,$ кH·м в 1,8...2,9 раза выше, чем $M_{Kp\,IIC_{VM}}=6,02...6,3\,$ кH·м, вследствие статической развесовки и большей нагрузки на передний мост от фронтального культиватора, агрегатируемого с навеской трактора посредством сцепки НП-5,4, что создает дополнительный момент, нагружающий передний мост. Следует отметить, что указанный момент способствует разгрузке заднего моста, ухудшая сцепные свойства его шин с почвой. Если при движении одиночного трактора имеем практически нулевое буксование колес, то в рассматриваемом случае оно достигает 3...4 %.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что при рассмотренных вариантах эксплуатации МТА, перераспределение крутящих моментов, как по мостам, так и по колесам каждой оси, даже, если принять, что к ведущим колесам подводится постоянный суммарный крутящий момент, носит очень сложный и динамичный характер, обусловленный неточностью посадок вследствие допусков соединения в сцепном устройстве между трактором и культиватором из-за невозможности соблюдения соосности охватываемой и охватывающей стыковочных элементов соединительных треугольников, что приводит к асимметрии весовой нормальной нагрузки колес от навесных орудий и соответствующему не пропорциональному распределению тяговых усилий по колесам. Неравномерное перераспределение крутящих моментов приводит к перегрузке отдельных шин, узлов и деталей трансмиссии и двигателя, появлению буксования колес, переуплотнению почвы.

Одним из решений выявленной проблемы является конструктивное выполнение навесного устройства с эластомером в сцепном устройстве, выбор которого должен быть обоснован свойствами материала, позволяющими гасить резонансные колебания, незначительной величиной деформации материала и относительной компактностью [11], что позволит обеспечить снижение ударных нагрузок на детали навески при начале движения с места и остановке, обеспечить лучшие сцепные качества трактора, снижение динамических нагрузок на его ходовую часть, трансмиссию и навесное орудие путем гашения продольных и вертикальных колебаний и симметричной передачи весовой нагрузки от орудия к трактору в сцепном устройстве.

Список литературы

- 1. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Мичуринск-наукоград, 2019. 440 с.
- 2. Веденяпин Γ .В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М.: Колос, 1973. 194 с.
 - 3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Сельхозиздат, 1985. 352 с.
- 4. Обоснование параметров и конструкции универсально-пропашного трактора повышенной эффективности / К.Н. Виноградов, А.С. Дурманов, Н.И. Киселев и др. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1978. 164 с.
- 5. Тракторы РТМ-160 и РТМ-160У. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание / А.С. Дурманов, Ю.А. Коцарь, Г.А. Головащенко, С.В. Плужников. Саратов: Научная книга, 2006. 352 с
- 6. Агротехнические требования к 8-, 12-, 18-рядным культиваторам-растениепитателям для подготовки почвы к посеву и междурядной обработке низкостебельных пропашных культур. Сб. агротехнических требований на тракторы и сельхозмашины. Т. 30. М.: Машиностроение, 1982. С. 96—100.
 - 7. Тензометрия в машиностроении / Р.А. Макаров [и др.]. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
- 8. Тракторы: теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. М.: Машиностроение, 1988. 374 с.
- 9. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.
- 10. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
- 11. Патент на полезную модель № 204692 РФ, МПК А01В 61/02. Устройство для навески машин на трактор / А.Н. Беляев, В.Д. Бурдыкин Т.В. Тришина, А.Е. Новиков, И.В. Высоцкая; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2020128722; заявл. 28.08.20; опубл. 07.06.21. Бюл. № 31. 10 с.

References

- 1. Belyaev A.N. Povyshenie effektivnosti raboty mashinno-traktornyh agregatov na baze integral'nyh universal'no-propashnyh kolesnyh traktorov: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01. Michurinsk-naukograd, 2019. 440 s.
- 2. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotka opytnyh dannyh. M.: Kolos, 1973.-194 s.
 - 3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Sel'hozizdat, 1985. 352 s.
- 4. Obosnovanie parametrov i konstrukcii universal'no-propashnogo traktora povyshennoj effektivnosti / K.N. Vinogradov, A.S. Durmanov, N.I. Kiselev i dr. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gos. un-ta, 1978. 164 s.
- 5. Traktory RTM-160 i RTM-160U. Konstrukciya, ekspluataciya i tekhnicheskoe obsluzhivanie / A.S. Durmanov, YU.A. Kocar', G.A. Golovashchenko, S.V. Pluzhnikov. Saratov: Nauchnaya kniga, 2006. 352 s.
- 6. Agrotekhnicheskie trebovaniya k 8-, 12-, 18-ryadnym kul'tivatoram-rasteniepitatelyam dlya podgotovki pochvy k posevu i mezhduryadnoj obrabotke nizkostebel'nyh propashnyh kul'tur. Sb. agrotekhnicheskih trebovanij na traktory i sel'hozmashiny. T. 30. M.: Mashinostroenie, 1982. S. 96–100.
 - 7. Tenzometriya v mashinostroenii / R.A. Makarov [i dr.]. M.: Mashinostroenie, 1975. 288 s.
- 8. Traktory: teoriya / V.V. Gus'kov, N.N. Velev, YU.E. Atamanov i dr. M.: Mashinostroenie, 1988. 374 s.
- 9. Skotnikov V.A., Mashchenskij A.A., Solonskij A.S. Osnova teorii i rascheta traktora i avtomobilya. M.: Agropromizdat, 1986. 383 s.
- 10. Smirnov G.A. Teoriya dvizheniya kolesnyh mashin. 2-e izd., dop. i pererab. M.: Mashinostroenie, 1990. 352 s.
- 11. Patent na poleznuyu model' № 204692 RF, MPK A01B 61/02. Ustrojstvo dlya naveski mashin na traktor / A.N. Belyaev, V.D. Burdykin T.V. Trishina, A.E. Novikov, I.V. Vysockaya; zayavitel' i

patentoobladatel' FGBOU VO Voronezhskij GAU. № 2020128722; zayavl. 28.08.20; opubl. 07.06.21. Byul. № 31. 10 s.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Беляев Александр Николаевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Тришина Татьяна Владимировна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Author credentials Affiliations

Belyaev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Afonichev Dmitry – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of electrical engineering and automation of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Trishina Tatiana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 25.03.2022

УДК 631.373

DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-22 -29

ПРИМЕНЕНИЕ ШИН УВЕЛИЧЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

¹Ревенко Валерий Юрьевич ¹Иванов Артем Борисович ¹Скорляков Виктор Иосифович

¹Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)

Реферат. Известно, что одним из наиболее эффективных способов повышения тяговосцепных показателей колесных машин, является увеличение площади контакта движителя с опорной поверхностью. Представлены показатели эффективности от использования шин увеличенной размерности, за счет снижения уровня непроизводительных потерь на самопередвижение, буксование и обработку переуплотнённой почвы по следу шин. Приведены результаты сравнительных оценок тяговых и эксплуатационно-технологических показателей трактора T-150K на вспашке с серийными шинами размерности 21,3R24 и шинами 66х43R25 с дисками DW36x25. В результате проведенного исследования получено увеличение тягового КПД трактора на стерневом фоне на 11 — 44,5 %. Получен рост в 1,36 раза тягового усилия,