

# ОБОБЩЕННЫЕ ТЯГОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

## GENERALIZED TRACTION INDICATORS OF AGRICULTURAL TRACTORS

**К.И. ГОРОДЕЦКИЙ**, д.т.н.  
**А.П. ПАРФЕНОВ**, к.т.н.  
**А.М. ЛАВЛИНСКИЙ**

Московский политехнический университет, Москва,  
Россия, kg1101@yandex.ru

**K.I. GORODETSKIY**, DSc in Engineering  
**A.P. PARFENOV**, PhD in Engineering  
**A.M. LAVLINSKIY**

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,  
kg1101@yandex.ru

В 1972 году вышла монография Г.Г. Колобова и А.П. Парфенова. «Тяговые характеристики тракторов». (М.: Машиностроение, 1972). В монографии обобщены путем осреднения многочисленные результаты полевых испытаний отечественных колесных и гусеничных тракторов того времени, проведенные машиноиспытательными станциями в различных почвенно-климатических зонах СССР. Это оказало влияние на постановку и изучение вопроса по определению буксования тракторов, а в целом на изучение их тягово-сцепных характеристик. Осреднение экспериментальных данных производилось по формулам и коэффициентам, разработанными авторами монографии. Полученные зависимости, называемые далее тягово-сцепными характеристиками тракторов, устанавливают зависимость коэффициента использования сцепного веса (удельной силы тяги на крюке) от буксования тракторов различных типов на различных почвенных фонах.

К настоящему времени изменились представления о роли проведенных исследований в изучении процесса взаимодействия колеса и гусеницы с поверхностью пути. Введены в действие стандарты, ограничивающие буксование сельскохозяйственных тракторов с учетом негативного воздействия их двигателей на почву. Возникла необходимость в уточнении используемой ранее терминологии с целью унификации одинаковых по смыслу терминов, применяемых в различных, но родственных технических дисциплинах.

Целью статьи является переосмысление прежних результатов исследований и оценка их актуальности, разграничение физического смысла и понятий коэффициента сцепления и коэффициента использования сцепного веса (удельной силы тяги на крюке), определение тяговых возможностей колесных и гусеничных тракторов на естественных агротехнических фонах и асфальтобетонной поверхности с учетом действующих ограничений по буксованию.

Было предложено для целей инженерных расчетов при оценке тягово-сцепных качеств тракторов использовать в качестве коэффициента сцепления различных двигателей его значение, соответствующее максимальному буксованию на соответствующем агротехническом фоне или сухом бетоне. Также установлено, что ограничения по буксованию тракторов на металлических гусеницах завышены на всех почвенных фонах, поскольку они скорее характеризуют «стоповый» режим трактора, чем начало неустойчивой работы двигателя. Параметры тягово-сцепных характеристик колесных тракторов 4К4а нуждаются в корректировке на основе статистического пополнения исходными данными по тяговым испытаниям таких тракторов, имеющих компоновку, которая учитывает возросшую роль переднего ведущего моста в создании тягового усилия трактора. Для тракторов с колесной формулой 4К2 тяговые характеристики одновременно являются характеристиками тягово-сцепных показателей отдельных ведущих колес (шин). Поэтому, располагая такими данными по всем имеющимся ведущим шинам разных размерностей, можно расчетным путем на стадии проектирования определять тяговые свойства вновь создаваемых различных вариантов машин, в том числе полноприводных.

**Ключевые слова:** колесный трактор; гусеничный трактор; тяговая характеристика; коэффициент сцепления; коэффициент использования сцепного веса; испытания.

In 1972 G.G. Kolobov and A.P. Parfenov published the monograph «Traction characteristics of tractors». The monograph generalized numerous results of field tests of domestic wheeled and caterpillar tractors of that time, conducted by machine testing stations in various soil and climatic zones of the USSR. This had an impact on formulation and study of the issue of determining of tractors slippage, and in general, the study of their traction characteristics. Averaging of the experimental data was carried out according to the formulas and coefficients developed by the authors of the monograph. The obtained dependencies, hereinafter referred to as traction characteristics of tractors, establish the dependence of the coefficient of usable traction (specific traction force on the hook) on the slipping of tractors of various types on different soils.

By now, the concept of the role of the studies in research of the interaction of a wheel and track with the surface has changed. The standards have been introduced to limit slipping of agricultural tractors, considering the negative impact of their propulsors on the soil. There is a need to clarify the terminology used earlier in order to unify the same meaning terms used in different, but related technical disciplines.

Objectives of work are: rethinking of previous research results and assessing their relevance; distinction between the physical meaning and concepts of the traction coefficient and the coefficient of usable traction (specific traction force on the hook); determination of traction capabilities of wheeled and caterpillar tractors on natural agrotechnical and asphalt-concrete surfaces, considering current slippage limitations.

It was proposed for the purposes of engineering calculations in assessing traction performance of tractors to use as a traction coefficient of various propulsors its value corresponding to the maximum slipping on the appropriate agro-technical background or dry concrete. It is also found that the limitations on slipping of tractors on metal caterpillars are overstated on all soil backgrounds, since they rather characterize the «stop» mode of the tractor, than the beginning of the unstable operation of the engine.

The parameters of traction characteristics of 4x4 wheeled tractors require correction based on statistical replenishment with the initial data on traction tests of such tractors having a layout that considers the increased role of the front drive axle in creating the tractor pulling power. For 4x2 tractors traction characteristics are at the same time characteristics of traction performance of individual driving wheels (tires). Therefore, having such data on all available driving tires of different dimensions, it is possible, at the development stage, to determine traction properties of newly created different variants of machines, including all-wheel drive.

**Keywords:** wheeled tractor; caterpillar tractor; traction characteristic; traction coefficient; coefficient of usable traction; tests.

## Введение

В работе Г.Г. Колобова и А.П. Парфенова [1] статистически обобщены многочисленные результаты официальных тяговых испытаний отечественных колесных и гусеничных сельскохозяйственных тракторов, выпускавшихся и находившихся в производстве, которые были проведены машиноиспытательными станциями (МИС) в различных почвенно-климатических зонах СССР. Особую ценность исходным для обобщения материалам придает то обстоятельство, что тяговые испытания проводились по единой методике и, в том числе, на естественных сельскохозяйственных фонах. Однако более, чем сорокапятилетний интервал, отделяющий время написания монографии от настоящего времени, вызывает необходимость переосмыслить прежние результаты исследований. Сами осредненные зависимости далее будем называть тягово-сцепными характеристиками (ТСХ) сельскохозяйственных тракторов.

Целью данного исследования является переосмысление прежних результатов исследований и оценка их актуальности, разграничение физического смысла и понятий коэффициента сцепления и коэффициента использования сцепного веса (удельной силы тяги на крюке), определение тяговых возможностей колесных и гусеничных тракторов на естественных агротехнических фонах и асфальтобетонной поверхности с учетом действующих ограничений по буксованию.

## Материалы и методы исследования

В качестве основного параметра ТСХ был выбран коэффициент  $\varphi_{кр}$ , представляющий собой отношение силы тяги  $P_{кр}$  на крюке трактора к нормальной нагрузке на его ведущие колеса или гусеницы, т.е. к его сцепному весу  $G_{сц} = \lambda G$ , где  $G$  – вес трактора,  $\lambda$  – доля веса, приходящаяся на его ведущие колеса ( $\lambda = 1$  для гусеничных и 4К4,  $\lambda < 1$  для колесных тракторов 4К2). Коэффициент  $\varphi_{кр}$  принят в

качестве основного параметра не случайно. Трактор является преимущественно тяговой машиной, для которой основным показателем является сила тяги на крюке. С другой стороны,  $P_{кр}$ , а значит и  $\varphi_{кр}$ , зависит от конкретных условий работы, например типа почвы, давления в шинах, расположения центра давления на грунт, высоты точки прицепа и др. Все это оказало решающее влияние на представление ТСХ в виде осредненных опытных данных, выражаемых зависимостью:

$$\varphi_{кр} = \varphi_{кр \max} - A e^{-B\delta}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{кр \max}$  и  $\varphi_{кр}$  – соответственно максимальное и текущее значения удельной силы тяги на крюке,  $\delta$  – буксование,  $A$  и  $B$  – коэффициенты, зависящие от типа трактора, типа и состояния почвенного и дорожного фона. Зависимость (1) можно представить в виде:

$$\delta = \frac{1}{B} \ln \frac{A}{\varphi_{кр \max} - \varphi_{кр}}. \quad (2)$$

Выражение (2) удобно для построения кривой буксования теоретической тяговой характеристики сельскохозяйственного трактора в процессе выполнения его тягового расчета.

## Результаты исследования и их обсуждение

Преобразование зависимостей (1, 2) в графическую форму выполнено с помощью стандартной программы MS Excel и представлено на рисунках 1–3.

Большинство специалистов считают, что коэффициент сцепления  $\phi$  двигателя трактора с поверхностью пути в направлении движения представляет собой отношение максимальной по сцеплению силы тяги  $P_{\phi}$  к сцепному весу  $G_{сц}$  трактора [2]. Поскольку в данной работе оцениваются ТСХ, являющиеся усредненными характеристиками тягово-сцепных качеств тракторов, для целей инженерных расчетов

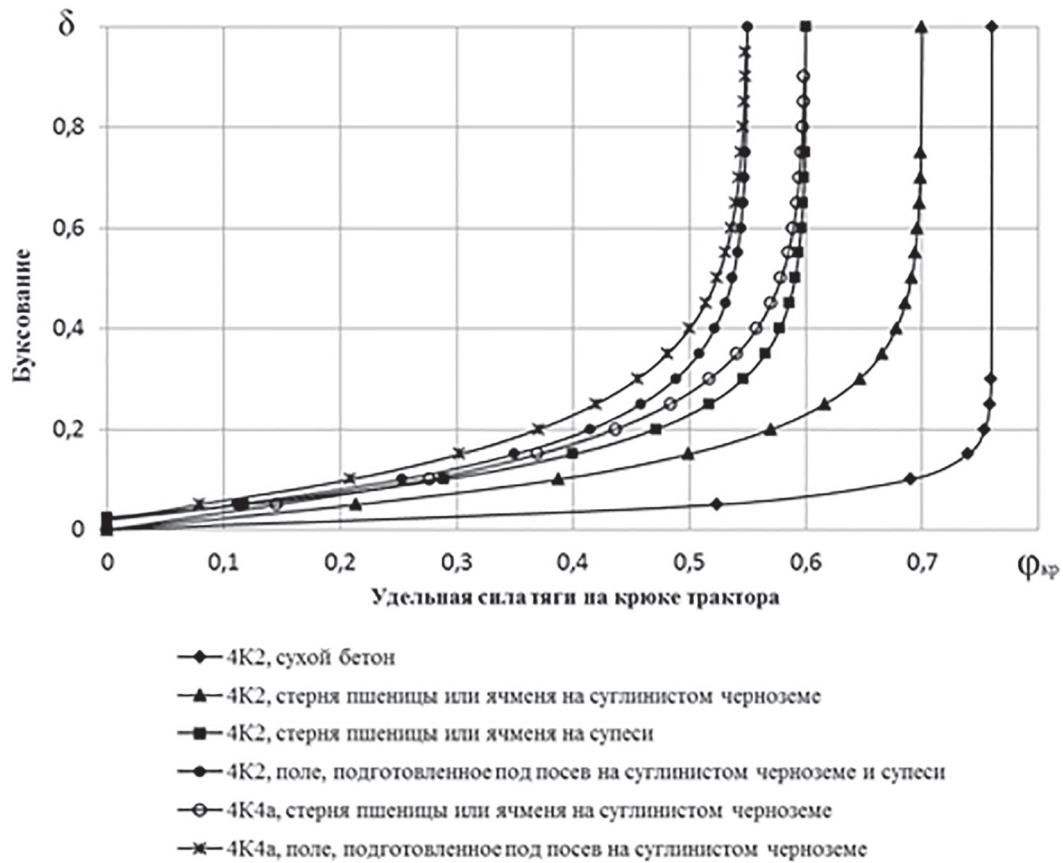


Рис. 1. ТСХ колесных тракторов 4К2 и 4К4а на сухом бетоне и почвенных фонах

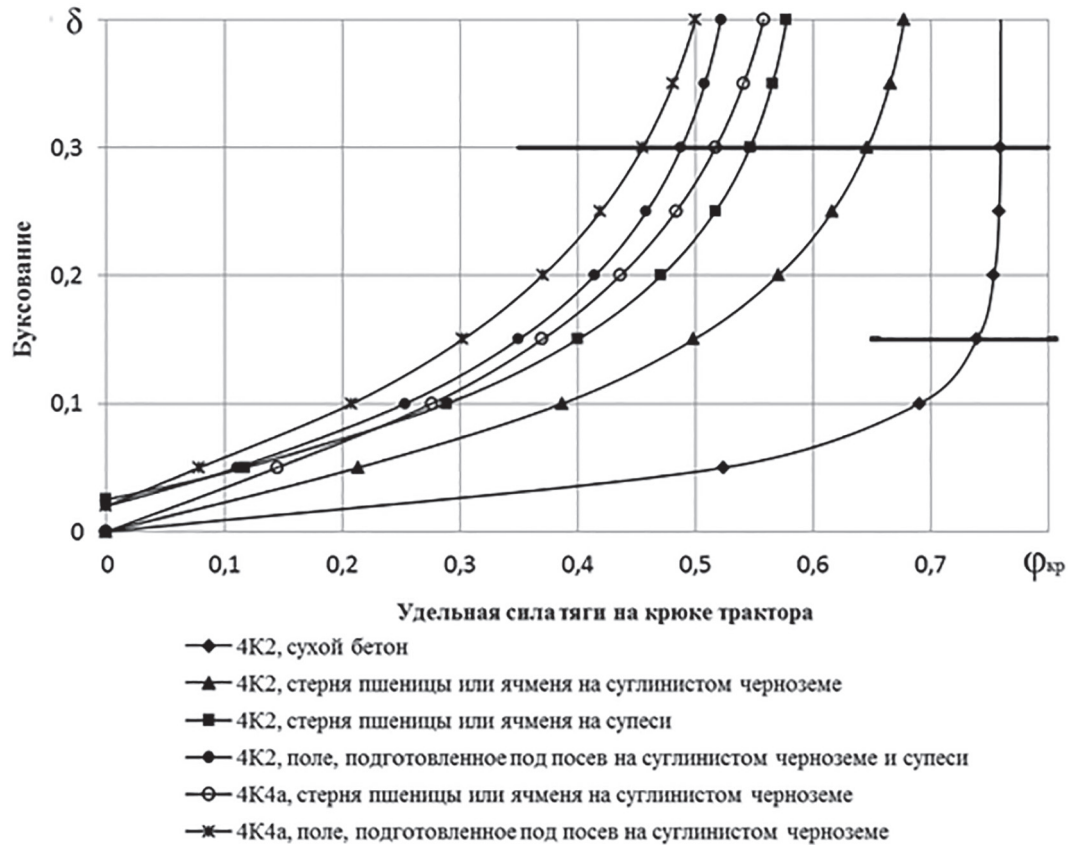


Рис. 2. ТСХ колесных тракторов 4К2 и 4К4а на сухом бетоне и почвенных фонах с ограничениями по буксованию

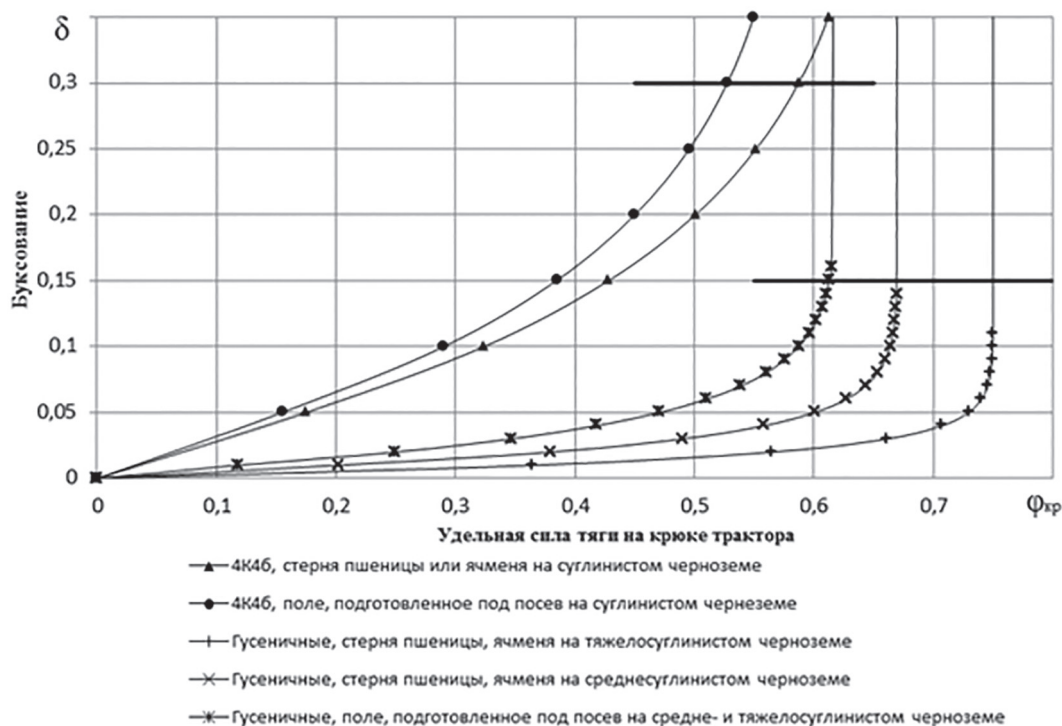


Рис. 3. ТСХ тракторов 4К46 и тракторов с металлической гусеницей на почвенных фонах с ограничениями по буксованию

можно считать, что коэффициентом сцепления различных движителей является значение  $\Phi_{кр \max}$  на соответствующем агротехническом фоне или дорожном покрытии.

Поскольку предметом труда сельскохозяйственного трактора является живая природа, для него являются важными агротехнические ограничения ряда параметров тракторов, рабочих значений буксования, уплотняющего воздействия на почву, которые регламентируются стандартами [3]. Позже был разработан и введен стандарт, ограничивающий максимально допустимую величину буксования движителей сельскохозяйственных тракторов [4]. В этом стандарте устанавливаются границы по буксованию: «максимальное тяговое усилие должно ограничиваться началом неустойчивой работы двигателя или буксованием, предельное значение которого должно быть на треках не более 7 % для гусеничных тракторов, 15 % для колесных и гусеничных тракторов с эластичной (резиновой) гусеницей, а на почвенных фонах – 15 и 30 % соответственно».

На рисунках 2 и 3 на ТСХ колесных тракторов и тракторов на металлических гусеницах нанесены границы по буксованию по ГОСТ 30745-2001, которые позволяют установить соответствующие им граничные значения коэффициента  $\Phi_{кр}$ . Эти граничные значения сведены в таблицу 1

и позволяют сравнить ТСХ сельскохозяйственных тракторов в сопоставимых условиях, а также оценить корректность ограничений, установленных указанным стандартом. Так, например, ограничения по буксованию тракторов на металлических гусеницах завышены на всех почвенных фонах, поскольку они скорее характеризуют «стоповый» режим трактора, чем начало неустойчивой работы двигателя.

ТСХ колесных тракторов 4К2 одновременно являются усредненными характеристиками отдельных ведущих колес (шин). Следовательно, если располагать такими данными по всем имеющимся ведущим шинам разных размеров, то можно расчетным путем на стадии проектирования оценивать тяговые свойства вновь создаваемых разных вариантов полноприводных машин. Однако такие сведения по отдельным шинам ведущих колес практически отсутствуют, также как отсутствует и задача необходимости их определения.

По причине основной работы тракторных шин ведущих колес на разнообразных, в том числе «слабых» грунтах, они принципиально отличаются от большинства остальных шин тем, что относятся к группе шин низкого давления [5].

Коэффициенты ТСХ колесных тракторов 4К4а нуждаются в корректировке, а массив исходных данных – в серьезном статистическом

Таблица 1

## Коэффициенты, определяющие параметры ТСХ тракторов на различных почвенных фонах и сухом бетоне

Двигатель	Почва, фон	$\phi_{\max}$	A	B	$\phi_{\text{кр}}$ граничное
4К2	Сухой бетон	0,76	0,8	24,4	0,74
	Стерня пшеницы, ячменя на суглинистом черноземе	0,7	0,756	8,82	0,64
	Стерня пшеницы, ячменя на супеси	0,6	0,75	8,81	0,54
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе и супеси	0,55	0,65	7,85	0,49
4К4а	Стерня пшеницы, ячменя на суглинистом черноземе	0,6	0,64	6,82	0,515
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе	0,55	0,65	6,43	0,45
4К4б	Стерня пшеницы, ячменя на суглинистом черноземе	0,67	0,708	7,15	0,57
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе	0,6	0,64	7,25	0,52
Металлическая гусеница	Стерня пшеницы, ячменя на тяжелосуглинистом черноземе	0,75	0,8	73,0	0,75
	Стерня пшеницы, чменя на среднесуглинистом черноземе	0,67	0,753	47,6	0,67
	Поле, подготовленное под посев, на средне- и тяжелосуглинистом черноземе	0,62	0,68	30,3	0,62

пополнении, связанном с тем, что они были получены на основе тяговых испытаний тракторов «классической» компоновки, у которых ведущий передний мост выполнял вспомогательную роль в реализации тягового усилия трактора и включался в работу автоматически только при достижении буксования трактора определенного значения или принудительно – по воле оператора. Отсюда – существенно меньший диаметр передних управляемых колес, чем задних основных ведущих, меньшая нормальная нагрузка от веса трактора. Однако со времени разработки параметров ТСХ классическая компоновка была усовершенствована в направлении увеличения доли переднего ведущего моста в создании тягового усилия трактора. Часть веса трактора, приходящаяся на передний мост, увеличилась, а размер передних колес почти сравнялся с размером задних. Универсальные тракторы с такой компоновкой доминируют на рынке, а граница мощности их двигателей достигает 360 кВт.

ТСХ тракторов с традиционной ходовой системой должны быть дополнены параметрами тракторов на резиноармированных гусеницах (РАГ), которые уже на протяжении нескольких десятилетий пополняют парки гусеничных тракторов разных стран, в том числе и РФ, а двигатели с РАГ хорошо зарекомендовали себя не только в сельскохозяйственном производстве, но и в легкой строительно-дорожной технике. Это относится также к новым типам дви-

жителей, использующим РАГ и создаваемым на базе тракторов 4К4б с шарнирной рамой.

Накоплен значительный материал по тяговым испытаниям, но только на искусственных покрытиях, что не позволяет сравнить показатели отечественных гусеничных тракторов с показателями тракторов с РАГ, полученных в техническом университете штата Небраска (США) [6]. Поэтому оценивать корректность ограничений по буксованию, установленных стандартом [4], возможно только на основании полученных ТСХ для тракторов с РАГ.

Рисунок 3 показывает превосходство тракторов с металлическими гусеницами над полноприводными тракторами 4К4б при всех значениях буксований до достижения установленных стандартом предельных значений. Выше говорилось о неправомерно завышенных значениях предельных буксований для тракторов на металлических гусеницах, что не позволяет оценить преимущество гусеничных тракторов при корректно выбранных значениях предельных буксований.

### Выводы

1. Осредненные ТСХ представляют собой безразмерные графические изображения зависимостей буксования тракторов на почвах сельскохозяйственного назначения разных природно-производственных зон страны, объединяющие многофакторные и разнородные по физическому смыслу (буксование и коэф-

фициенты использования сцепного веса) в единый график и могут быть использованы для осредненной оценки тягово-сцепных качеств сельскохозяйственных тракторов различных типов. Удельная сила тяги на крюке трактора является основным показателем обобщенных ТСХ с учетом конкретных (тип и состояние почвы, давления в шине, расположение центра давления, высоты точки прицепа и др.) условий проведения испытаний.

2. Параметры ТСХ колесных тракторов 4К4а нуждаются в корректировке, а массив исходных данных – в серьезном статистическом пополнении, связанном с тем, что компоновка таких тракторов за истекшее время претерпела изменения, а роль переднего ведущего моста в передаче тягового усилия трактора возросла. Все это может изменить значения параметров ТСХ.

3. Для целей инженерных расчетов можно считать, что коэффициентом сцепления различных движителей является значение  $\varphi_{кр \max}$  на соответствующем агротехническом фоне или дорожном покрытии, достигаемое при максимальном буксовании движителя.

4. Регламентированные ГОСТ 30745-2001 ограничения по буксованию тракторов на металлических гусеницах завышены на всех почвенных фонах, поскольку они скорее характеризуют «стоповый» режим трактора, чем начало неустойчивой работы двигателя.

5. ТСХ колесных тракторов 4К2 могут быть отнесены к характеристикам отдельных ведущих колес (шин). При наличии данных по ведущим шинам разных размерностей можно расчетным путем определять тяговые свойства вновь создаваемых различных вариантов полноприводных машин. Начинать лабораторно-полевые испытания по определению ТСХ тракторных шин низкого давления целесообразно с имеющихся в настоящее время в производстве размерностей.

6. ТСХ сельскохозяйственных тракторов должны быть дополнены ТСХ тракторов на резиноармированных гусеницах (РАГ), которые уже на протяжении нескольких десятилетий пополняют парки гусеничных тракторов разных стран, а движители с РАГ хорошо зарекомендовали себя не только в сельскохозяйственном производстве, но и в легкой строительной-дорожной технике. Это относится и к новым типам движителей, использующим РАГ и создаваемым на базе тракторов 4К4б с шарнирной рамой.

## Литература

1. Колобов Г.Г., Парфенов А.П. Тяговые характеристики тракторов. М.: Машиностроение, 1972. 157 с.
2. Парфенов А.П., Щетинин Ю.С. Об унификации некоторых терминов и понятий, применяемых в теории трактора, автомобиля, быстроходных колесных и гусеничных транспортно-тяговых машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4 (22). Т. 1. С. 102–106.
3. ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86, ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Методы определения воздействия движителей на почву. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. М.: Изд-во стандартов, 1986. 22 с.
4. ГОСТ 30745-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. М.: Изд-во стандартов, 2002. 15 с.
5. ГОСТ 25641.1-94. Шины (серии с маркировкой нормы слойности) и ободья для сельскохозяйственных тракторов и машин. Обозначения и размеры шин. М.: Изд-во стандартов, 1997. 29 с.
6. Tractor test reports // Nebraska Tractor Test Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <http://tractortestlab.unl.edu/testreports> (дата обращения 27.01.2017).

## References

1. Kolobov G.G., Parfenov A.P. Tyagovye kharakteristiki traktorov [Traction characteristics of Tractors]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 1972. 157 p.
2. Parfenov A.P., Shchetinin Yu.S. Unification of terms and concepts used in the theory of dynamics of tractors, cars, high-speed wheeled and caterpillar transport and traction vehicles. Izvestiya MG TU «MAMI». 2014. No 4 (22). T. 1, pp. 102-106 (in Russ.).
3. GOST 26953-86, GOST 26954-86, GOST 26955-86. Mobile agricultural engineering. Norms of impact propulsion on the soil. Methods for determining of propulsion impact on the soil. Method for determining of maximum normal stress in the soil. Moscow: Izd-vo standartov Publ. 1986. 22 p.
4. GOST 30745-2001. Agricultural tractors. Determination of traction indicators. Moscow: Izd-vo standartov Publ. 2002. 15 p.
5. GOST 25641.1-94. Tires (series with ply rating marking) and rims for agricultural tractors and machines. Designations and sizes of tires. Moscow: Izd-vo standartov Publ. 1997. 29 p.
6. Tractor test reports // Nebraska Tractor Test Laboratory [Elektronnyy resurs]. URL: <http://tractortestlab.unl.edu/testreports> (accessed 27.01.2017).