

# ОЦЕНКА ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ МОЩНЫХ ТРАКТОРОВ И КОМБАЙНОВ В КОМПЛЕКТАЦИИ С ШИНАМИ РАЗЛИЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

**КРАВЧЕНКО Владимир Алексеевич**, Донской государственный технический университет

**КРАВЧЕНКО Людмила Владимировна**, Донской государственный технический университет

**МЕЛИКОВ Иззет Мелукович**, Дагестанский государственный аграрный университет  
имени М.М. Джамбулатова

*Целью данной работы является определение тягово-цепных свойств ходовых систем колесных мобильных энергетических средств, оснащенных шинами с разным внутренним строением оболочки шины. Доказано, что для трактора класса 5 слойность брекера должна быть равной четырем, каркаса – шести, нити корда в брекере и каркасе должны иметь наклон соответственно 70 и 0° ; для движителя комбайна значения соответствующих параметров шины должны быть: 7, 6, 62, 15 соответственно. Установлено, что при комплектации ходовых систем экспериментальными шинами улучшаются тягово-цепные свойства мобильных энергетических средств.*

**Введение.** Рост численности населения нашей планеты с одновременным снижением трудоспособной части его, занятого производством продуктов питания, определяет необходимость производства высокопроизводительной техники с высокими технико-экономическими показателями. На полях нашей страны в настоящее время в технологическом процессе производства сельскохозяйственных культур применяются энергонасыщенные энергетические средства К-701М и К-744Р, самоходные зерноуборочные комбайны высокой производительности, такие как Дон-1500Б, Vektor-410, Agros-530, RSM-161, Тогут-740 и их модификации, а также другие мобильные энергетические средства (МЭС), на которых в основном применяются ходовые системы, оснащенные пневматическими шинами, способствующие более высокой мобильности и производительности колесным машинам, по сравнению с гусеничными [12, 13]. Но колесные машины больше, чем гусеничные, уплотняют почву, что приводит к ухудшению жизненно важных для растений биологических процессов в почве, таких как водный, тепловой и воздушный режимы, а это приводит к существенному снижению урожая возделываемых культур, значительно повышается сопротивление пахотных и других агрегатов при проведении последующей технологической операции и т.д. [3, 14, 15]. Поэтому особое внимание уделяется вопросам усовершенствования ходовых систем тракторов и других мобильных агрегатов, обеспечивающих их высокие тягово-цепные свойства с одновременным выполнением допустимых показателей воздействия ведущих колес на опорное основание, которые ограничиваются ГОСТ 26955-86.

Известно, что основными факторами, оказывающими влияние на тягово-цепные показатели и агротехнологическую проходимость мобильной сельскохозяйственной машины является ее масса машины и внутреннее строение оболочки шин [1, 2, 4, 5, 12, 13].

На основании вышеизложенного в данной работе целью исследований является определение тягово-цепных свойств ходовых систем колесных мобильных энергетических средств, оснащенных шинами с разным внутренним строением оболочки шины.

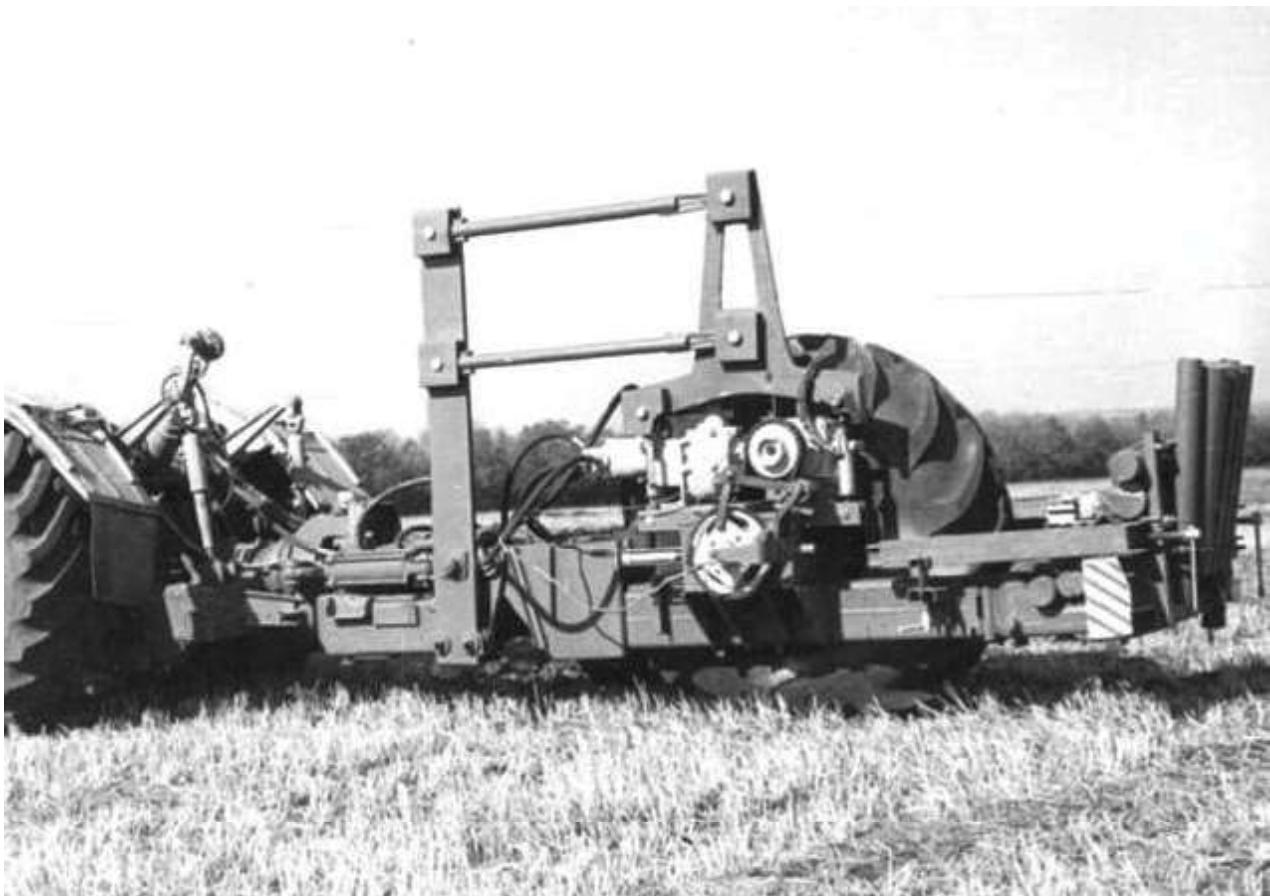
Объект исследования – процесс взаимодействия почвенного основания и движителей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств.

**Методика исследований.** Нами принят теоретико-экспериментальный метод исследования с применением «шинного тестера» и комплекса аппаратуры, который обеспечивал измерение всех необходимых параметров тягово-цепных свойств и показателей воздействия сельскохозяйственных мобильных энергетических средств на почву.

При оценке тягово-энергетических показателей движителей тракторов и зерноуборочных комбайнов с разным армированием внутреннего строения шин предусматривалось испытания, в первую очередь, на «шинном тестере» с целью исключения влияния на результаты исследований конструктивных факторов мобильного энергетического средства.

«Шинный тестер» (рис. 1), принцип действия и работу, которого подробно освещены в литературных источниках [5, 8–10], представляет





*Рис. 1. Общий вид измерительного комплекса «шинный тестер»*

собой конструкцию, состоящую из базовой машины – трактора К-701 и рамы с испытываемым колесом.

Колесо закреплялось на водиле планетарного редуктора, корпус которого опирается на раму тестера через наборный шариковый подшипник. Другой такой же подшипник служит опорой оси, являющейся продолжением водила. Конструкция опорных подшипников позволяет колесу перемещаться относительно рамы в боковом и продольном направлениях и через измерительные звенья – воспринимать боковую и продольную составляющие нагрузки, а корпусу планетарного редуктора – свободно вращаться вокруг своей оси. Последнее нужно для того, чтобы через систему реактивных штанг передать раме трактора реактивный момент в приводе колеса и, вследствие этого, обеспечить постоянный по величине вертикальную нагрузку на колесо, заданную балластом. Одна из штанг является измерительным звеном для регистрации реактивного момента, в точности равного крутящему моменту, подводимого к колесу.

Привод испытываемого колеса представляет собой гидростатическую передачу, насос которой получает вращение от вала двигателя, а гидромотор – передает крутящий момент колесу через коробку передач и редуктор.

Для оценки тягово-энергетических качеств шины приняты следующие показатели:  $P_k$  – касательную силу тяги;  $\eta_t$  – тяговый КПД колеса.

Определение этих показателей производилось на основе измерения:

$M_k$  – крутящего момента на оси колеса;

$P_1$ ,  $P_2$  – продольных составляющих сил, действующих на колесо;

$\alpha$  – угла наклона рамы тестера;

$n_k$ ,  $n_n$  – числа оборотов испытываемого и путеизмерительного колес.

При полевых опытах «шинный тестер» приводился в движение по заданному курсу. Регулированием потока масла в приводе испытываемого колеса и переключением передач трактора-тягача создавалось необходимое кинематическое соответствие и, вследствие этого, получался разный уровень тяговой загрузки колеса.

Показатели тягово-энергетических качеств испытываемой шины вычислены по формулам:

сила тяги:

$$P_k = P_1 + P_2 \pm (R - m_k g) \cdot \alpha, \quad (1)$$

где  $R$  – нормальная реакция колеса;  $m_k$  – масса колеса и закрепленных на его оси деталей привода;

радиус качения:

$$r_k = \frac{S_{\text{оп}}}{2\pi n_k} = r_n \frac{n_n}{n_k}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{оп}}$  – длина зачетного участка, определяемая по оборотам путеизмерительного колеса;

тяговый КПД:

$$\eta = \frac{P_k}{M_k} \cdot r_k. \quad (3)$$



Исследование влияния армирования шин на тягово-цепные свойства ходовых систем тракторов и комбайнов производилось в соответствии с существующими стандартами и отраслевыми методиками на испытания мобильных энергетических средств.

**Результаты исследований.** Колесный движитель сельскохозяйственной машины должен выполнять многообразные функции, выполнение которых можно лишь на основе комплекса различных, зачастую противоречивых, качеств пневматической шины как основного его элемента. Шина тем совершенней, чем выше ее тягово-энергетические и агротехнические показатели. Из всего многообразия основных направлений совершенствования движителей колесных машин наиболее предпочтительными, на наш взгляд, являются оптимизация внутреннего строения, а также разработка новых типов шин [5–8].

Тягово-энергетические показатели определяют качество шины как одного из звеньев динамической системы: двигатель – силовая передача – ведущие колеса – опорное основание – машина – нагрузка. Если характеристики звеньев согласованы между собой недостаточно, то их потенциальные свойства реализуются не полностью и наблюдаются дополнительные потери на самопередвижение агрегата [1, 2, 4, 5].

На тягово-цепные свойства мобильных энергетических средств оказывает влияние параметры армирования внутреннего строения шин [4–7].

У диагональных шин (рис. 2, а) нити в корде направлены под углом 15...45° от борта к борту. В связи с таким расположением нити корда образуют очень жесткую оболочку. Поэтому такие шины широко используются в ходовых системах мобильных энергетических средств, имеющих значительные радиальные нагрузки. Шины диагональной конструкции не ориентированы на возможность повышения агротехнических показателей тракторов и другой сельскохозяйственной техники.

В шинах радиальной конструкции нити корда расположены под углом 0...15° к меридиану (рис. 2, б).

Для радиальных шин характерна существенно большая податливость, чем диагональных, что положительно сказывается на движение машины при динамических процессах. Шины радиального исполнения развивают площадь контактного отпечатка до 20 % больше, чем диагональные, что приводит к улучшению их тягово-цепных свойств.

Расчет тяговой энергетики и переходных процессов на примере агрегатов с тракторами класса 5 показал, что потери можно снизить и, значит, выходные показатели агрегатов повысить, если увеличить продольную жесткость шин тракторов и совместить нагрузку, при которой у шин максимум тягового КПД, с нагрузкой определяющей тяговый класс трактора [4–7, 12, 13].

В работе для практической реализации этих требований и снижения уплотняющего воздействия на почву приняты два направления:

проведение оптимизации параметров армирования существующих шин;

создание шин с принципиально новым конструктивным исполнением внутреннего строения с дальнейшей оптимизацией их параметров.

Метод решения задачи оптимизации – расчетно-экспериментальный, для которого исходные условия зависят от основных требований к движителю данной машины [4, 5].

Для тракторов общего назначения необходимо получить максимальное значение тягового КПД при определенной величине деформации шины и допустимого стандартами воздействия на почвенное основание, а для пропашных тракторов и мощных зерноуборочных комбайнов – максимальную контурную площадь контакта с опорным основанием при допустимой радиальной деформации и необходимых тягово-цепных показателях шины [1, 4–7, 12, 13].

Динамические режимы нагружения шины учтены результатами теоретических исследований [4–7], статические – результатами испытаний на «шинном тестере» [8–11] специального комплекта шин, изготовленного с различными параметрами армирования (греко-латинский квадрат).

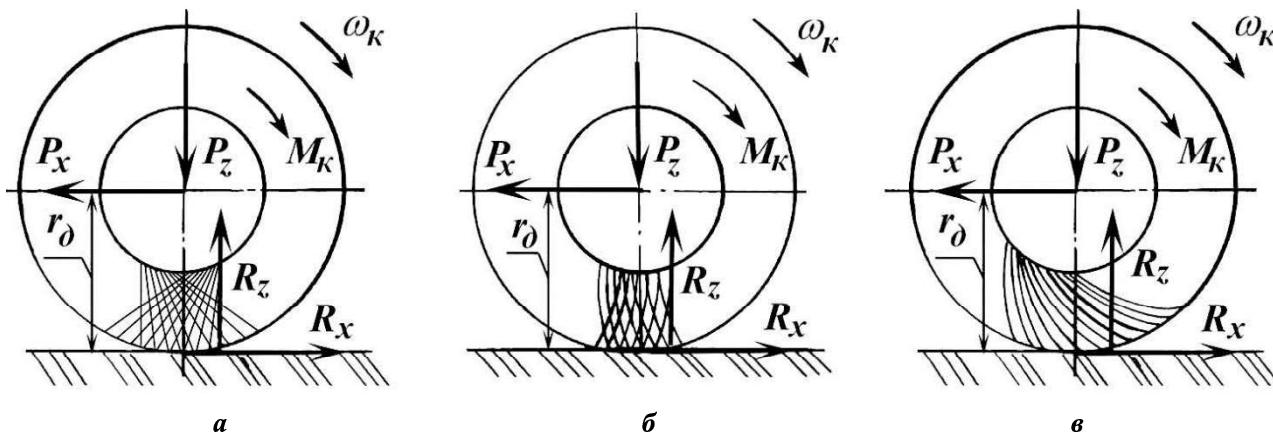


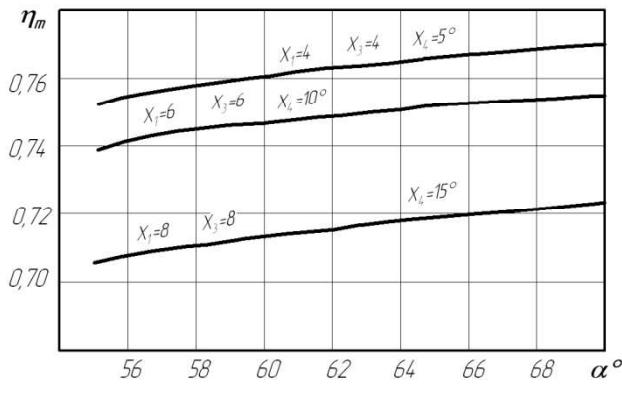
Рис. 2. Схема внутреннего строения шин различного конструктивного исполнения:  
а – диагональная шина; б – радиальная шина; в – экспериментальная шина



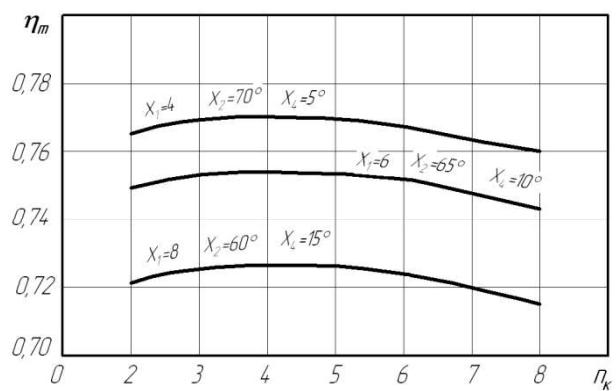
В шинах комплекта менялись на четырех уровнях – слойность  $\bar{l}_e$ ,  $\bar{l}_a$  и углы расположения нитей корда  $\alpha_e$ ,  $\alpha_a$  в каркасе и бреккере соответственно. Влияние исследуемых параметров на выходные показатели шин неоднозначно [4–7]. Поэтому для решения многопараметрической задачи оптимизации использованы метод «исследование пространства параметров» и симплекс-метод Данцига, основу вычислительной схемы которого составляют модифицированные жордановы исключения.

Для шины типоразмера 30,5R32 ее тангенциальная жесткость  $c_\tau$  (кН·м/рад), относительная деформация  $h_{\text{отн}}$ , %, тяговый КПД колеса  $\eta_t$ , %, и значение средних давлений  $q_{\text{ср}}$ , кПа, движителя на опорное основание с достаточной степенью точности можно определить с помощью следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_{\text{отн}} = 16,5 - 0,124n_6 + 0,047\alpha_6 - 0,438n_k - 0,131\alpha_k; \\ c_\tau = 4982,3 + 8,73n_6 - 135,5\alpha_6 + 20,05n_k - 0,366\alpha_k - \\ - 1,278n_6^2 + 0,09\alpha_6^2 + 0,172n_k^2 + 0,986\alpha_k^2; \\ \eta_t = 51,2 + 1,21n_6 + 0,58\alpha_6 + 0,63n_k - 0,15\alpha_k - \\ - 0,14n_6^2 - 3 \cdot 10^{-3}\alpha_6^2 - 7,8 \cdot 10^{-2}n_k^2 - 8 \cdot 10^{-4}\alpha_k^2; \\ q_{\text{ср}} = 94,05 + 1,21n_6 - 0,22\alpha_6 + 1,63n_k - 0,63\alpha_k. \end{array} \right. \quad (4)$$



a



b

Анализ результатов решения системы уравнений, а также данных проведенных экспериментальных исследований на шинном тестере, показал, что тяговый КПД шины 30,5R32 (рис. 3) зависит в определенной мере от рассматриваемых параметров, характеризующих ее внутреннее строение, и их различных сочетаний (значение тягового КПД меняется до 11 %).

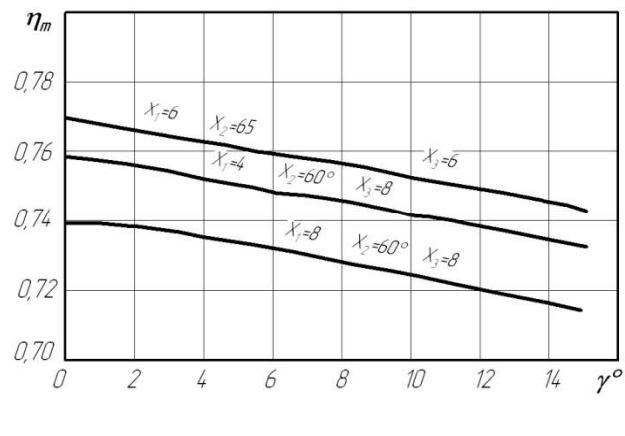
В соответствии с указанными функциями цели определено оптимальное сочетание конструктивных параметров радиальной шины 30,5R32:

– для трактора слойность брекера должна быть равной четырем, каркаса – шести, нити корда в бреккере и каркасе должны иметь наклон соответственно  $70^\circ$  и  $0^\circ$ ;

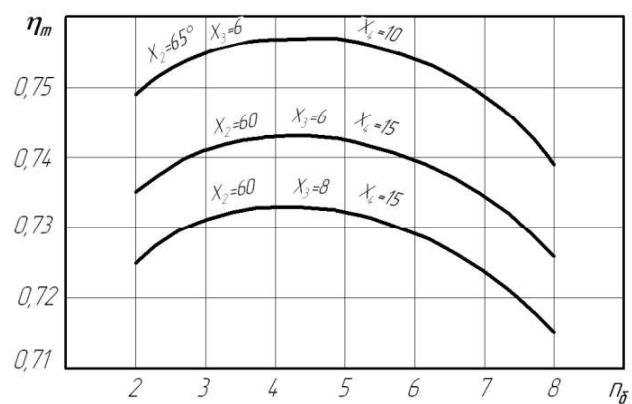
– для движителя комбайна значения соответствующих параметров шины должны быть: 7, 6, 62, 15°.

Характерно, что угол  $15^\circ$  в каркасе определяет границу между диагональными шинами (см. рис. 2, а) и радиальными (см. рис. 2, б).

Другое принципиально отличное и практически реализованное направление перспективного проектирования шин заключается в создании и оптимизации шин такого исполнения, в которой гистерезисные потери будут уменьшены



b



c

Рис. 3. Графики зависимости тягового КПД  $h_m$  движителя от параметров внутреннего строения шины:  
a)  $\eta_m = f(\alpha^\circ)$ ; б)  $\eta_m = f(\gamma^\circ)$ ; в)  $\eta_m = f(n_k)$ ; г)  $\eta_m = f(n_6)$



ны с одновременным увеличением размеров ее пятка отпечатка и продольной жесткости (см. рис. 1, в) [11]. Это достигнуто за счет реализации таких закономерностей деформирования оболочки, которые обеспечивают нагружение нитей корда, близкое к растяжению в зонах восприятия, и тангенциальных сил – к изгибу в зоне контакта.

В такойшине нити корда в каркасе расположены под углом 30...40° к меридиану, как у диагональной (см. рис. 1, а), но параллельно друг другу в смежных слоях.

Причем наклон нитей выполнен от бортовых колец к беговой дорожке в направлении, противоположном угловой скорости оси колеса [11].

Окончательная оценка эксплуатационных качеств шин проведена с учетом реальных условий эксплуатации на машинах.

С этой целью проведены испытания трактора тягового класса 5 семейства «Кировец» и комбайна Agros-530, поочередно укомплектованных шинами одного и того же 30,5-32,0 размера, но разных по типу конструктивного исполнения.

При сравнении тяговых показателей трактора, укомплектованного радиальными и экспериментальными шинами с оптимальными параметрами, явное преимущество оказалось, как и следовало ожидать, у второго варианта шин (табл. 1).

Тяговый КПД трактора с такими шинами на 7...19 % больше, что на контрольных сменах на пахоте дало повышение производительности агрегата и снижение удельного расхода топлива на 3...9 г/кВт·ч. На транспортном режиме движения часовой расход топлива меньше на

2,8...3,2 кг/ч, или в среднем на 13 %, а скорость больше на 0,3...0,5 км/ч.

Для зерноуборочного комбайна Agros-530 результаты аналогичны (табл. 2).

Сопротивление движению комбайна на диагональных и радиальных шинах практически одинаково, на экспериментальных в 1,1 раза меньше, несмотря на увеличенную скорость на 6,5 %.

Экспериментальные и радиальные шины способствуют снижению вышеуказанной динамической нагруженности агрегатов и узлов гидропривода движителей в 1,5 раза с повышением плавности движения зерноуборочного комбайна до 18%.

**Заключение.** Анализом проведенных экспериментальных исследований установлено, что при комплектации ходовых систем экспериментальными шинами улучшаются тягово-цепные свойства тракторов и комбайнов:

тяговый КПД трактора с экспериментальными шинами оптимальной конструкции на 0,07...0,19 % больше, что на контрольных сменах на пахоте дало повышение производительности агрегата и снижение удельного расхода топлива на 3...9 г/кВт·ч раза;

сопротивление движению комбайна на диагональных и радиальных шинах практически одинаково, на экспериментальных в 1,1 раза меньше, несмотря на увеличенную скорость на 6,5 %;

экспериментальные и радиальные шины способствуют снижению динамической нагрузженности гидропривода движителей в 1,5 раза с повышением плавности движения зерноуборочного комбайна до 18%.

Таблица 1

#### Тягово-энергетические показатели трактора класса 5 (К-701М) на стерне зерновых колосовых

Типоразмер шины	Рабочая передача	Крюковое усилие, кН	Рабочая скорость, км/ч	Буксование, %	Условный тяговый КПД	Удельный расход топлива, г/кВт·ч
30,5R-32	2-1	78,0	5,6	27,1	0,548	407
	2-2	69,0	7,4	20,4	0,641	364
	3-2	64,0	8,2	16,6	0,658	356
	3-3	54,5	10,3	11,2	0,704	322
	2-4	49,5	11,5	9,2	0,714	319
30,5Э-32	2-1	72,5	6,7	20,8	0,605	363
	2-2	70,0	7,4	18,4	0,660	358
	3-2	65,0	8,4	14,2	0,685	336
	3-3	54,5	10,4	8,2	0,711	319
	2-4	50,0	11,0	6,2	0,716	317

Таблица 2

#### Тягово-энергетические показатели комбайна Agros-530 на стерне зерновых колосовых

Типоразмер шины	Скорость движения, км/ч	Давление масла в гидроприводе колес, МПа	Расход топлива, кг/ч	Вертикальные ускорения, м/с <sup>2</sup>
30,5L-32	4,8	8,08	21,6	2,46
30,5R-32	4,7	8,18	22,2	2,34
30,5Э-32	5,0	7,11	20,5	2,07



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гедроит Г.И., Зезетко Н.И., Медведь А.В. Развитие конструкций ходовых систем тракторов «Беларус» мощностью 300...450 л.с. // Агропонорама,. – 2017. – № 4. – С. 5–9.
2. Горин Г.С., Янчук А.А., Ващула А.В. Анализ результатов сравнительных испытаний тягово-цепных свойств колес с шинами низкого и сверхнизкого давления // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 4. – С. 14–18.
3. Кравченко В.А., Дурягина В.В., Гамолина И.Э. Математическое моделирование тяговой нагрузки МТА // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 101. – С. 424–437.
4. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Кравченко Л.В. Повышение эффективности МТА на базе колесных тракторов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. – № 6 (16). – С. 45–50.
5. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Яровой В.Г. Повышение эксплуатационных показателей движителей сельскохозяйственных колесных тракторов. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 213 с.
6. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Меликов И.М. Оптимизация параметров армирования шин движителей колесных тракторов // Проблемы развития АПК региона. – 2017. – Т. 32. – № 4 (32). – С. 126–132.
7. Меликов И.М. Оптимизация конструктивных параметров радиальных шин движителей зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 41–46.
8. Патент 2085891 Российская Федерация, С1 6 G01 M 17/02. Шинный тестер / С.Г. Пархоменко, В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, И.М. Меликов; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморский институт механизации сельского хозяйства. – № 95111419 / 11; заявл. 03.07.1995; опубл. 27.07.1997, Бюл. № 21.
9. Патент 2092806 Российской Федерации, С1 6 G01 M 17/02. Шинный тестер/ И.М. Меликов, В.Г. Яровой, А.В. Яровой, В.А. Кравченко, С.Г. Пархоменко; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморская государственная агронженерная академия.– № 96103746 / 11; заявл. 26.02.1996; опубл. 10.10.1997, Бюл. № 28.
10. Патент 2107275 Российской Федерации, С1 6 G 01 M 17/02. Шинный тестер / В.А. Кравченко, В.Г. Яровой, С.Г. Пархоменко, И.М. Меликов, А.В. Яровой; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморская государственная агронженерная академия. – № 96109279 / 28; заявл. 05.05.1996; опубл. 20.03.1998, Бюл. № 8.
11. Патент 2677817 Российской Федерации, С1 МПК B60 C 9/07. Пневматическая шина для мобильного энергетического средства / В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, И.М. Меликов, Ф.М. Магомедов; патентообладатель ФГOU ВО Дагестанский ГАУ.– № 2017135896; заявл. 09.10.2017; опубл. 21.01.2019, Бюл. №3.
12. Повышение эксплуатационных качеств колесных движителей / В.В. Коптев [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 5. – С. 33–34.
13. Совершенствование пневматических шин мобильной техники/ В.Г. Яровой [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 7. – С. 27–30.
14. Bulinski, J. Effect of wheel passage number and type inflation pressure on soil compaction in the wheel track / J. Bulinski, L. Sergiel, // Annals of Warsaw agr. univ. Agriculture. Warsaw, 2013. No. 62. p. 5–15.
15. Results from Recent Traffic Systems Pesearch and the Implications for Future Work / Godwin R., Misiewicz P., White D. i and. // Acta technol. agr. 2015. Vol. 18. No. 3. p. 57–63.

**Кравченко Владимир Алексеевич**, д-р техн. наук, проф., Донской государственный технический университет, Россия.

**Кравченко Людмила Владимировна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем», Донской государственный технический университет, Россия.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.  
Тел.: 8-928-19-579-47, 8-909-404-00-32.  
E-mail: lusya306@yandex.ru.

**Меликов Иззет Мелукович**, канд. техн. наук, доцент, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Россия  
367032, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180.  
Тел.: +7(906)4475441.  
E-mail: izmelikov@yandex.ru.

**Ключевые слова:** шина; шинный тестер; тягово-энергетические показатели.

## EVALUATION OF TRACTION-CHAIN PROPERTIES OF POWERFUL TRACTORS AND COMBINES COMPLETE WITH VARIETIES OF VARIOUS PERFORMANCE

**Kravchenko Vladimir Alekseevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, Russia.

**Kravchenko Lyudmila Vladimirovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair “Design and Technical Service of Transport and Technological Systems”, Don State Technical University, Russia.

**Melikov Izzet Melukovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzambulatov, Russia.

**Keywords:** tire; tire tester; traction and energy indicators.

The purpose of this study is to determine the traction and coupling properties of the undercarriage systems of wheeled mobile energy vehicles equipped with tires with different internal structures of the tire cover. It has been proved that the breaker ply rating for class 5 tractor should be equal to four, the carcass ply rating should be equal to six, the cord threads of the breaker and the carcass should have the slope of 70 and 0° respectively; the values of the corresponding tire parameters should be: 7, 6, 62, 15° for the propulsor of a combine. It has been established that when the undercarriage systems are equipped with experimental tires, the traction and coupling properties of mobile energy vehicles are improved.

