

УДК 629.36.017

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС» МОЩНОСТЬЮ 300...450 Л.С.

Г.И. Гедроить,

заведующий каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.И. Зезетко,

первый заместитель генерального конструктора ОАО «МТЗ» – главный конструктор тракторной техники, канд. техн. наук

А.В. Медведь,

магистрант агроμηχανического факультета БГАТУ

Приведены результаты аналитических исследований уровня воздействия на почву и тягово-сцепных свойств тракторов «БЕЛАРУС» с различными вариантами ходовых систем.

Ключевые слова: трактор, шина, колесо, давление, напряжение, почва, сопротивление качению, сила тяги, ходовая система.

This article presents the results of analytical studies of the wheels impact level on the soil and of the traction and coupling properties of "BELARUS" tractors with various variants of running gears.

Keywords: tractor, tire, wheel, pressure, tension, soil, rolling resistance, tractive effort, running gear.

Введение

Трактор является основным энергетическим средством в сельскохозяйственном производстве. Мощность двигателей и энергонасыщенность тракторов постоянно увеличиваются, расширяются их функциональные возможности. ОАО «МТЗ» входит в восьмерку крупнейших мировых производителей тракторов, а каждый 10-й трактор в мире – это трактор «БЕЛАРУС». В последние десятилетия значительно расширена номенклатура тракторов. Выпускают тракторы тяговых классов 0,2...6. Самые мощные в линейке серийных тракторов тракторы – «БЕЛАРУС-3022/3522». Проходят испытания тракторы «БЕЛАРУС-4522» с мощностью двигателя 450 л.с.

Значительное влияние на эксплуатационные свойства тракторов оказывает конструкция ходовой части. Тракторы «БЕЛАРУС» выпускаются преимущественно с колесной ходовой системой 4x4a. Дальнейшее развитие ходовых систем необходимо осуществить в первую очередь с учетом уровня их воздействия на почву. Особенно это актуально для тракторов с двигателями мощностью 300...450 л.с., т.к. эксплуатационная масса таких тракторов составляет 11...20 тонн.

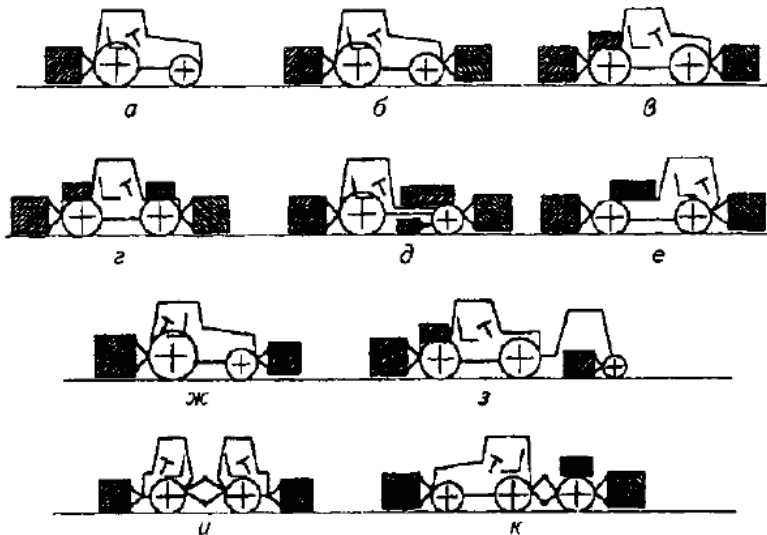
Цель настоящей работы – рассмотреть и оценить возможные направления развития конструкций ходовых систем и совершенствования компоновок тракторов «БЕЛАРУС» мощностью 300...450 л.с. с учетом мирового опыта.

Основная часть

В силу мобильности, возможности выполнять все основные технологические операции, высоких транспортных скоростей, приспособленности к агре-

гатированию, развитой сети дорог а также большей занятости в течение года, мобильные энергетические средства для сельского хозяйства имеют преимущественно колесные ходовые системы. На рис. 1 [1] приведены наиболее известные компоновочные схемы таких средств, их ходовых систем, варианты размещения технологических модулей, кабин и органов управления.

Колесные тракторы выпускаются преимущественно по первым четырем компоновочным схемам (рис. 1а, б, в, ж). Изначально разный размер колес был обусловлен тем, что задние колеса трактора – ведущие, а передние – ведомые. Это дает повышенную маневренность, т.е. уменьшает радиус поворота трактора. Чтобы трактор развивал высокую силу тяги, большую часть его веса перенесли на задние ведущие колеса. Развитие такой компоновки наиболее существенно выразилось в том, что на тракторе стали применять привод на передние колеса, переднюю навесную систему и передний ВОМ (рис. 1б). Тракторы с активным приводом всех колес одинакового размера (рис. 1в) появились при создании колесных машин большой мощности и силы тяги (50 кН и более) общего назначения, и в дальнейшем эта схема частично распространилась на тракторы меньших тяговых классов. Исходное распределение веса по осям тракторов классической схемы – 30...47 % на переднюю ось и 53...70 % на заднюю. Для тракторов с колесами равного размера около 60 % веса приходится на переднюю ось и около 40 % на заднюю. В процессе агрегатирования машин и выполнения технологических операций вес перераспределяется. По условию управляемости при работе с навесными машинами на заднем навесном устройстве и больших тяговых нагрузках, тракторы классической компо-



*Рисунок 1. Компонентные схемы энергетических средств:
а – классическая – 4К2; б – модернизированная классическая – 4К4а; в – модель с колесной формулой – 4К46; г – модель «Ксилон»;
д – тракторное самоходное шасси; е – модель «Интрак»; ж – модель «Мекс-Мобиль»; з – высвобождаемое энергетическое средство; и – жесткостыкуемые агрегаты; к – модульное энерготехнологическое средство (МЭС)*

новки догружаются передним балластом, обеспечивающим нагрузку на передний мост не менее 20 % веса трактора или агрегата с навесными машинами.

Основными моделями тракторов «БЕЛАРУС» с мощностью двигателя 300...450 л. с. являются тракторы «БЕЛАРУС-3022/3522/4522» (рис. 2). Основные параметры некоторых моделей тракторов приведены в табл. 1.

Все рассматриваемые тракторы ОАО «МТЗ» выполнены с колесной формулой 4x4a (4x4ж на реверсивном ходу). Передние колеса имеют меньший размер. На передний мост распределяется около 45 % общего веса. Для всех моделей возможна комплектация колесами для сдваивания. Давление воздуха в шинах выбирается в зависимости от скоростного и эксплуатационного режимов, а также от загрузки трактора агрегируемыми машинами и устанавливается по таблицам, приведенным в руководствах по эксплуатации, после определения массы трактора с агрегируемой машиной.

Мощность двигателей тракторов «Фендт» достигает



Рисунок 2. Трактор «БЕЛАРУС – 4522»

при этом 517 л. с. Российский производитель тракторов «Кировец» производит только тракторы 4x46 мощностью 300...428 л. с.

Таблица 1. Параметры тракторов «БЕЛАРУС»

Параметр	Модель		
	БЕЛАРУС-3022ДЦ.1	БЕЛАРУС-3522	БЕЛАРУС-4522
Масса, кг эксплуатационная/максимально допустимая	11500/14000	12300/14000	14785/20000
Номинальная мощность двигателя, л.с./кВт	303,3/223	355/261	431/317
Максимальный крутящий момент, н.м	1300	1498	2048
Колесная формула	4x4a	4x4a	4x4a
Распределение эксплуатационной массы по осям (передняя/задняя)	5230/6270	5440/6860	7075/7710
Шины:			
передние	540/65 R30	600/65 R34;	600/70 R34
задние	620/70 R42	710/70 R42	710/75 R42

Таблица 2. Параметры тракторов

Производитель	Серия (модель), номинальная мощность л.с.	
	4x4a	4x4b
Джон Дир	Серия 8R 270...370 л.с.	Серия 9R 370...570 л.с.
Клаас	Серия Axion 920-950 315...405 л.с.	Серия Xerion 4000-5000 401...487 л.с.
Нью Холанд	Серия T8000 248...303 л.с.	Серия T9000 384...535 л.с.
Челенджер	Серия MT600C 240...370 л.с.	Серия MT900 430...570 л.с.
Кейс	Серия Magnum 280...340 л.с.	Серия Quadtrac 335...535 л.с.
Фендт	Серия 1000 396...517 л.с.	–
Кировец	–	Серия К-744Р 300...428 л.с.



Рисунок 3. Трактор John Deere 9420

Как показано выше, широко распространенным способом улучшения проходимости тракторов является сдвигание или страивание колес. Это дает положительный эффект для повышения тягово-сцепных свойств из-за увеличения сцепного веса трактора, снижения давления на почву, уменьшения колееобразования. Однако маневренность и технологические возможности тракторов снижаются из-за возрастания ширины трактора, ограничения скорости движения. Так, для тракторов «БЕЛАРУС» максимальная скорость при сдвоенных передних колесах не должна превышать 10 км/ч. Сдвигание колес приводит к увеличению уровня воздействия на подпахотные слои почвы [2]. Это можно объяснить ростом опорной площади из-за увеличения количества шин и наличия расстояния между сдвигаемыми колесами. Кроме того, эффективность от сдвигания колес уменьшается из-за ограничения производителями допустимого снижения давления воздуха в шинах. Так, например, для рассматриваемых тракторов «БЕЛАРУС» в шинах задних колес в большинстве случаев это снижение не превышает 0,01...0,03 МПа, а значение давления не должно быть ниже 0,08...0,09 МПа. При более низких давлениях воздуха в шинах возможен проворот шин на ободьях, разрушение отдельных элемен-

тов шин. Поэтому уменьшается деформация шин, площадь пятна контакта и, как следствие, давление в контакте снижается непропорционально количеству колес, а меньше.

Более рационально для снижения уровня воздействия на почву и улучшения их тягово-сцепных свойств использование шин с увеличенными размерами и более низким допустимым давлением воздуха в них [3, 4]. Шины имеют меньшую норму слойности и более эластичны. Наибольший размер шин, выпускаемых ОАО «БЕЛШИНА», составляет 710/70R42. Шины устанавливаются на трактор «БЕЛАРУС-3522». Анализ продукции зарубежных производителей шин и конструкций ходовых систем тракторов, указанных в табл.2, показывает, что для улучшения показателей проходимости возможна комплектация тракторов шинами (передние // задние):

«БЕЛАРУС-3022ДЦ.1» 600/70R34 // 710/70R38;

«БЕЛАРУС-3522» 650/65R34 // 800/70R38;

«БЕЛАРУС-4522» 650/75R32 // 900/60R42.

Для оценки уровня воздействия ходовых систем на почву и тягово-сцепных свойств тракторов выполнен расчет максимального давления движителей на почву, напряжений в почве на глубине 0,5 м, коэффициентов сопротивления качению и сцепления тракторов. Нормируемые показатели воздействия ходовых систем на почву рассчитывали на основе стандартных методик [5, 6]. Ввиду отсутствия экспериментальных данных по параметрам пятна контакта шин с жестким основанием, их можно определить аналитически по формулам [7]:

$$a = 2K_L \sqrt{2R\lambda};$$

$$b = 2K_B \sqrt{2r\lambda};$$

$$F = \frac{\pi}{4} \varepsilon ab,$$

где F , a , b – соответственно контурная площадь (м^2), длина и ширина пятна контакта, м;

R , r – соответственно радиусы шины и беговой дорожки протектор, м;

K_L , K_B – коэффициенты длины и ширины пятна контакта, которые показывают во сколько раз реальные длина и ширина пятна контакта меньше, чем расчетные по формулам для хорд окружностей с радиусами R и r ;

ε – коэффициент формы пятна контакта, который показывает, во сколько раз контурная площадь пятна контакта отличается от расчетной по формуле для эллипса;

λ – деформация шины, м.

Из-за отсутствия информации по значениям радиусов беговой дорожки протектора ширину пятна контакта приняли равной ширине протектора.

Необходимые значения силы сопротивления качению и касательной силы тяги рассчитывали по методике профессора В.В. Гуськова [8].

Силу сопротивления качению P_f колесного движителя находим по формуле:

$$P_f = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{G^4}{K_k B D_{пр}^2}}$$

где G – нагрузка на колесо, Н;
 K_k – приведенный к размерам колеса коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³;
 B – ширина колеса, м;
 $D_{пр}$ – приведенный диаметр колеса, м;
 Касательную силу тяги определяли из выражения:

$$P_k = \frac{f_{ск} k_{\tau} G}{\delta L} \left[\ln ch \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{пр} \left(\frac{1}{ch \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{ср} \frac{h_r L}{t_r},$$

где $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения;
 k_{τ} – коэффициент деформации почвы, м;
 δ – буксование движителя;
 L – длина пятна контакта, м;
 $\tau_{ср}$ – напряжение среза почвы, Н/м;
 $f_{пр}$ – приведенный коэффициент трения;
 h_r, t_r – высота и шаг грунтозацепов, м.

Выполненные расчеты показывают, что предложенные варианты ходовых систем, в сравнении с серийными (табл. 1), позволяют снизить максимальное давление на почву на 13...25 %. При этом напряжения в почве на глубине 0,5 м снижаются на 7...10 % и не превышают 35...41 кПа. Значения напряжений для рассматриваемых тракторов являются определяющими по обеспечению норм воздействия движителей на почву [9] и при полученных значениях соответствуют допустимому уровню для почв влажностью 0,5НВ и менее, а также для почв влажностью (0,5...0,6)НВ в летне-осенний период. Для тракторов с серийными ходовыми системами на суглинке средней влажности получены значения коэффициентов сопротивления качению – 0,126...0,131, коэффициента сцепления – 0,483...0,490. Для предлагаемых комплектаций шин значения указанных коэффициентов равняются, соответственно, 0,121...0,127 и 0,530...0,556. Предполагаемое увеличение силы тяги на крюке составляет 15...20 %. Полученные результаты требуют экспериментальной проверки с учетом кинематического несоответствия, массово-габаритных параметров.

Учитывая, что при большой мощности двигателя (340...570 л.с.) мировые производители тракторов часто переходят на колесную схему 4x4б, оценим предполагаемое изменение показателей тягово-сцепных свойств трактора «БЕЛАРУС-4522» с колесной формулой 4x4а и 4x4б. Полагаем, что эксплуатационная масса трактора не зависит от компоновки и составляет 14785 кг. В первом варианте трактор укомплектован шинами 600/70R34 (передние) и 710/75 R42 (задние). Распределение массы по осям 45 и 55 %. Во втором варианте трактор укомплектован

шинами 710/75 R42, а распределение массы по осям – 60 % и 40 %.

Расчеты по приведенной выше методике показывают, что для средних почвенных условий сила сопротивления качению варианта 4x4б составляет 14,3 кН, а для трактора с колесной формулой 4x4а – 15,5 кН. Последнее значение выше на 8,4 %.

Касательная сила тяги у варианта с колесной формулой 4x4б составила 85,5 кН, для второго – 80,7 кН, что ниже на 5,6 %. Для установившегося движения теоретическое значение крюкового усилия для трактора с колесной формулой 4x4б выше на 6кН или на 9,2 %.

Таким образом, потенциально трактор с колесной формулой 4x4б может развить большую силу тяги, чем трактор с колесной формулой 4x4а. Однако, как правило, тракторы 4x4б тяжелее, недостаточно устойчивы на склонах, имеют худшую технологическую обзорность, менее приспособлены к работе с комбинированными агрегатами. Для снижения давления на почву, колесные тракторы по схеме 4x4б технологичнее для создания четырехгусеничных моделей (рис. 4).



Рисунок 4. Трактор «New Holland» серии Т9

Наряду с колесными, производители выпускают гусеничные тракторы. Их мощность составляет 320...637 л.с. Характерной особенностью таких тракторов является наличие резиноармированных обводов. Это обеспечивает мобильность, асфальтоходность, повышение рабочих скоростей, улучшение условий работы операторов, однако за рубежом их доля в общем парке не превышает 3 % [1].

Преимущества колесных и гусеничных машин сочетают трехосные тракторы. Увеличение количества осей является эффективным способом улучшения показателей взаимодействия ходовых систем с почвой [10, 11]. В разные годы трехосные модели создавались на базе тракторов «Кировец – КТ5703», «Балтиец – Т-150К» (ХТА-300-03). Они выполняют сельскохозяйственные работы, а также могут работать с технологическими емкостями, специальным оборудованием (краны, миксеры и т.п.), как тягачи в плохих дорожных условиях. Одна из последних известных разработок – трехосный трактор фирмы «Фендт» (рис. 5) имеет систему регулирования давления воздуха в шинах [12].



Рисунок 5. Трактор трехосный «Fendt Trisix Vario»

Рассмотренные модели выполняются с шарнирно-сочлененной рамой. По сравнению с базовыми моделями заметно возрастает вес тракторов. Так, если трактор К-701 имеет эксплуатационную массу 13,5 т, то трактор КТ5703 ТТБ-5-1 – массу 21,1 т. Мощные тракторы «Фендт» серии 1000 имеют эксплуатационную массу – 14 т, а трехосный вариант с двигателем 500 л. с. – 19 т. Все трехосные тракторы выполняют с колесной формулой 6х6.

Заключение

1. Основные производители сельскохозяйственных тракторов (Джон Дир, Фендт, Клаас, Челенджер, Нью Холанд, Кейс, ОАО «МТЗ») поставляют на рынок широкую гамму тракторов мощностью до 637 л.с. Большинство тракторов выпускается по классической схеме 4х4а (передние колеса меньше по диаметру, чем задние). При мощности двигателей тракторов 340...570 л. с. мировые лидеры переходят на компоновку 4х4б с шарнирно-сочлененной рамой. Тракторы «БЕЛАРУС» мощностью 300...450 л.с. имеют колесную формулу 4х4а. Аналогичной технической политики придерживается фирма «Фендт».

2. Комплектование тракторов шинами с увеличенными размерами и пониженным давлением воздуха эффективнее сдваивания колес ввиду меньшей массы, жесткости шин и меньшего влияния на подпахотные слои почвы. Оборудование мощных тракторов «БЕЛАРУС-3022/3522/4522» соответственно шинами (передние/задние) 600/70R34 // 710/70R38, 650/65R34 // 800/70R38, 650/75R32 // 900/60R42, обеспечивает допустимый уровень воздействия на почвах невысокой влажности. В сравнении с серийными ходовыми системами максимальное давление на почву снижается на 13...25 % при небольшом уменьшении напряжений в подпахотных слоях почвы. Предполагаемое увеличение силы тяги на крюке при этом составляет 15...20 %

3. Переход при производстве мощных тракторов от колесной формулы 4х4а к колесной формуле 4х4б теоретически обеспечивает повышение силы тяги на

крюке примерно на 9 %. С учетом современных технологий это возможно не является определяющим аргументом. Однако на базе тракторов 4х4б могут быть созданы четырехгусеничные модели (по аналогии с Клаас, Нью Холанд, Кейс, Кировец), расширяющие возможности колесных тракторов. ОАО «МТЗ» целесообразно проработать вариант создания трехосного трактора «БЕЛАРУС» с колесной формулой 6х6.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
2. Орда, А.Н. Определение показателей уплотняющего воздействия на почву ходовых систем колесных тракторов / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама, 2016. – № 3. – С. 6-12.
3. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
4. Шина сверхнизкого давления – оптимальный движитель для транспортных средств на слабонесущих грунтах / В.И. Котляренко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины, 2014. – № 2. – С. 17-21.
5. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву: ГОСТ 26953-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
6. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве: ГОСТ 26954-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 3 с.
7. Гедроить, Г.И. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники / Г.И. Гедроить // Агропанорама, 2009. – № 4. – С. 23-27.
8. Гуськов, В.В. Тракторы: ч. II. Теория / В.В. Гуськов. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.
9. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86 – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 5 с.
10. Орда, А.Н. Сопротивление почв / А.Н. Орда. – Мн.: БГАТУ, 2002. – 94 с.
11. Гедроить, Г.И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г.И. Гедроить, А.Г. Гедроить, А.Д. Четкин // Агропанорама, 2012. – № 5. – С. 2-7.
12. Гольяпин, В.Я. Новые тракторы зарубежных фирм / В.Я. Гольяпин // Тракторы и сельхозмашины, 2008. – №10. – С.50–56.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.05.2017