

П. А. Амельченко¹, Д. А. Дубовик¹, А. В. Ключников², А. В. Ващула³

¹Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²МТЗ-ХОЛДИНГ, Минск, Беларусь

³Белорусская машиноиспытательная станция, Привольный, Минский район, Беларусь

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СЕЛЬХОЗТРАКТОРОСТРОЕНИЯ

Аннотация. Установлено, что важнейшие направления развития конструкции сельскохозяйственных тракторов основаны на увеличении их производительности. Увеличение производительности осуществляется посредством повышения как энергонасыщенности, так и универсальности, позволяющей увеличить время непрерывной работы и коэффициент использования трактора. Определено, что повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет увеличения мощности силового агрегата колесных тракторов до 600 л.с., а также дополнения модельных рядов гусеничными тракторами нового технического уровня, близко унифицированными с колесными моделями аналогичной мощности. При этом ведущие производители тракторной техники разрабатывают концепцию сельскохозяйственного трактора с двигателем мощностью свыше 500 л.с. Увеличение универсальности тракторов сопровождается развитием их конструкции, обеспечивающим увеличение максимальных и средних скоростей движения. Увеличение транспортных скоростей до 50–60 км/ч и более достигается за счет совершенствования ступенчатых коробок передач, разработки и внедрения бесступенчатых трансмиссий, использования и улучшения характеристик подвесок переднего ведущего моста (ПВМ), кабины и сиденья оператора, применения тормозов колес ПВМ, антиблокировочных и противобуксовочных систем, всеколесного рулевого управления. Подробно рассмотрены особенности конструкции концептуальных моделей тракторов Fendt TRISIX Vario с двигателем MAN D2 676 мощностью 540 л.с. и колесной формулой 6×6, DEUTZ-FAHR Agro XXL с двигателем DEUTZ TCD 2015 мощностью 600 л.с. и колесной формулой 8×8, New Holland NH2 на водородных топливных элементах. Показано, что для повышения технического уровня тракторной техники большое внимание уделяется улучшению условий труда оператора, в том числе путем совершенствования конструкции, улучшения эргономических и эстетических свойств кабин, внедрения бортовых электронных систем контроля, диагностики и управления. Для снижения издержек и повышения эффективности сельскохозяйственного производства осуществляется все более широкое применение систем точного земледелия.

Ключевые слова: трактор сельскохозяйственного назначения, тракторостроение, высокоэнергонасыщенный трактор, тенденции развития, двигатель, синхронизированная коробка передач, бесступенчатая передача, трансмиссия, передний ведущий мост, кабина, сиденье, рулевое управление, тормозная система, подвеска, условия труда

Для цитирования. Современные тенденции сельхозтракторостроения / П. А. Амельченко [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 76–92.

P. A. Amelchenko¹, D. A. Doubovik¹, A. V. Klyuchnikov², A. V. Vaschula³

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²MTZ-HOLDING, Minsk, Belarus

³Belorussian Machine Testing Station, Privolny, Minsk district, Belarus

MODERN TENDENCIES OF AGRICULTURAL TRACTORS

Abstract. It is noted that the main components of the quantitative evaluation of the performance of tractors are the indicators of their energy saturation and universality. The key characteristic of tractors of agricultural purpose is the traction class, which characterizes, first of all, the energy saturation of a tractor. Universality of agricultural tractors is characterized, mainly, by their maximum speeds of movement and average speeds of performance of transport works. It has been established that the most important directions for the development of the design of agricultural tractors are based on increasing their productivity. Increasing productivity is achieved by increasing both energy saturation and versatility, which allows to increase the time of continuous operation and the coefficient of using the tractor. It is determined that the increase in energy saturation is ensured by increasing the power of the power unit of wheeled tractors to 600 hp, as well as the addition of model series with new-level caterpillar tractors, closely aligned with wheel-type models of similar power. At the same time, the leading manufacturers of tractors are performing research and development in the development of the concept of an agricultural tractor with an engine of more than 500 hp. The increase in the universality of tractors is accompanied by the development of their construction, which ensures an increase in the maximum and average speeds of movement. The increase in transport speeds of up to 50–60 km/h and more is achieved by the improvement of stepped gearboxes, the development and introduction of

continuously variable transmissions, the use and improvement of the characteristics of the suspension of the front driving axles, the cabin and the operator's seat, the use of brakes of the front driving axle wheels, anti-lock and anti-traction systems, and all-wheel steering. It is shown that to increase the technical level of tractor equipment, great attention is paid to improving the operator's working conditions, including by improving the design, improving the ergonomic and aesthetic properties of the cabins, automating work processes by developing and implementing on-board electronic control systems, diagnostics and controls. To reduce costs and increase the efficiency of agricultural production, the use of precision farming systems is becoming increasingly widespread.

Keywords: agricultural tractor, tractor engineering, high-energy-saturated tractor, development trends, engine, synchronized gearbox, continuously variable transmission, transmission, front drive axle, cabin, seat, steering, braking system, suspension, working conditions

For citation. Amelchenko P. A., Doubovik D. A., Klyuchnikov A. V., Vaschula A. V. Modern tendencies of agricultural tractors. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2018, vol. 63, no. 1, pp. 76–92 (in Russian).

Введение. В начале XXI в. основным мобильным энергетическим средством в сельскохозяйственном производстве, прежде всего в растениеводстве, остается универсально-пропашной трактор (сельскохозяйственный трактор). По мнению авторов настоящей работы и [1], колесный трактор будет оставаться «рабочей лошадкой» сельского хозяйства и в обозримом будущем.

По прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, в 2050 г. на Земле будет проживать 9,2 млрд населения. Общий объем производства продовольствия потребуется увеличить на 70 %, причем в развивающихся странах его необходимо будет удвоить. Спрос на зерновые культуры возрастет более чем в 1,5 раза и достигнет 3 млрд т, а в случае интенсивного распространения использования их для производства биотоплива спрос на эти культуры может значительно повыситься. Будущий рост требуемых объемов продовольствия и, соответственно, потребности в средствах его производства делает рынок тракторов для сельского хозяйства одним из наиболее динамично развивающихся. В докризисные годы середины первого десятилетия XXI в. продажи тракторов ежегодно прирастали, причем прирост рынка достигал 30 %.

Для устойчивого присутствия и укрепления своих позиций на рынке ведущие производители тракторной техники наращивают объем научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (НИОКР). Годовой объем НИОКР в тракторостроении на текущий момент уже превышает несколько миллиардов долларов США. У одной только корпорации John Deere затраты на научные исследования и разработки достигают 1 млрд долл. США в год.

Мировой финансовый кризис 2008 года вызвал падение рынков, привел к снижению продаж, в том числе сельскохозяйственных тракторов, и обострил конкуренцию между машиностроительными компаниями. Стремясь сохранить свои позиции на рынке и минимизировать падение продаж, ведущие производители были вынуждены активизировать НИОКР по разработке и внедрению инноваций и ускорить выход на рынок новых моделей тракторов.

Для разработчиков и производителей тракторной техники, как и для научных работников, практический интерес представляет, посредством сочетания каких технических решений обеспечивается конкурентоспособность сельскохозяйственных тракторов, а также направления дальнейшего развития их конструкции.

Целью настоящих исследований является выявление основных тенденций развития конструкции тракторов сельскохозяйственного назначения на рубеже XX–XXI вв. по результатам анализа материалов важнейших выставок сельскохозяйственной техники, патентной и научно-технической литературы.

Повышение энергонасыщенности. Наиболее энергозатратными видами работ в сельском хозяйстве являются полевые работы по обработке почвы. Их эффективность и производительность тракторной техники находятся в прямой зависимости от количества производимой в единицу времени или же за один проход трактора полезной работы $A_{п}$. Последняя может быть выражена через размеры обрабатываемой площади $S_{об}$, вид и количество выполняемых технологических операций $i_{оп}$ за один проход:

$$A_{п} = f(S_{об}, i_{оп}). \quad (1)$$

Как видно из (1), величина выполняемой в единицу времени полезной работы $A_{\text{п}}$ определяется способностью трактора одновременно приводить в действие наибольшее количество сельскохозяйственных орудий и машин определенной ширины захвата. Поэтому ключевой характеристикой тракторов является рассчитываемый по ГОСТ 27021-86 тяговый класс, показывающий не только номинальное тяговое усилие трактора и в пересчете необходимую величину мощности силового агрегата, но и насколько эффективна конструкция самого трактора при имеющейся у него эксплуатационной массе.

Из выражения (1) следует, что повышению производительности тракторной техники при наличии в хозяйствах достаточных площадей обрабатываемых земель способствует увеличение мощности ее двигателя. Поэтому одной из основных тенденций тракторостроения является повышение энергонасыщенности сельскохозяйственных тракторов. Ведущие тракторопроизводители активно занимаются расширением модельных рядов выпускаемой техники, преимущественно путем разработки и освоения производства высокоэнергонасыщенных тракторов (рис. 1).

При этом принято считать, что колесные тракторы с двигателем мощностью до 350 л.с., как правило, имеют классическую компоновку с колесами разной размерности на переднем и заднем мостах. Колесные тракторы с двигателем мощностью более 350 л.с. выполняются по шарнирно-сочлененной схеме с одинаковыми колесами [2].

Вместе с тем следует отметить, что в начале XXI в. наметилась тенденция повышения мощности колесных тракторов классической компоновки. Компания Fendt выпустила на рынок самый мощный колесный трактор классической компоновки – Fendt 1050 с двигателем мощностью 500 л.с. и трансмиссией VarioDrive (рис. 2, *a*). Холдинг «МТЗ-ХОЛДИНГ» также поддерживает тенденцию роста мощности тракторов классической компоновки, разработав трактор «Беларус 4522» с двигателем мощностью 466 л.с. и гидромеханической трансмиссией 16×8 , который на сегодняшний день является вторым по мощности трактором подобной компоновки в мире (рис. 2, *b*).

Реализация данной тенденции сопровождается обострением конкуренции разных концепций и актуализацией непрерывной «борьбы» между колесными и гусеничными тракторами, осуществляемой последними техническими достижениями в области конструкции движителя. По мере роста мощностей колесных тракторов все более критическими становятся ограничения по давлению на почву, массе и габаритам, которые подошли к пределу по ширине с позиций выхода на дороги общего пользования. Одновременно появились новые конкурентоспособные решения по резиноармированным гусеницам. Поэтому в сегменте дорогой и тяжелой высокопроизводительной техники крупнейшие фирмы, например, такие как John Deere, CASE New Holland, AGCO, начали производить гусеничные тракторы нового технического уровня (см. рис. 1, *d–f*), близко унифицированные с колесными моделями аналогичной мощности.

В колесных тракторах при современных параметрах шин повышение мощности двигателя свыше 500 л.с. требует поиска новых компоновочных решений, чем активно занимаются ведущие производители тракторной техники.

Одно из таких решений предложила компания Fendt в своей концептуальной разработке TRISIX Vario (см. рис. 1, *g*), сочетающей в себе преимущества колесных и гусеничных тракторов [3]. Шесть идущих по одной колее одинаковых шин 650/65 R 38 на колесах трех ведущих мостов увеличивают контактную площадь опоры Fendt TRISIX Vario примерно на 70 % по сравнению с двухосными тракторами с шарнирно-сочлененной рамой. Последним для реализации полной мощности двигателя необходима установка сдвоенных или даже строенных колес, которая накладывает ограничения на движение по дорогам общего пользования. Удовлетворительная поворачиваемость TRISIX Vario достигается синхронным поворотом колес переднего и заднего мостов. Пружинная подвеска полуосей обеспечивает устойчивость трактора при раскачивании и выравнивание его положения на склонах. Крутящий момент от двигателя через раздаточную коробку передается на две коробки передач Vario типа ML-260, из которых одна кинематически связана с колесами передних мостов, вторая приводит в действие ведущие колеса заднего моста. Двигатель MAN D2676 с максимальными мощностью 540 л.с. и крутящим моментом 2400 Нм и тормозная система с ABS обеспечивают движение TRISIX Vario, в том числе по дорогам общего пользования, со скоростью 65 км/ч. При скорости свыше 30 км/ч управление колесами заднего моста автоматически блокируется и управляемыми остаются только колеса переднего моста.



Рис. 1. Энергонасыщенные тракторы сельскохозяйственного назначения: *a* – Claas XERION 5000 с двигателем Catterpillar C13 мощностью 524 л.с.; *b* – New Holland T9.615 с двигателем FPT Cursor 13 мощностью 613 л.с.; *c* – Case IH Steiger 600 с двигателем Iveco Cursor мощностью 608 л.с.; *d* – Versatile 550DT с двигателем Cummins QSX15 мощностью 591 л.с.; *e* – John Deere 9560RT с двигателем PowerTech мощностью 616 л.с.; *f* – CASE New Holland T9 670 с двигателем FPT Cursor 13 мощностью 669 л.с.; *g* – Fendt TRISIX Vario с двигателем MAN D2676 мощностью 540 л.с.; *h* – Deutz-Fahr Agro XXL с двигателем DEUTZ TCD 2015 мощностью 600 л.с.

Fig. 1. Energy-saturated tractors for agricultural purposes: *a* – Claas XERION 5000 with the engine Catterpillar C13 with the power of 524 hp; *b* – New Holland T9.615 with the engine FPT Cursor 13 with the power of 613 hp; *c* – Case IH Steiger 600 with the engine Iveco Cursor with the power of 608 hp; *d* – Versatile 550DT with the engine Cummins QSX15 with the power of 591 hp; *e* – John Deere 9560RT with the engine PowerTech with the power of 616 hp; *f* – CASE New Holland T9 670 with the engine FPT Cursor 13 with the power of 669 hp; *g* – Fendt TRISIX Vario with the engine MAN D2676 with the power of 540 hp; *h* – Deutz-Fahr Agro XXL with the engine DEUTZ TCD 2015 with the power of 600 hp

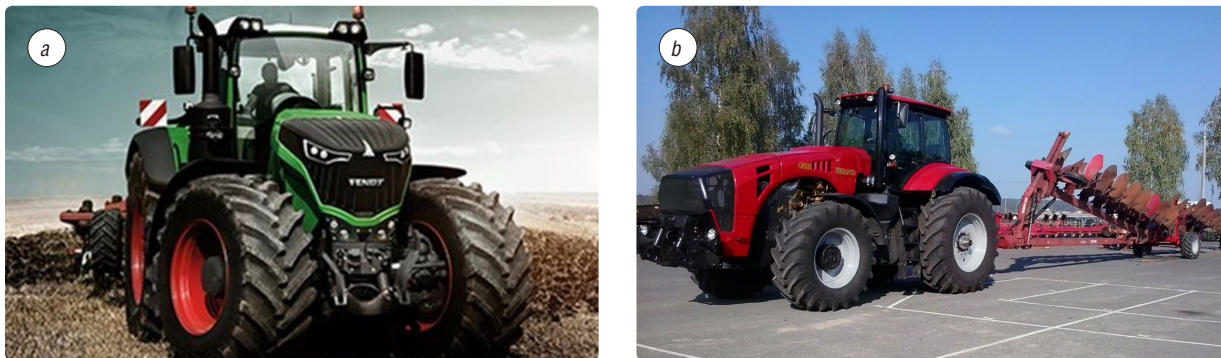


Рис. 2. Колесные тракторы классической компоновки с двигателями мощностью свыше 350 л.с.: *a* – Fendt 1050 с двигателем MAN объемом 12,4 л мощностью 500 л.с.; *b* – «Беларус 4522» с двигателем Catterpillar C13 мощностью 466 л.с.
 Fig. 2. Wheeled tractors of the classic configuration with engines over 350 hp: *a* – Fendt 1050 with the engine MAN with the power of 500 hp; *b* – “Belarus 4522” with the engine Catterpillar C13 with the power of 466 hp

Заслуживает внимания также и концептуальная модель трактора DEUTZ-FAHR Agro XXL (рис. 1, *h*), представленная компанией DEUTZ-FAHR по результатам научных исследований «относительно силы тяги и почвенного грунта», выполненных при поддержке правительства федеральной земли Тюринген [4]. В основу концепции трактора Agro XXL положена задача поиска и проработки технических решений для повышения энергонасыщенности и дальнейшего совершенствования конструкции сельскохозяйственных тракторов. Решение данной задачи предполагает устранение недостатков конструкции двухосных колесных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой, обычно не вписывающихся в дорожный габарит и, как следствие, имеющих соответствующее ограничение движения по дорогам общего пользования, и гусеничных тракторов, достигающих предела своих возможностей в сырую погоду.

Для преодоления указанных ограничений тракторов традиционной компоновки у трактора Agro XXL количество ведущих колес увеличено до 8. Причем все они имеют одинаковый диаметр и расположены по базе в одной колее равномерно по передней и задней секциям. Крутящий момент от двигателя передается переключаемой под нагрузкой коробке передач с 18 передачами переднего хода и шестью передачами заднего хода, а затем распределяется между четырьмя редукторами, приводящими в действие по паре колес одного борта. Восьмицилиндровый V-образный двигатель DEUTZ TCD 2015 объемом 15,9 л с турбонаддувом и системой охлаждения надувочного воздуха развивает мощность 600 л.с. Крутящий момент достигает своего максимального значения 2800 Нм уже при 1300–1500 об/мин коленчатого вала. Максимальные скорости переднего и заднего хода трактора составляют соответственно 40 и 12,7 км/ч. При выполнении транспортных работ привод четырех колес задней секции отключается. Поворот трактора Agro XXL осуществляется за счет шарнирного соединения двух секций. При ширине 2,85 м и длине 8,9 м диаметр разворота трактора по траектории качения внешних колес составляет 17,5 м.

По информации производителя, тяговое усилие трактора Agro XXL, на который могут устанавливаться шины как 600/70 R30, так и 750/75 R26, составляет 12,5 т. Платформа оснащена системой быстрой стыковки с контейнерами Jost и имеет шаровое сцепное устройство для полуприцепа, например для транспортировки цистерны с навозной жижей. В задней части трактора расположено обычное крепление для нормальной тяговой серьги. Главной точкой сцепления орудий является расположенное в задней части маятниковое сцепное устройство, позволяющее при маневрировании в колее снизить колебательные движения, характерные для шарнирно-сочлененного трактора.

Поскольку восемь колес с таким шасси могут реализовывать более высокое тяговое усилие, разработчики Agro XXL заявляют, что существуют возможности дальнейшего развития данного трактора.

Повышение универсальности. Особенностью современных сельскохозяйственных тракторов является то, что они используются для выполнения различных видов работ. Наряду с выполнением полевых работ по обработке почвы, они широко применяются для транспортных работ.

Причем доля транспортных работ постоянно растет. Уже в начале XXI в. для универсально-пропашных тракторов тягового класса 1,4 транспортные внутрихозяйственные перевозки составляют от 25 до 60 % от общего объема выполняемых ими работ [5] в зависимости от хозяйства, в котором они используются.

В качестве критерия для количественной оценки эффективности транспортных работ широкое распространение получила удельная производительность, определяемая по РТМ 37.031.007-78. Применительно к тракторной технике выражение для расчета удельной производительности может быть представлено в виде

$$w_{tr} = \frac{m_{гр} v_{ср}}{Q_{ср}}, \quad (2)$$

где $m_{гр}$ – масса перевозимого груза, кг; $v_{ср}$ – средняя скорость транспортировки груза, км/моточас; $Q_{ср}$ – средний расход топлива, л/моточас.

Из выражения (2) следует, что повышение удельной производительности тракторной техники w_{tr} при выполнении ею транспортных работ следует связывать как с уменьшением среднего расхода топлива $Q_{ср}$ силового агрегата [6], так и с увеличением массы перевозимого груза $m_{гр}$ и повышением средней скорости $v_{ср}$ его транспортировки.

Увеличение находящегося в прямопропорциональной зависимости от массы перевозимого груза $m_{гр}$ сопротивления движению компенсируется увеличением мощности силового агрегата при повышении энергонасыщенности трактора.

Конструктивно увеличение средних скоростей $v_{ср}$ движения достигается дальнейшим развитием и разработкой принципиально новых трансмиссий [7]. Поскольку характеристики трансмиссий во многом определяют не только технический уровень тракторов, а вместе с тем и их стоимость, ведущие производители тракторной техники для расширения своего присутствия в разных сегментах рынка выпускают тракторы с разными типами трансмиссий. В зависимости от мощности двигателя и требований потребителей в конструкции сельскохозяйственных тракторов применяются синхронизированные коробки передач с переключением передач на ходу (без остановки трактора), трансмиссии с переключением передач под нагрузкой (так называемые в зарубежной литературе PowerShift) и бесступенчатые трансмиссии (Continuously Variable Transmission, CVT) [2].

Среди бесступенчатых трансмиссий сельскохозяйственных тракторов наибольшее распространение получили двухпоточные гидрообъемно-механические трансмиссии (ГОМТ). Первой ГОМТ на рынке сельскохозяйственных тракторов стала представленная на выставке Agritechnica в 1995 г. в составе трактора Fendt модели Favorit 926 Varío и прошедшая свою дальнейшую модернизацию бесступенчатая коробка передач Fendt Varío (рис. 3) [8].

К преимуществам трансмиссии Fendt Varío разработчики относят особенности ее функциональной схемы, которая содержит всего четыре пары шестерен вместо более 30 шестерен в традиционных коробках передач. При этом положительной особенностью является устранение жесткой механической связи между двигателем и ведущими колесами [9]. Тем самым обеспечивается плавное регулирование скорости в диапазоне от 0 до 60 км/ч, бесступенчатое изменение направления движения и снижение пиковых нагрузок в силовом приводе трактора, исключается необходимость в ходоуменьшителе.

В состав трансмиссии входят регулируемые насос и два гидромотора с максимальным отклонением блока цилиндров до 45°. Трогание трактора происходит в режиме прохождения всей мощности двигателя через гидрообъемную передачу (ГОП). С ростом скорости движения трактора увеличивается доля мощности, проходящая через механическую ветвь. Максимальная скорость 60 км/ч достигается при экономичной частоте вращения 1950 об/мин коленчатого вала двигателя.

В соответствии с описанием работы трансмиссии [10] в начале движения параметр регулирования насоса $e_1 = 0$, параметры регулирования гидромоторов $e_2 = 1$. При увеличении параметра регулирования e_1 от 0 до 1 при выбранных конструктивных параметрах трансмиссии скорость трактора растет от 0 до 6 км/ч. Затем, при фиксированном значении $e_1 = 1$ параметр регулирования гидромоторов e_2 снижается с 1,0 до 0,5, что вызывает увеличение скорости от 6 до 9 км/ч.

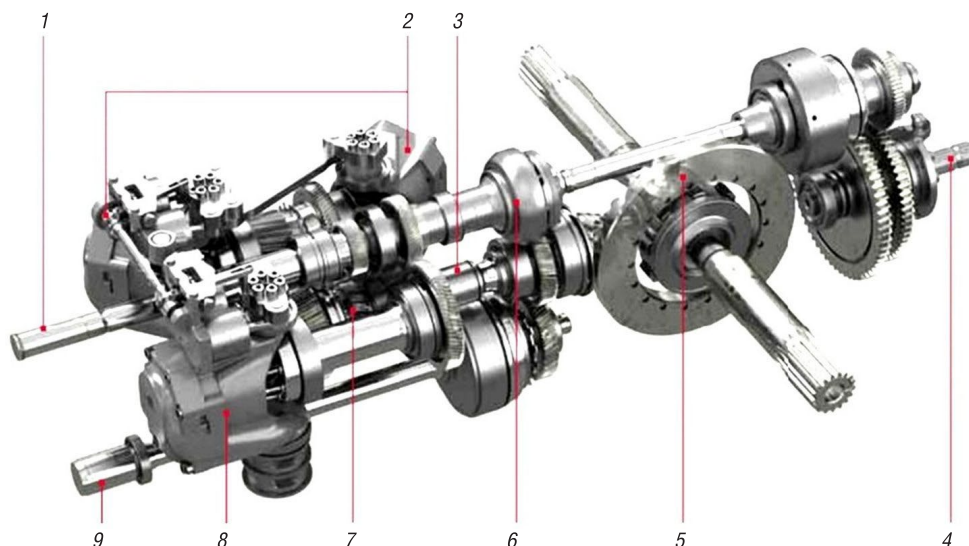


Рис. 3. Трансмиссия Fendt Vario: 1 – первичный вал, 2 – гидромотор, 3 – вал коллектора, 4 – вал отбора мощности (ВОМ), 5 – шестерня главной передачи, 6 – набор планетарных шестерен, 7 – шестерни диапазонов, 8 – гидравлический насос, 9 – вал привода переднего ведущего моста (ПВМ)

Fig. 3. Transmission Fendt Vario: 1 – the primary shaft, 2 – the hydraulic motor, 3 – the collector shaft, 4 – power take-off shaft (PTO), 5 – the gear wheel of the main transfer, 6 – set of planetary gears gearbox, 7 – gears of ranges, 8 – the hydraulic pump, 9 – the drive shaft of the front drive axle (FDA)

При этом через гидравлическую ветвь передается 75 %, а через механическую – 25 % мощности двигателя. Синхронное уменьшение параметров регулирования гидромоторов производится только после реализации всего диапазона регулирования насоса. Такое применение двухмашинного регулирования в сочетании со связью вала двигателя с водилом суммирующего планетарного ряда на входе трансмиссии исключает циркуляцию мощности с режимами повышенных нагрузок на элементы трансмиссии. В целом это позволило снизить массово-габаритные характеристики ГОМТ.

Применительно к особенностям конструкции гусеничных тракторов производства «МТЗ-ХОЛДИНГ» авторами настоящей работы представлена функциональная схема ГОМТ, описание действия которой приведено в [11].

Для достижения наибольшей экономии топлива управление ГОМТ оптимизируется в составе моторно-трансмиссионной установки трактора за счет выбора передаточных отношений, при которых двигатель работает в режимах минимального удельного расхода топлива. Для удовлетворения ужесточающихся норм Tier по выбросам вредных веществ производители тракторной техники устанавливают на выпускаемые тракторы двигатели внутреннего сгорания соответствующего экологического класса. При этом ведущие производители продолжают научно-исследовательские работы по поиску, в том числе для сельскохозяйственных тракторов, альтернативных источников энергии, включая газ, рапсовое масло, водород, биогаз.

Так, американская компания New Holland на Парижской сельскохозяйственной выставке в 2009 г. продемонстрировала концептуальную модель колесного трактора New Holland NH2 (рис. 4). Главной конструктивной особенностью данной модели является отсутствие у нее двигателя внутреннего сгорания [12]. Необходимая для движения трактора электрическая энергия вырабатывается в процессе химических реакций при поступлении водорода в топливные элементы.

Топливо-энергетическая система и силовая установка трактора New Holland NH2 разработаны совместными усилиями инженеров New Holland и Iveco. Электрический ток, производимый водородными топливными элементами, приводит в движение два электромотора и снабжает электроэнергией дополнительное оборудование трактора.

Водород, необходимый для работы топливного элемента, находится в специальном баке под давлением в 350 атм. Он подается в топливные элементы через систему понижающих редукто-



Рис. 4. Общий вид (а) и структурная схема (b) концептуальной модели трактора New Holland NH2: 1 – воздушный фильтр, 2 – резервуар для хранения водорода, 3 – топливные элементы, 4 – электродвигатели, 5 – питание вспомогательного оборудования, 6 – мощность для вала отбора мощности (ВОМ), 7 – сила тяги, 8 – внешнее электроснабжение

Fig. 4. General view (a) and block diagram (b) of the conceptual model of the New Holland NH2: 1 – air filter, 2 – hydrogen storage tank, 3 – fuel cells, 4 – electric motors, 5 – power to auxiliary equipment, 6 – power for power take-off shaft (PTO), 7 – power to traction, 8 – external electric supply

ров. Кислород для топливных элементов берется прямо из атмосферы. Запаса водорода в баке хватает New Holland NH2 на 1,5–2,0 ч непрерывного движения.

Топливные элементы трактора генерируют электрическую энергию, которая подается на электромотор. Четыре распределительных устройства передают крутящий момент от электромотора к ведущим колесам. В тракторе отсутствуют механическая коробка передач и муфты. Увеличение или уменьшение скорости движения осуществляется за счет регулирования мощности, подводимой к электромотору. Для изменения направления движения трактора используется изменение полярности напряжения, питающего электромотор.

Единственным звуком трактора New Holland NH2 является звук работы электромотора, поэтому этот трактор характеризуется весьма низким уровнем шума. У этой модели трактора отсутствует выхлопная труба, ее заменила небольшая трубка снизу кабины для стекания воды – единственного продукта работы топливных элементов.

Увеличение скоростей движения сопровождается ростом нагрузок, передаваемых на трактор вместе с оператором от неровностей опорной поверхности и реализуемых режимов эксплуатации (торможение, разгон, движение по криволинейным траекториям). Для защиты трактора и установленного на него сельскохозяйственного оборудования от возрастающих ударных нагрузок и создания комфортных условий для работы оператора одним из общепринятых направлений улучшения конструкции является внедрение и дальнейшее совершенствование подвесок сиденья оператора, кабины, переднего ведущего моста (ПВМ), а иногда и заднего моста. Комплексная виброзащита трактора и рабочего места оператора у ведущих производителей обеспечивается использованием сочетания подвесок сиденья, кабины и ПВМ с согласованием их технических характеристик.

Для ПВМ сельскохозяйственных тракторов, как правило, с межколесными дифференциалами повышенного трения с фрикционными дисковыми муфтами [13] применяется преимущественно независимая гидропневматическая подвеска. Индивидуальная подвеска колес Fendt (рис. 5, а) снабжена мостом со сдвоенным поперечным рычагом, что оптимизирует угол поворота управляемых колес. Автоматический механизм выравнивания обеспечивает одинаковый ход подвески обеих сторон при нагрузке на передний мост до 8 т. Рабочий диапазон подвески можно регулировать вручную. Компания New Holland устанавливает на тракторы серии T7000 активную подвеску переднего моста Terraglide (рис. 5, б). Эта подвеска оснащена акселерометрическим

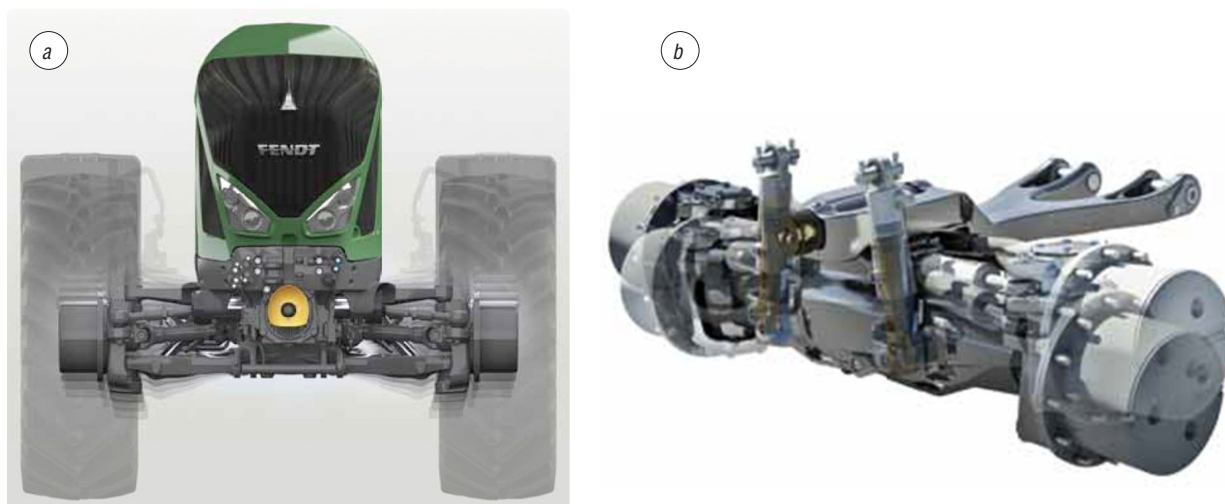


Рис. 5. Подвески передних мостов: *a* – подвеска переднего моста Fendt, *b* – подвеска переднего моста Terraglide NEW HOLLAND

Fig. 5. Suspensions of front axles: *a* – suspension of the front axle Fendt, *b* – suspension of the front axle Terraglide NEW HOLLAND

датчиком и поддерживает функции anti-dive и anti-squat. Функция anti-dive активизируется при резком торможении. Функция anti-squat стабилизирует ПБМ при работе трактора с тяжелым навесным оборудованием. Активная подвеска переднего моста Dana 770 с автоматической системой контроля и регулирования обеспечивает ровное и комфортное вождение по любым поверхностям на любых скоростях [2]. Финская компания Valtra впервые применила на своих тракторах пневматическую подвеску ПБМ. Британская компания JCB Agriculture в тракторах модели Fastrac подрессорила передний и задний ведущие мосты.

Кабина как рабочее место оператора и высокотехнологичный компонент, во многом определяющий технический уровень и внешний облик тракторов, является одним из важнейших объектов интенсивных научных исследований и непрерывного внедрения инноваций. Большое внимание уделяется разработкам и совершенствованию подвески кабин.

Для защиты здоровья и снижения утомляемости оператора инженеры компании Fendt разработали решения, реализованные в пятистоечной кабине x5 (рис. 6, *a*) с пневмоподвеской [8]. Для подвески кабины x5 использована трехточечная схема с интегрированным механизмом регулирования уровня. Для того чтобы развернуть рабочее место оператора, достаточно освободить фиксатор, наклонить рулевую колонку вперед по направлению к сиденью при помощи подвесных пружин, затем развернуть сиденье оператора вместе с панелью управления в требуемом направлении. После разворота сиденья рулевую колонку необходимо вернуть в рабочее положение и зафиксировать в этом положении с помощью фиксатора.

Для установки по желанию потребителей на любой трактор серии T9 компания New Holland разработала четырехточечную подвеску кабины Comfort Ride (рис. 6, *b*). Все четыре угла кабины разработчики поместили на пружины и амортизаторы с оригинальной системой стабилизации, которая обеспечивает плавность и устойчивость при движении трактора [14].

Инженеры компании CLAAS для тракторов модели XERION разработали полуактивную подвеску кабины (рис. 6, *c*) с управляемыми амортизаторами [15]. Электронная система адаптирует степень амортизации подвески к текущим условиям эксплуатации трактора, тем самым улучшая условия работы оператора при выполнении им любых сельскохозяйственных работ. Кабина трактора XERION спроектирована таким образом, чтобы простым нажатием на кнопку ее можно было повернуть на 180°. Причем время разворота кабины составляет менее 30 с.

Для удовлетворения требований как можно большего числа потребителей одни и те же производители тракторной техники предлагают для оператора сиденья с разными типами подвесок, принципами действия и техническими характеристиками. Например, компания Fendt в соответствии с желанием заказчика предлагает ряд из трех сидений (рис. 7).

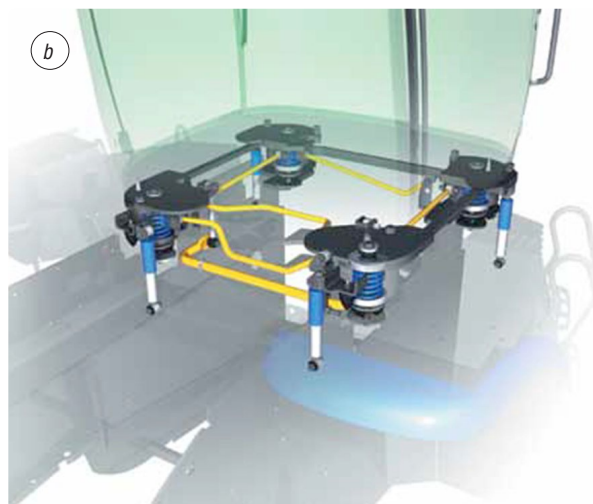


Рис. 6. Подвески кабин: *a* – пятистоечная кабина трактора Fendt 900 Vario, *b* – подвеска кабины Comfort Ride NEW HOLLAND, *c* – полуактивная подвеска кабины CLAAS

Fig. 6. Suspensions of cabins: *a* – five-post cabin of the tractor Fendt 900 Vario, *b* – cabin suspension Comfort Ride NEW HOLLAND, *c* – semi-active suspension of the cabin CLAAS



Рис. 7. Сиденья компании Fendt: *a* – сиденье Fendt, *b* – сиденье Fendt Evolution Dynamic, *c* – сиденье Fendt Evolution Active

Fig. 7. Seats of the company Fendt: *a* – Fendt seat, *b* – Fendt Evolution Dynamic seat, *c* – Fendt Evolution Active seat

В базовой комплектации кабина оборудуется сиденьем с пневматической подвеской и регулируемым положением подлокотника (рис. 7, *a*). Сиденье повышенной комфортности с пневматической подвеской Fendt Evolution Dynamic оснащается подогревом, поворотным адаптером, низкочастотным амортизатором, пневматической поясничной опорой и простыми регулировками. Кроме того, имеется климат-контроль и динамический амортизатор. Воздушный компрессор расположен снаружи кабины, чтобы его шум не мешал оператору (рис. 7, *b*). В дополнение к функциям сиденья повышенной комфортности его устанавливаемая по заказу высокотехнологичная модификация премиум-класса Fendt Evolution Active (рис. 7, *c*) оснащена активной подвеской. Сиденье Fendt Evolution Active в сочетании с подвесками кабины и ПВМ уменьшает нагрузку на оператора, сохраняя его работоспособность на высоком уровне в течение всего рабочего дня. По желанию потребителя кабина оборудуется поворотным местом оператора. В данном случае кабина выполняется с возможностью поворота всех органов управления и панелей контрольных приборов вместе с сиденьем оператора.

Компания New Holland предоставляет для потребителей своих тракторов возможность установки сиденья Auto Comfort™. Система Auto Comfort™ содержит датчики, которые следят за неровностями опорной поверхности. На основе обработки сигналов этих датчиков осуществляется автоматическое управление демпфером, расположенным под сиденьем. Управление осуществляется посредством регулирования электромагнитного поля, воздействующего на жидкость с чувствительной к нему (к полю) вязкостью, характеристики которой изменяются за несколько миллисекунд. В результате снижается уровень передаваемых оператору вибраций [2].

Более простое и более эффективное управление трактором требует меньше концентрации и, соответственно, улучшает условия работы и снижает энергозатраты оператора на выполнение рабочих операций. В итоге более эффективное рулевое управление и тормозная система уменьшают количество человеко-часов для выполнения одного и того же объема работ, одновременно повышая производительность тракторной техники [16]. Параметры рулевого управления характеризуют величину рассогласования кинематики поворота управляемых колес [17], которое, увеличивая изнашивание шин, снижает эффективность ходовой системы [18].

На большинстве современных тракторов угол поворота управляемых колес передних мостов составляет 50–55°. Компания New Holland на некоторые свои модели устанавливает передний мост Super Steer с шаровым шарниром, обеспечивающим при повороте перемещение мостов в ту же сторону. В результате угол поворота передних колес может достигать 65°.

В колесных тракторах модели Fastrac серии 2000 британской компании JCB Agriculture может устанавливаться система обеспечения высокой маневренности JCB Quadtronic [19], осуществляющая рулевое управление всеми четырьмя колесами. Кроме традиционного управления колесами переднего моста система JCB Quadtronic предоставляет оператору возможность реализовывать следующие режимы рулевого управления (рис. 8):

пропорциональный режим: колеса заднего моста поворачиваются на 1° на каждые 2° поворота колес переднего моста (до 20° для колес заднего моста и до 40° – для переднего моста);

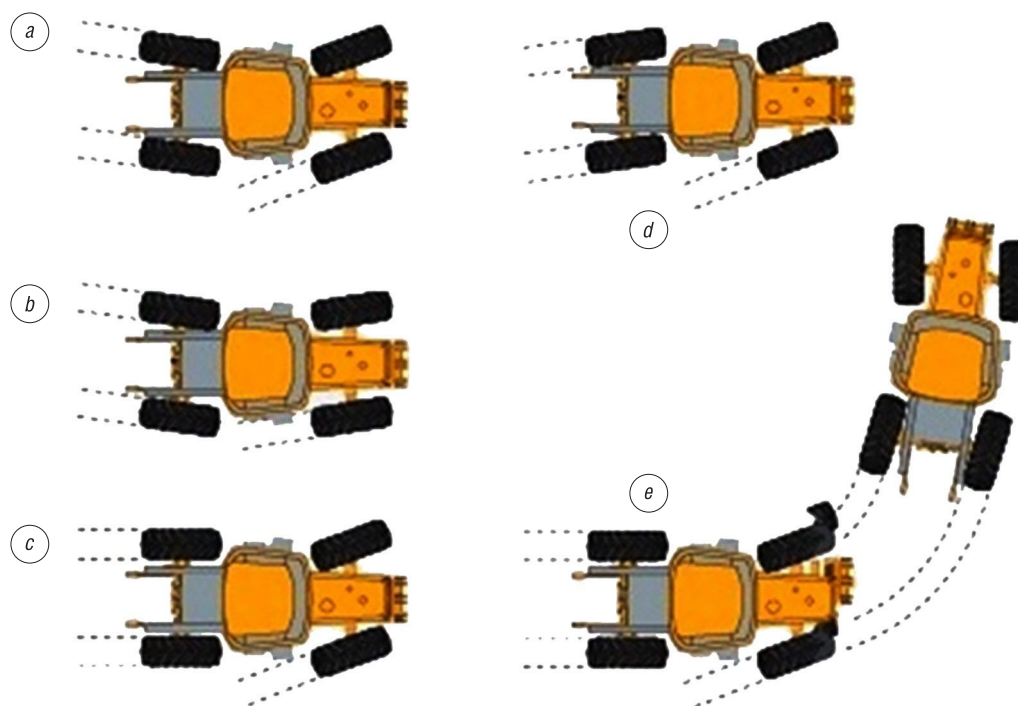


Рис. 8. Режимы рулевого управления модели Fastrac серии 2000 с системой обеспечения высокой маневренности JCB Quadtronic [19]: *a* – пропорциональный режим, *b* – режим движения задних колес в колею передних, *c* – управление двумя колесами, *d* – режим «крабового» хода, *e* – режим задержки

Fig. 8. Steering modes of the tractor Fastrac of series 2000 with the JCB Quadtronic high maneuverability system [19]: *a* – the proportional mode, *b* – the mode of movement of back wheels in a track of forward, *c* – the mode of a two-wheel steering, *d* – the mode of the “crab” movement, *e* – the delay mode

движение задних колес в колее передних (True tracking): колеса переднего и заднего мостов движутся в одной колее, что позволяет минимизировать количество следов на поверхности и повреждение посевов;

задержка: обеспечивает управление всеми четырьмя колесами для достижения малого диаметра поворота и управление двумя колесами переднего моста при движении по междурядью;

режим «крабового» хода (Crab steer): полезен при работе на косогорах, где трактор может скользить на уклонах, а также при опрыскивании вдоль живой изгороди, где этот режим предоставляет возможность удалиться от изгороди без заноса штанги и возможных повреждений.

Система обеспечения высокой маневренности JCB Quadtronic делает модели Fastrac серии 2000 единственными в мире тракторами с полной подвеской и четырьмя управляемыми колесами.

Рабочие тормоза подавляющего большинства энергонасыщенных тракторов, в том числе производства холдинга «МТЗ-ХОЛДИНГ», являются дисковыми, работают в масле, встроены в задний мост и расположены перед конечной передачей. Вследствие увеличения максимальной скорости движения машинно-тракторного агрегата при выполнении транспортных работ в процессе торможения участвуют все ведущие колеса, что обеспечивается подключением ПВМ при торможении или установкой отдельного тормоза в приводе ПВМ. Такие компании, как SAME, LAMBORGINI, HURLIMAN, LANDINI, DEUNZ, устанавливают тормоза в ПВМ. Управление тормозами гидравлическое. Модели тракторов с двигателями свыше 100 л.с., как правило, снабжены гидравлическим сервоусилителем. В ряде случаев на колесах задних и передних мостов применяются тормоза различного типа (дисковые в сочетании с барабанными). Некоторые компании имеют электронную систему включения стояночного тормоза (Electromechanical Parking Brake, EPB), обеспечивающую включение и выключение стояночного тормоза более простым и легким способом.

Стандартная тормозная система Fastrac включает в себя большие внешние дисковые тормоза для каждого колеса и пневматические выходы для тормозов прицепа. Степень безопасности увеличена за счет использования тормозов с гидропневматическим приводом и применения отдельных контуров для переднего и заднего мостов, обеспечивающих большее тормозное усилие на переднем мосту. Модели 8000 и 3000 в стандартной комплектации оснащены тормозами с двойным суппортом, что гарантирует еще большее тормозное усилие при работе с увеличенными нагрузками. Кроме того, модели серии 3000 оснащаются системой Traction Assist, которая улучшает сцепление с дорогой и устойчивость, управляя тормозной системой и двигателем таким образом, чтобы передать мощность колесам с лучшим сцеплением.

Для дальнейшего улучшения устойчивости и управляемости при увеличении скоростей движения до 80 км/ч, а также для выполнения требований законодательства компания JCB адаптировала технологию ABS для грузовых автомобилей, чтобы компенсировать больший диаметр колес тракторов. Для обеспечения уверенности в управляемости при торможении все тракторы Fastrac оснащаются системой ABS с четырьмя датчиками частоты вращения колес и тремя модуляторами, что гарантирует постоянный контроль всех колес и независимое управление задними колесами. Все модели Fastrac с системой АВ оборудуются также 12-вольтовой розеткой питания системы ABS для прицепа, которая работает независимо от системы трактора, устраняя риск перегрузки электропроводки. Эффективная на дороге и при высоких скоростях система Fastrac ABS также обеспечивает улучшенную управляемость и устойчивость при движении по полю, при работе трактора на траве или пожнивных остатках, а также на рыхлых поверхностях, например на грязи или гравии. В моделях серии 3000 функция удержания на уклоне облегчает остановку и начало движения на уклоне.

Отдельным направлением совершенствования сельскохозяйственных машин является автоматизация рабочих процессов и электронизация тракторной техники. Бурное развитие электронно-компонентной базы и информационных технологий привело к интенсивной разработке и внедрению бортовых электронных систем [20]. Дальнейшее распространение получила система блокирования дифференциала. Так, система Terralock™ позволяет автоматически разблокировать дифференциал полноприводных тракторов New Holland для прохождения крутых поворотов с минимальным ущербом для структуры почвы.

Одним из перспективных направлений разработок и развития приводов сельскохозяйственных агрегатов является использование электропривода. Первым производителем, применившим электромоторы для привода вспомогательного оборудования, такого как компрессор кондиционера и вентилятор охлаждения двигателя, явилась компания John Deere с тракторами модели E-Premium. Однако первым колесным трактором сельскохозяйственного назначения, в котором электропривод был использован для привода трансмиссии, стал трактор «Беларус 3023» с двигателем мощностью 300 л.с., получивший серебряную медаль выставки «Agritechnika-2009» (рис. 9).



Рис. 9. Трактор «Беларус 3023» (а) с электромеханической трансмиссией (b)

Fig. 9. Tractor “Belarus 3023” (a) with electromechanical transmission (b)

Точное земледелие. Основным направлением совершенствования технологий растениеводства в настоящее время является точное земледелие. Для реализации технологий точного земледелия сельскохозяйственные тракторы оснащаются системами параллельного вождения, управляемого разворота и активным управлением навесного устройства. Такого рода системы разрабатываются как непосредственно производителями тракторной техники (John Deere, CLAAS), так и независимыми компаниями (TeeJet, Trimble и др.) [2].

Для обеспечения параллельного вождения применяются хорошо известные механические устройства, пенные маркеры, агротехнические и организационные приемы, позволяющие повысить точность вождения агрегатов для внесения удобрений и химических средств защиты растений. Данные устройства устарели и не способны встраиваться в единую систему управления и принятия решений хозяйства.

В последние годы в мировой практике широко внедряются системы параллельного вождения с применением спутниковой навигации, которые хорошо зарекомендовали себя уже и в некоторых хозяйствах Республики Беларусь. Системы параллельного вождения достаточно широко представлены на рынке такими компаниями, как John Deere, Trimble, Müller-Elektronik, TeeJet и рядом других [16].

При управлении техникой, оснащенной системами параллельного вождения с использованием спутниковой навигации, механизатор чувствует себя комфортнее и меньше устает. Он имеет возможность управлять трактором, опираясь не на внешние, в ряде случаев субъективные, ориентиры, а на объективные показания приборов, что повышает качество и скорость работ. Более того, ранним утром при низком солнце или вечером в сумерках трудно рассмотреть маркеры или другие ориентиры, а указатель курса всегда перед глазами. Системы параллельного вождения обеспечивают как прямолинейное движение, так и движение по криволинейным траекториям. Главная идея состоит в том, чтобы свести к минимуму перекрытия и огрехи между соседними проходами.

В общем случае система параллельного вождения состоит из GPS-приемника с внешней антенной, контроллера и указателя курса. Более сложные системы включают в себя механизмы автоматического управления трактором: сервоприводы, гидравлические системы.

При выборе системы параллельного вождения необходимо обратить внимание на точность работы, возможность приема корректирующих сигналов. Если работать с системой в автономном

режиме, то точность параллельного вождения будет невысока и достигать величины 1 м и более. Чтобы ее повысить, применяется дифференциальный сервис, одним из вариантов которого является европейская система EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Services – система широкозонной дифференциальной навигации). Сигнал передается по каналам геостационарных телекоммуникационных спутников и позволяет достигать 15–30-сантиметровой точности прокладки параллельных рядов. Этот сервис бесплатный, а его сигнал может принимать простой GPS-приемник.

Более точная дифференциальная поправка – платная услуга. Существует возможность использовать европейский Omnistar. В зависимости от типа подписки Omnistar обеспечивает несколько уровней точности: VBS и HP/XP. Точность уровня VBS (виртуальная базовая станция) составляет 15–20 см. Этого достаточно для проведения химзащитных работ или внесения удобрений. Уровень HP/XP гарантирует точность 5–10 см. Рекомендуется подписываться на этот сервис тем, кто использует спутниковую навигацию для посева пропашных культур и последующей обработки рядков. Чтобы воспользоваться сервисом VBS и HP/XP, надо иметь GPS-приемник, поддерживающий такие услуги, или модернизировать GPS-приемник начального уровня, добавив к нему специальную антенну и программное обеспечение.

В GPS системах фирмы John Deere используется эксклюзивный дифференцированный сервис, с которым не могут работать GPS-приемники других производителей. Существует две разновидности поправок: SF1 (бесплатный коррекционный сигнал, позволяющий обеспечить точность до 30 см) и SF2 (платный сигнал, аналогичный Omnistar HP/XP).

Самый высокий уровень точности, 1–3 см, достигается с помощью базовых станций, работающих в режиме RTK (Real-Time Kinematics – кинематика в реальном времени). Базовая станция позволяет проводить все виды сельхозработ, в том числе точный высев, локальное внесение удобрений и точную культивацию пропашных культур. С помощью этой системы можно из года в год соблюдать одну и ту же технологическую колею или попадать в одни и те же рядки, чтобы сеять «след в след» несколько лет.

Для управления навесным устройством компанией Trimble разработаны системы TrueGuide и TrueTracker. Система TrueGuide обеспечивает пассивное управление сельскохозяйственной машиной путем корректировки смещения трактора относительно орудия. TrueTracker является системой активного управления сельскохозяйственными орудиями, которая позволяет трактору и рабочему органу двигаться по одной линии посредством смещения линии тяги орудия относительно трактора. Активное управление может осуществляться за счет регулирования положения дисков, дышла, опорных колес или бокового выноса. Система NextSwath компании Trimble предназначена для оптимизации разворота при агрегатировании широкозахватных агрегатов [2].

По данным специалистов Самарской государственной сельскохозяйственной академии, использование только системы параллельного вождения со спутниковой навигацией в одном из хозяйств Самарской области обеспечило увеличение производительности труда на 13–20 %. Система параллельного вождения снизила затраты на удобрения, средства защиты растений и горюче-смазочные материалы до 20 % на гектар. Она позволила устранить 11 % перекрытий и 4 % пропусков. В совокупности это дало экономию денежных средств свыше 180 рос. руб./га. Срок окупаемости системы составил менее полугода.

На основе объединения указанных систем разрабатываются беспилотные технологии сельскохозяйственного производства. Компания Case IH представила бескабинный трактор (рис. 10, а), оснащенный радаром, лидаром, системой видеокамер, GPS и т. д., который способен автономно работать в поле с разнообразным прицепным оборудованием [21]. Бортовая система автоматически учитывает ширину прицепного оборудования и составляет карту наиболее эффективных маршрутов в зависимости от рельефа, имеющихся препятствий и другой техники, работающей на том же поле.

Бескабинный трактор самостоятельно выполняет задание оператора (рис. 10, б). При этом он учитывает погоду, обстановку на поле и множество иных параметров, в том числе может переехать на другое поле в случае, если по каким-то причинам работа на первом поле невозможна. В то же время оператор имеет возможность дистанционно отслеживать и изменять маршруты через рабочий интерфейс своего настольного компьютера или планшета.

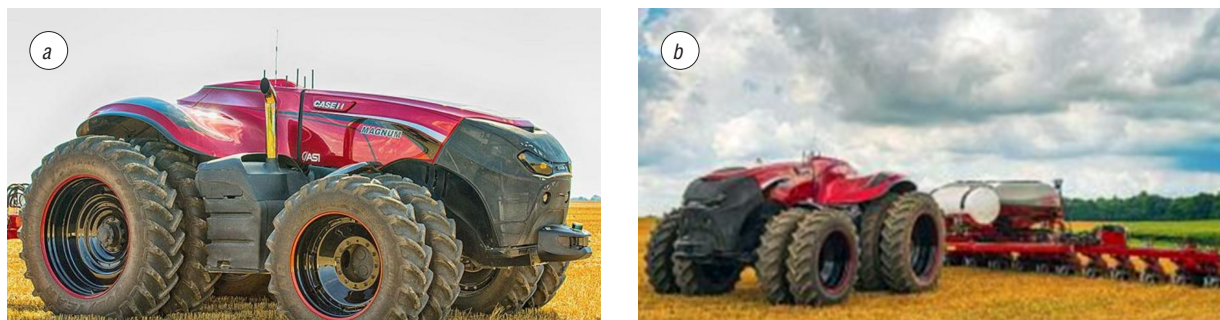


Рис. 10. Концептуальная разработка бескабинного трактора компании Case IH (a) в составе машинно-тракторного агрегата (b)

Fig. 10. Conceptual development of the tractor without cabin of Company Case IH (a) in the machine-tractor unit (b)

Заключение. Главными составляющими количественной оценки эффективности использования и производительности тракторов являются показатели их энергонасыщенности и универсальности. Ключевым параметром тракторов сельскохозяйственного назначения является тяговый класс, который определяет прежде всего энергонасыщенность тракторной техники. Универсальность сельскохозяйственных тракторов характеризуется главным образом их максимальными скоростями движения и средними скоростями выполнения транспортных работ.

В основе важнейших направлений развития конструкции сельскохозяйственных тракторов лежит рост производительности. Он достигается в результате как повышения энергонасыщенности, так и универсальности, позволяющей увеличить время непрерывной работы и коэффициент использования трактора.

Повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет наращивания мощности силового агрегата колесных тракторов до 600 л.с., а также дополнения модельных рядов гусеничными тракторами нового технического уровня, близко унифицированными с колесными моделями аналогичной мощности. При этом ведущие производители тракторной техники продолжают интенсивные НИОКР по проработке концепции сельскохозяйственного трактора с двигателем мощностью свыше 500 л.с.

Универсальность тракторов повышается развитием их конструкции, обеспечивающим увеличение максимальных и средних скоростей движения. Возрастают транспортные скорости сельскохозяйственных тракторов до 50–60 км/ч и более достигается совершенствованием ступенчатых коробок передач, разработкой и внедрением бесступенчатых трансмиссий, использованием и улучшением характеристик подвесок ПВМ, кабины и сиденья оператора, применением тормозов колес ПВМ, антиблокировочных и противобуксовочных систем, всеколесного рулевого управления.

Кроме того, большое внимание уделяется улучшению условий труда оператора, в том числе путем совершенствования конструкции, улучшения эргономических и эстетических свойств кабин, автоматизации рабочих процессов за счет разработки и внедрения бортовых электронных систем контроля, диагностики и управления. Для снижения издержек и повышения эффективности сельскохозяйственного производства осуществляется все более широкое применение систем точного земледелия.

Список использованных источников

1. Черноиванов, В. И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 284 с.
2. Дубовик, Д. А. Основные направления развития автотракторокомбайностроения / Д. А. Дубовик, О. М. Еловый, Л. Ю. Бакалова. – Минск: Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси, 2014. – 176 с. – Деп. в ГУ «БелИСА» 17.07.2014 № Д201411.
3. Fendt Trisix Varío [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mods4fs.ru/publ/sortirovka_po_tipu/traktory/fendt_trisix_vario/3-1-0-19 – Дата доступа: 16.11.2016.
4. Deutz-Fahr Agro XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avtohistor.ru/obzor-selhoztehniki/deutz-fahr-agro-xxl.html> – Дата доступа: 16.11.2016.

5. Спириданчук, Н. В. Повышение эффективности использования колесного трактора класса 1,4 на транспортных работах в сельскохозяйственном производстве Амурской области: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н. В. Спириданчук. – Благовещенск, 2010. – 21 с.
6. Дубовик, Д. А. Снижение энергозатрат многоприводных колесных машин путем совершенствования механических приводов ведущих колес: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Д. А. Дубовик. – Минск, 2011. – 406 с.
7. Выбор типа и параметров современной тракторной трансмиссии / П. А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8. – С. 14–19.
8. Fendt 900 Vario [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fendt.com/ru/assets/article/22190/900Vario_G3_03-2015_RU_Web.pdf – Дата доступа 27.02.2017.
9. Дубовик, Д. А. Гидрообъемно-механические трансмиссии мобильных машин. Кинематический и силовой расчет / Д. А. Дубовик, В. И. Прибыльский // Вестн. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2016. – № 4. – С. 61–72.
10. Самородов, В. Б. Обоснование оптимальных конструктивных параметров бесступенчатой трансмиссии трактора / В. Б. Самородов, А. В. Рогов // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Вып.: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 1. – С. 8–14.
11. Амельченко, П. А. Гидромеханическая бесступенчатая трансмиссия гусеничной машины / П. А. Амельченко, Д. А. Дубовик, В. А. Коробкин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – С. 174–175.
12. New Holland NH2 – трактор на водородных топливных элементах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/energy/67-new-holland-nh2-tractor-na-vodorodnykh-toplivnykh.html> – Дата доступа: 01.03.2017.
13. Дубовик, Д. А. Повышение проходимости внедорожной машины посредством рационального привода колес управляемых мостов: дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Дубовик. – Минск, 2003. – 253 с.
14. NEW HOLLAND T9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://d3u1quraki94yp.cloudfront.net/nhag/apac/ru/assets/pdf/agriculture-tractors/IR1103NCIS.pdf> – Дата доступа: 01.03.2017.
15. CLAAS. XERION 5000-4000. Поворотная кабина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.claas.ru/produkte/traktoren/xerion5000-4500-4000-1rc/kabine-komfort/kabine> – Дата доступа: 01.03.2017.
16. Основные тенденции развития современного сельскохозяйственного тракторостроения / П. А. Амельченко [и др.] // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития: материалы юбилейн. Междунар. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 157–158.
17. Vysotskii, M. S. Mismatch of Rotational Kinematics of Controllable Truck Wheels / M. S. Vysotskii, D. A. Dubovik, Yu. I. Nikolaev // Rus. Eng. Res. – 2010. – Vol. 30, № 10. – P. 989–994.
18. Дубовик, Д. А. Рассогласование кинематики поворота управляемых колес и эффективность ходовых систем колесных машин / Д. А. Дубовик // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 5. – С. 24–27.
19. JCB Трактор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.jcbblog.ru/jcb_traktor__0_7491.html – Дата доступа: 28.03.2017.
20. Дюжев, А. А. Развитие бортовых электронных и мехатронных систем в Республике Беларусь / А. А. Дюжев, Д. А. Дубовик, В. В. Савченко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 9. – С. 41–46.
21. Беспилотные технологии Case IH могут появиться на обычных тракторах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-max.ru/tehnopark/bespilotnye-technologii-case-ih-mogut-poyavitsya-na-obychnykh-traktorax/> – Дата доступа: 30.08.2017.

References

1. Chernoiyanov V. I., Egevsikii A. A., Fedorenko V. F. *World tendencies of machine-technological support of intellectual agriculture*. Moscow, FSBSI “Rusinformagrotech”, 2012. 284 p. (in Russian).
2. Doubovik D. A., Elovoi O. M., Bakalova L. Ju. *Main directions of development of the automobile, tractor and harvester engineering*. Minsk, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 2014. 176 p. (in Russian).
3. *Fendt Trisix Vario*. Available at: http://mods4fs.ru/publ/sortirovka_po_tipu/traktory/fendt_trisix_vario/3-1-0-19 (Accessed 16 November 2016) (in Russian).
4. *Deutz-Fahr Agro XXL*. Available at: <http://avtohistor.ru/obzor-selhoztehnik/deutz-fahr-agro-xxl.html> (Accessed 16 November 2016).
5. Spiridanchuk N. V. *Increase of efficiency of use of wheeled tractor of class 1.4 on transport operations in agricultural production of the Amur region*. Blagoveshchensk, 2010. 21 p. (in Russian).
6. Doubovik D. A. *Decreasing of expenditure of energy of multi-wheel drive vehicles by perfection of mechanical drives of driving wheels*. Minsk, 2011. 406 p. (in Russian).
7. Amel'chenko P. A., Doubovik D. A., Zhukovskii I. N., Klyuchnikov A. V., Zhukovskii A. I. Select the type and parameters of modern tractor transmissions. *Traktory i sel'khozmashiny* [Tractors and Agricultural Machinery], 2013, no. 8, pp. 14–19 (in Russian).
8. *Fendt 900 Vario*. Available at: http://www.fendt.com/ru/assets/article/22190/900Vario_G3_03-2015_RU_Web.pdf (Accessed 27 February 2017) (in Russian).
9. Doubovik D. A., Prybylski V. I. Hydrostatic-mechanical transmissions of mobile machines. Calculation of kinematic and force parameters. *Vesti Natsyonal'noi akademii nauk Belarusi. Seriya fizika-technichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2016, no. 4, pp. 61–72 (in Russian).

10. Samorodov V. B., Rogov A. V. Substantiation of optimal design parameters of the tractor stepless transmission. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universitetata «Khar'kovskii politekhnicheskii institut»: sbornik nauchnykh trudov. Vyp.: Avtomobile- i traktorostroenie* [Bulletin of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic University”: a collection of scientific papers. Issue: Automotive and tractor construction]. Kharkiv, National Technical University “Kharkiv Polytechnic University”, 2010, no. 1, pp. 8–14 (in Russian).

11. Amel'chenko P. A., Doubovik D. A., Korobkin V. A. Hydrostatic-mechanical stepless transmission of the caterpillar vehicle. *Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Materials, equipment and resource-saving technologies. Materials of the International Scientific and Technical Conference]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 2015, pp. 174–175 (in Russian).

12. *New Holland NH2 – hydrogen fuel cell tractor*. Available at: <http://www.dailytechinfo.org/energy/67-new-holland-nh2-traktor-na-vodorodnykh-toplivnykh.html> (Accessed 01 March 2017) (in Russian).

13. Doubovik D. A. *Increasing of an passability of an off-road vehicle by efficient drive of the steered axles wheels*. Minsk, 2003. 253 p. (in Russian).

14. *NEW HOLLAND T9*. Available at: <http://d3u1quraki94yp.cloudfront.net/nhag/apac/ru/assets/pdf/agriculture-tractors/IR1103NCIS.pdf> (Accessed 01 March 2017) (in Russian).

15. *CLAAS. XERION 5000-4000. Rotary cab*. Available at: <http://www.claas.ru/produkte/traktoren/xerion5000-4500-4000-lrc/kabine-komfort/kabine> (Accessed 01 March 2017) (in Russian).

16. Amel'chenko P. A., Doubovik D. A., Bakalova L. Yu., Vaschula A. V. Main trends in the development of modern agricultural tractors. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo v XXI veke: sovremennye tendentsii razvitiya. Materialy yubileinoi mezhdunarodnoi konferentsii [Education, Science and Production in the 21st Century: Current Trends of Development. Materials of the Jubilee International Conference]*. Mogilev, Belarusian-Russian University, 2016, pp. 157–158 (in Russian).

17. Vysotskii M. S., Dubovik D. A., Nikolaev Yu. I. Mismatch of Rotational Kinematics of Controllable Truck Wheels. *Russian Engineering Research*, 2010, vol. 30, no. 10, pp. 989–994 (in Russian). DOI: 10.3103/s1068798x10100047

18. Dubovik D. A. Mismatch of the kinematics of turning the steered wheels and the efficiency of the running systems of wheeled vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*, 2010, no. 5, pp. 24–27 (in Russian).

19. *JCB Tractor*. Available at: http://www.jcbblog.ru/jcb_traktor__0_7491.html (Accessed 28 March 2017) (in Russian).

20. Dyugev A. A., Doubovik D. A., Savchenko V. V. Development of onboard electronic and mechatronic systems in the Republic of Belarus. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie = Mechatronics, Automation, Control*, 2013, no. 9, pp. 41–46 (in Russian).

21. *Unmanned Case IH technologies can appear on conventional tractors*. Available at: <http://agro-max.ru/tehnopark/bespilotnye-tekhnologii-case-ih-mogut-poyavitsya-na-obychnyx-traktorax/> (Accessed 30 August 2017) (in Russian).

Информация об авторах

Амельченко Петр Адамович – доктор технических наук, профессор, начальник отдела, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси (ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Республика Беларусь).

Дубовик Дмитрий Александрович – доктор технических наук, доцент, директор НТЦ – заведующий лабораторией, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси (ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ddoubovik@tut.by

Ключников Алексей Владимирович – кандидат технических наук, заместитель генерального конструктора ОАО «МТЗ», МТЗ-ХОЛДИНГ (ул. Долгобродская, 29, 220070, Минск, Республика Беларусь).

Ващула Александр Владимирович – кандидат технических наук, директор, Белорусская машиноиспытательная станция (ул. Мира, 14, 223062, пос. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь).

Information about the authors

Petr A. Amelchenko – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of Department, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

Dmitri A. Doubovik – D. Sc. (Engineering), Assistant Professor, Scientific and Technical Center Director – Head of Laboratory, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ddoubovik@tut.by

Aleksei V. Kluchnikov – Ph. D. (Engineering), Deputy General Designer, MTZ-HOLDING (29, Dolgobrodskaya Str., 220070, Minsk, Republic of Belarus).

Vaschula Aleksandr Vladimirovich – Ph. D. (Engineering), Director, Belarusian Machine Testing Station (14, Mira Str., 223062, township Privolny, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus).