

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

канд. техн. наук, доц. Г.И. ГЕДРОИТЬ, Т.А. ВАРФОЛОМЕЕВА, С.В. ЗАНЕМОНСКИЙ
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)
д-р техн. наук, доц. С.А. РЫНКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;
Белорусско-Российский университет, Могилев)

Рассмотрены вопросы классификации эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов, выполняющих работы в растениеводстве. Дана оценка энергонасыщенности тракторов, показаны направления развития, уровень энергонасыщенности тракторов «БЕЛАРУС». Энергонасыщенность современных тракторов постоянно возрастает. Ведутся разработки вариантов энергетических средств, реализующих мощность двигателя через рабочие органы и ходовую часть агрегатируемых машин. Важную роль при реализации мощности энергонасыщенных тракторов играет тип используемых приводов. Приведены критерии и дана оценка механических приводов активных рабочих органов и ходовых частей машин. Показано, что выбор типа привода зависит от количества потребителей, значений достигаемых показателей эксплуатационных качеств.

Ключевые слова: трактор, эксплуатационные качества, агрегатирование, трансмиссия, передача.

Введение. Трактор является основным энергетическим средством в сельском хозяйстве. С помощью трактора выполняют объем энергоемких земледельческих операций в растениеводстве, других отраслях. Это основная и предпосевная обработка почвы, внесение удобрений, посев, уход за растениями, заготовка кормов, уборка культур, транспортные и погрузочно-разгрузочные работы, обеспечение животноводства, выполнение отдельных операций в строительстве. В условиях индустриальных и интенсивных технологий, точного земледелия работы необходимо выполнять качественно, с соблюдением агротехнических сроков, учитывать снижение численности населения в сельской местности.

Уровень выполнения работ, их эффективность анализируют с помощью эксплуатационных качеств, свойств и показателей этих свойств для тракторов и др. машин [1]. Под качеством машин понимают совокупность эксплуатационных, потребительских свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. В свою очередь каждое эксплуатационное свойство машины характеризуется рядом показателей, оценивающих это свойство количественно. Следовательно, качество является наиболее общей категорией, а свойство характеризует какую-либо одну сторону машины, выполненную во взаимоотношении с такой же стороной другой машины. Согласно [1], выделены три основных качества: производительность, топливная экономичность, проходимость. В работе [2] для оценки мобильных энергетических средств выбраны производительность, группа агротехнических свойств, стоимость. Принятые авторами основные показатели близки.

Цель работы: выделить эксплуатационные качества, свойства, показатели для мобильных машин с учетом развития техники, роста энергонасыщенности, оценить связанное с этим применение приводов потребителей.

Основная часть. В отличие от информации, приведенной в [1; 2], перечень эксплуатационных качеств, свойств, показателей мобильных средств уточнен (таблица 1). Это связано с тем, что указанные источники являются учебниками для ВУЗов по дисциплине «Тракторы и автомобили» и не в полной мере учитывают изучаемое в других дисциплинах.

Производительность тракторных агрегатов является важнейшим эксплуатационным качеством. Зависит от мощности двигателя, тягово-сцепных свойств, конструкции агрегатируемой машины, условий работы, надежности, эргономических условий и др. Проходимость энергетических средств зависит от конструкции движителей, компоновки трактора и агрегатируемой машины, мощности двигателя. Важно при этом обеспечить не только возможность передвижения в разных условиях, а и агроэкологические свойства. Необходимо свести к минимуму повреждаемость почвы и растений. Экономичность зависит от затрат на приобретение и эксплуатацию, от топливной экономичности, степени автоматизации, материалоемкости.

Одним из важнейших факторов при работе агрегатов является согласованность параметров энергетического средства и машины для совместной работы, обеспечение агрегатируемости. Для этого создаются системы машин. Особенностью последних десятилетий являются рост энергонасыщенности энергетических средств [2–4].

Таблица 1. – Эксплуатационные качества, свойства и показатели

Эксплуатационные качества	Эксплуатационные свойства	Показатели эксплуатационных свойств	Единицы измерения
1	2	3	4
Производительность	1. Производительность за 1 ч основного времени	1. Себестоимость единицы производимых работ (интегральный показатель). 2. Рабочие скорости движения на основных операциях. 3. Транспортные скорости. 4. Ширина захвата. 5. Коэффициент использования рабочего времени	руб. м/с м/с м
	2. Энергонасыщенность	1. Единичная эксплуатационная мощность. 2. Удельная энергонасыщенность (энергонасыщенность)	кВт кВт/кН
	3. Агрегатируемость	1. Число и тип рабочих органов. 2. Число и тип основных рабочих орудий. 3. Время перевода в рабочее и транспортное положение. 4. Время переоборудования рабочих органов. 5. Габаритные размеры (длина, ширина, высота)	 с с м
	4. Тягово-сцепные	1. Коэффициент сцепления движителей с опорным основанием. 2. Коэффициент сопротивления качения машины. 3. Коэффициент буксования. 4. Тяговый КПД машины	 %
	5. Устойчивость	1. Предельные статические углы подъема и уклона. 2. Предельный статический уклон поперечного уклона. 3. Предельные углы, преодолеваемые машиной, при движении	 град град град
	6. Управляемость	1. Угол поворота управляемых колес. 2. Минимальный радиус поворота. 3. Угол бокового увода (жесткость шин)	град м град
	7. Надежность	1. Ресурс до капитального ремонта. 2. Нарботка на отказ. 3. Нарботка до отказа определенной группы сложности. 4. Долговечность	ч ч ч ч
	8. Сервисность	1. Приспособляемость конструкции машины к техническому обслуживанию. 2. Число применяемых масел в машине. 3. Ремонтопригодность	
	9. Эргономичность	1. Параметры среды на рабочем месте (максимальная температура воздуха, уровень шума, концентрация пыли, концентрация окиси углерода и токсических газов). 2. Параметры вибрации (средние квадратические значения ускорений на сиденье оператора, скорости на рабочей площадке, скорости на органах управления). 3. Максимальные усилия сопротивления перемещению органов управления движением и технологическим процессом. 4. Освещенность в рабочей зоне	 Н лк
	10. Тормозные и разгонные	1. Путь торможения. 2. Среднее замедление при торможении. 3. Минимальное время торможения. 4. Путь разгона. 5. Среднее ускорение при разгоне. 6. Время разгона	м м/с ² с м м/с ² с
	11. Унифицированность	1. Коэффициент применимости. 2. Коэффициент повторяемости. 3. Коэффициент межпроектной (взаимной) унификации	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
	12. Эстетичность	1. Информативность формы. 2. Композиционное совершенство. 3. Гармоничность формы. 4. Совершенство производственного исполнения внешнего вида	
Проходимость	1. Опорно-временные	1. Среднее давление движителей на грунт (почву). 2. Максимальное давление движителей на грунт (почву). 3. Коэффициент смещения центра (у гусеничных машин). 4. Период взаимодействия движителей с грунтом (почвой). 5. Глубина оставленного следа	МПа МПа с м
	2. Тягово-сцепные	1. Коэффициент сцепления движителей с опорным основанием. 2. Коэффициент сопротивления качения машины. 3. Коэффициент буксования. 4. Тяговый КПД машины	%
	3. Конструктивно-дорожные	1. Дорожный просвет, конструкционный и фактический. 2. Профиль и материал днища межгусеничного или межколесного пространства	м
	4. Поворачиваемость	1. Наименьший радиус поворота, при котором не происходит потеря проходимости	м
	5. Агроэкологические	1. Изменение свойств почвы (уплотнение, разрушение структуры, повышение твердости, нарушение водного обмена и др.). 2. Повреждаемость культурных растений	
Экономичность	1. Материалоемкость	1. Масса машины с полным комплектом рабочих органов или приспособлений для выполнения основных технологических операций. 2. Удельная металлоемкость	кг кг/кВт
	2. Топливная экономичность	Удельный расход: – топлива; – электроэнергии	г/(кВт·ч) кВт/ч
	3. Стоимость затрат	1. Суммарные затраты на приобретение машины. 2. Затраты на эксплуатацию машины	руб. руб.
	4. Трудосберегаемость (степень автоматизации и механизации, обеспечиваемая машиной)	1. Число персонала по профессиям, необходимого для обслуживания операций, непосредственно связанных с работой машины. 2. Трудоемкость технического обслуживания. 3. Оперативная трудоемкость монтажа (досборки) и переоборудования машин на месте ее применения	чел. чел.-ч чел.-ч
	5. Энергоиспользование	1. Общий КПД машины. 2. КПД привода рабочих органов. 3. КПД трансмиссии привода ходовой системы	

Энергонасыщенность – один из основных параметров самодвижущейся машины, характеризующих ее функциональное назначение, тип и техническую концепцию. Является комплексным показателем, учитывающим мощность двигателя и массу энергонасыщенных средств. Энергонасыщенность – это отношение эффективной мощности двигателя к весу энергетического средства (кВт (л.с.) / кН). Выделяют эталонную энергонасыщенность трактора (может быть реализована через тяговое усилие трактора) [3]. По данным Г.М. Кутькова, ее значение составляет 1,5 кВт/кН для колесных и 1,4 кВт/кН для гусеничных тракторов [3]. Для тракторов ОАО «МТЗ» классических компоновок значение энергонасыщенности составляет для основных моделей 1,45...2,30 кВт/кН. По мнению П.А. Амельченко, тракторы следует классифицировать по малой ($1,24 \pm 0,18$), средней ($1,6 \pm 0,18$) и высокой ($1,96 \pm 0,18$) энергонасыщенности (кВт/кН) [4]. У отдельных зарубежных моделей энергонасыщенность достигает 2,5...2,6 кВт/кН. Реализация энергонасыщенности, превышающей эталонную для тракторов классической компоновки, как правило, осуществляется через отбор мощности (ВОМ, ГСОМ), использование комбинированных агрегатов.

Для увеличения энергонасыщенности тракторов необходимо уходить от их классических компоновок и создавать мобильные энергосредства, т.е. передавать часть мощности энергосредства на ходовую часть агрегируемых машин, а также их привод. Наиболее известные варианты: увеличение базы и количества колес

тракторов, создание места для размещения на базе трактора технологического оборудования; создание одноосного жесткостыкуемого энергетического модуля, способного работать только с агрегируемыми машинами (это позволяет отказаться от самоходных сельскохозяйственных машин); тягово-энергетические средства с дополнительным ведущим мостом, агрегируемым через навесное устройство; создание энергосредств и системы машин, позволяющих выполнять комплекс операций (скашивание и почвообработка, уборка и посев и др.) [2; 5; 6]. Использование приведенных решений позволяет поднять энергонасыщенность энергосредств до 5 кВт/кН. Более отработанным с участием НАТИ, ЦНИИМЭСХ, ВИМ, БГАТУ является использование привода для дополнительного агрегируемого моста или опорных колес агрегируемых машин.

В связи с появлением дополнительных потребителей при работе энергонасыщенных средств важную роль играет выбор их привода. Наиболее вероятно применение механического (МП), гидрообъемного (ГОП), электрического приводов (ЭП) [7]. Гидромеханический привод отличается наличием гидротрансформатора. Последний значительно снижает КПД. Сравнительная оценка приводов приведена в таблице 2.

Таблица 2. – Сравнительная оценка приводов потребителей МТА

Требования к приводу	Возможность удовлетворения требований различными типами привода		
	МП	ГОП	ЭП
Использование полной мощности первичного двигателя	2	4	4
Приспособленность к режимам рабочих органов	2	5	4
Беступенчатость передачи мощности	2	5	5
Автоматизация регулирования мощности	2	4	5
Дистанционное управление распределением потока мощности по потребителям	2	4	4
Обеспечение максимального диапазона регулирования скорости и тягового усилия	3	5	5
Независимость размещения силовой установки	2	3	5
Свобода компоновки привода рабочих органов	2	4	4
Отбор регулируемой мощности на рабочие органы	2	3	3
Объем (размеры)	4	2	2
Стоимость	5	3	2
То же, %	100	120	125...150
Максимальный КПД трансмиссии	4	3	2
То же, %	90...95	78...90	75...80
Расход дефицитных материалов	5	3	2
Надежность	2	2	3
Расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание	3	2	4
Автоматизация управления машиной	2	4	5
Улучшение условий труда оператора	2	4	5

Примечание: при оценке использованы критерии: 2 – неудовлетворенность; 3 – удовлетворенность; 4 – хорошо; 5 – отлично.

Как видно из таблицы 2, из 17 основных показателей, влияющих на энергоиспользование машин с различными типами привода, механический удовлетворяет 6, гидрообъемный – 16, электрический – 15 требованиям.

Механический привод имеет преимущества по стоимости, КПД, расходу дефицитных материалов. Прогрессирует по возможности автоматизации, свободе компоновки, беступенчатости регулирования, улучшению условий труда. Соответственно по названным показателям лучшие гидрообъемный и электрический привод. Последний более эффективен при большом количестве потребителей, независимости размещения силовой установки, надежности, расходам на эксплуатацию.

Заключение. Основными эксплуатационными качествами тракторов и др. энергетических средств являются производительность, проходимость, экономичность. Оценивая технический уровень машин, следует прежде всего сравнивать показатели их однотипных эксплуатационных свойств и отдавать предпочтение тем машинам, показатели основных свойств которых (при неизменности показателей прочих свойств) выше, чем у аналога-прототипа. Рост энергонасыщенности энергетических средств приводит к необходимости более широкого применения гидрообъемного и электрического привода потребителей мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
2. Кутыков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 506 с.
3. Кутыков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – Т. 76. – № 5. – С. 11–14.

4. Амелеченко П.А., Дубовик Д.А., Жуковский И.Н. Энергонасыщенные тракторы: структура, производство и потребности АПК Беларуси // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2020. – № 3(68). – С. 5–13.
5. Горин Г.С. Тяговая динамика, поворачиваемость и силовые потоки мобильных тягово-энергетических средств. – Минск: БНТУ, 2013. – 374 с.
6. Линкевич Э.И. Многопроцессорные агрегаты на базе МЭС пятого поколения // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – Т. 79. – № 12. – С. 3–13.
7. Скотников В.А., Машенский А.А., Разумовский М.А. Проблемы современного сельскохозяйственного тракторостроения. – Мн.: Высш. шк., 1983. – 208 с.

Поступила 05.07.2026

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF MOBILE ENERGY-INDUCED

G. GEDROIT, T. VARFOLOMEEVA, S. ZANEMONSKY
(Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk)
S. RYNKEVICH
(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk;
Belarusian-Russian University, Mogilev)

This article examines the classification of the performance characteristics of agricultural tractors used in crop production. It also assesses the energy efficiency of tractors, highlighting development trends and the level of energy efficiency for BELARUS tractors. The energy efficiency of modern tractors is constantly increasing. Development is underway on energy sources that utilize engine power through the working parts and chassis of the machines being coupled. The type of drive used plays a key role in realizing the power of high-power tractors. Criteria are presented and mechanical drives for active working parts and chassis components are evaluated. It is shown that the choice of drive type depends on the number of consumers and the performance indicators to be achieved.

Keywords: tractor, performance characteristics, aggregation, transmission, gear.