

ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МАЛОГАБАРИТНОГО КОЛЕСНОГО АВТОТРАКТОРА

В статье рассматривается малогабаритный колесный автотрактор, который может использоваться для транспортных и тяговых работ в хозяйствах малых форм. Дана методика расчета динамической характеристики автотрактора, приведен вариант динамического паспорта.

Ключевые слова: автотрактор, касательная сила тяги, рейсовая нагрузка, динамический паспорт.

A.S. Voynash, S.A. Voynash

TRACTION-DYNAMIC CALCULATION OF THE SMALL-SIZED WHEELED AUTOTRACTOR

The small-sized wheeled autotractor that can be used for the transport and traction works in the small form-farms is considered in the article. The calculation methodology of the autotractor dynamic characteristics is given, the variant of the dynamic passport is presented.

Key words: autotractor, traction tangent force, trip loading, dynamic passport.

Введение. С развитием малых форм хозяйствования в агропромышленном секторе России важной задачей стало обеспечение потребности сельхозпроизводителей малогабаритной техникой, предназначенной для механизации неэнергоёмких сельскохозяйственных и погрузочно-транспортных операций. Рядом организаций страны (НАМИ, МГАУ имени В.П. Горячкина и др.) предложены конструкции колесных машин (тракторомобилей, автотракторов), способных выполнять как тяговые, так и транспортные работы [1, 2, 3].

В Рубцовском индустриальном институте (филиале) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (РИИ АлтГТУ) разработан малогабаритный колесный автотрактор ЭМ-0,6 с двигателем мощностью 21 кВт, предназначенный для выполнения целого ряда транспортных и тяговых работ в крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйствах [4, 5, 6, 7]. Компоновка автотрактора с передним расположением кабины и наличием свободной зоны в средней и задней частях рамы обеспечивает установку в этой зоне самосвального кузова грузоподъемностью 1 т, а заднее универсальное навесное устройство с гидроприводом позволяет управлять не только самосвальным кузовом, но и навесными сельскохозяйственными орудиями, например, плугом (рис. 1).

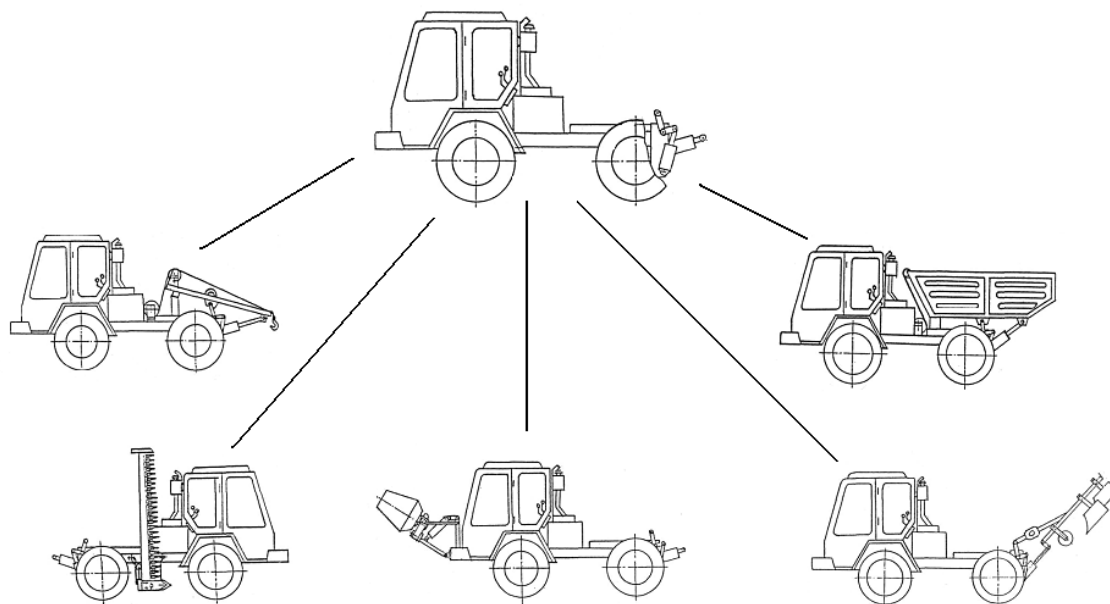


Рис. 1. Схема агрегатирования колесного автотрактора

Цель исследований. Помочь сельхозпроизводителю, применяющему автотрактор ЭМ-0,6, в определении нагрузочных параметров, соответствующих режимам наиболее эффективного использования машины в конкретных эксплуатационных условиях крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйств.

Задачи исследований. Разработка достаточно простых номограмм, графически связывающих основные нагрузочные параметры автотрактора ЭМ-0,6 с характеристиками типичных условий эксплуатации.

Методика и результаты исследований. Наличие транспортных и тяговых эксплуатационных режимов говорит о том, что автотрактор ЭМ-0,6 занимает промежуточное положение между грузовым автомобилем и сельскохозяйственным трактором. Поэтому при тяговых расчетах могут использоваться методы как теории автомобиля (динамическая характеристика), так и теории трактора (тяговая характеристика).

В теории автомобиля широко используется метод динамической характеристики, заключающийся в построении зависимости динамического фактора от скорости движения. Динамический фактор автомобиля рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (1)$$

где P_k – касательная сила тяги, кН; P_w – сопротивление воздуха, кН; G – вес машины, кН.

Вес G рассчитывается по формуле:

$$G = G_{\text{э}} + Q, \quad (2)$$

где $G_{\text{э}}$ – эксплуатационный вес автотрактора, $G_{\text{э}} = 19,1$ кН; Q – рейсовая нагрузка, кН.

Для автотрактора, имеющего максимальную скорость до 50 км/ч, с погрешностью вычислений не более 2 % можно принять $P_w \approx 0$. Тогда

$$D = P_k / G. \quad (3)$$

Касательная сила тяги может быть рассчитана двумя способами: “по условиям движения” и “по двигателю”.

Для расчета касательной силы тяги “по условиям движения” рассмотрим силы, действующие на автотрактор при равномерном движении на подъеме, представленные на рис. 2.

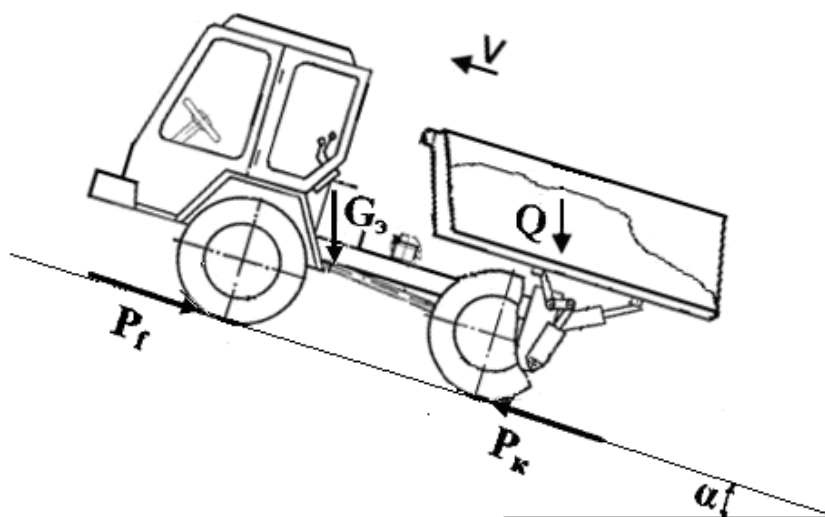


Рис. 2. Схема к расчету касательной силы тяги автотрактора

Уравнение тягового баланса имеет вид:

$$P_{\kappa} = P_f + (G_{\text{с}} + Q) \cdot \sin \alpha = f(G_{\text{с}} + Q) \cdot \cos \alpha + (G_{\text{с}} + Q) \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где P_f – сила сопротивления качению, кН; f – коэффициент сопротивления качению автотрактора; α – угол уклона местности.

Выражение для динамического фактора принимает вид:

$$D = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha. \quad (5)$$

Результаты расчетов динамического фактора и потребной касательной силы тяги для типичных условий эксплуатации автотрактора представлены в таблице.

Параметры условий эксплуатации автотрактора

Условия эксплуатации	f	α , градус	D	P_{κ} , кН	
				Q = 0 кН	Q = 10 кН
Легкие	0,02-0,05	0-5	0,02-0,137	0,39-2,69	0,59-4,03
Средние	0,05-0,1	0-10	0,05-0,272	0,98-5,34	1,47-8,01
Тяжелые	0,1-0,2	0-15	0,1-0,452	1,96-8,87	2,94-13,29

С учетом данных таблицы были предварительно выбраны передаточные числа трансмиссии автотрактора.

Выражая P_{κ} через параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части, можно получить для автотрактора:

$$D = \frac{M_e \cdot i_{mp} \cdot \eta_{mp}}{G \cdot r_{\kappa}}, \quad (6)$$

где M_e – крутящий момент, снимаемый с коленвала двигателя, кН·м; i_{mp} – передаточное число трансмиссии; η_{mp} – КПД трансмиссии; r_{κ} – радиус качения ведущего колеса автотрактора, м.

Расчет скорости движения автотрактора проводится по формуле:

$$V = 3,6 \cdot \frac{n_e \cdot r_{\kappa} \cdot \pi}{30 \cdot i_{mp}}, \quad (7)$$

где n_e – частота вращения коленвала двигателя, мин^{-1} .

Для расчетов по формулам (6)–(7) необходимо знание внешней скоростной характеристики двигателя. При отсутствии экспериментальных данных проводится теоретический расчет внешней скоростной характеристики двигателя по формулам, рекомендуемым в теории двигателя. Результаты расчетов представляются графически в виде так называемой динамической характеристики “по двигателю”.

Результаты расчетов по формуле (5) представляются графически в виде так называемой динамической характеристики “по условиям движения”. Объединяя обе динамические характеристики, можно получить динамический паспорт.

Динамический паспорт автотрактора ЭМ-0,6 конструкции РИИ АлтГТУ (рис. 3), построенный при номинальной рейсовой нагрузке, содержит два квадранта:

- в правом квадранте представлена динамическая характеристика “по двигателю”;

- в левом квадранте представлены зависимости динамического фактора от угла подъема местности и коэффициентов сопротивления движению при легких, средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика "по условиям движения").

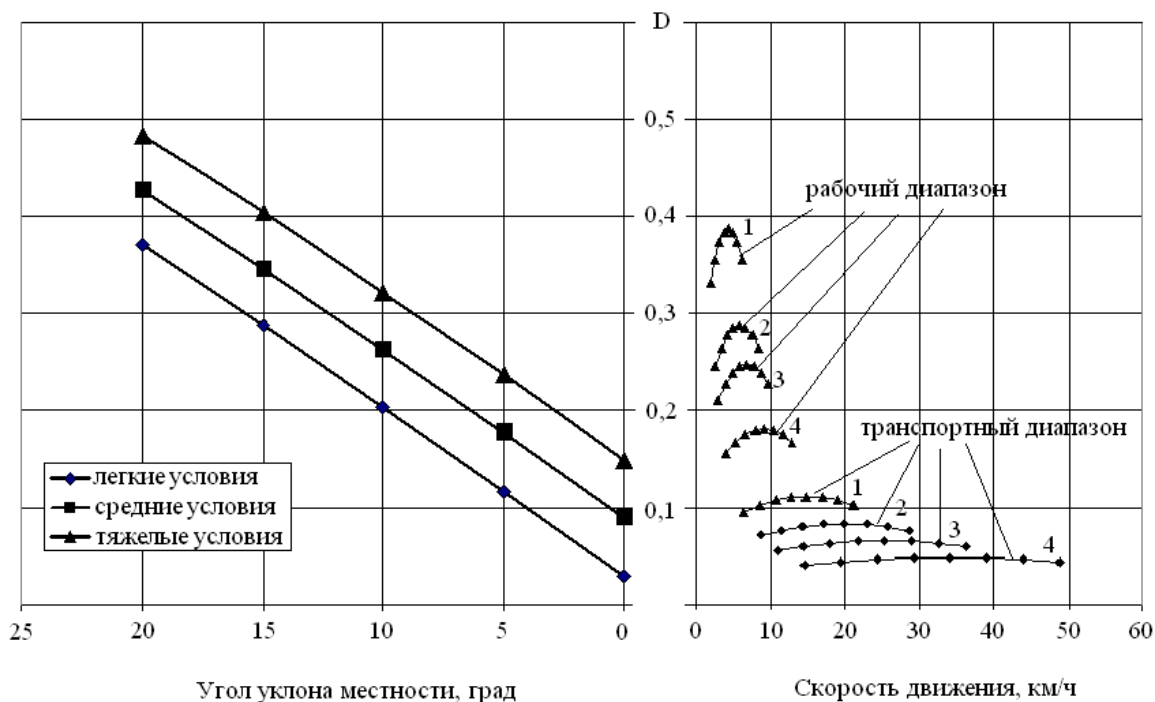


Рис. 3. Динамический паспорт автотрактора при номинальной рейсовой нагрузке

При равенстве значений динамического фактора, взятых в правом и в левом квадрантах, автотрактор движется равномерно с данной скоростью в заданных условиях. Так, наглядно видно, что движение автотрактора с номинальной рейсовой нагрузкой в средних условиях возможно при угле местности 16° (включена первая передача рабочего диапазона трансмиссии).

Очевидно, что в реальных условиях автотракторы могут эксплуатироваться с рейсовыми нагрузками, уровень которых меньше номинальных. При этом для анализа эксплуатационных режимов целесообразно использовать усовершенствованный вариант динамического паспорта автотрактора (рис. 4), в котором наряду с динамическими характеристиками "по двигателю" и "по условиям движения" содержится номограмма нагрузки (левый квадрант).

Номограмма нагрузок построена следующим образом. Параллельно оси абсцисс динамической характеристики влево от шкалы D отложен отрезок произвольной длины. На этом отрезке нанесена шкала нагрузки в процентах. Через нулевую точку шкалы нагрузок проведена прямая, параллельная оси D , и на ней нанесена шкала динамического фактора D_0 для автотрактора без нагрузки. Масштаб для этой шкалы определен по формуле:

$$a_0 = a \cdot M_0 / M_{\Sigma}, \tag{8}$$

где a_0 – масштаб шкалы динамического фактора для автотрактора без нагрузки; a – то же для автотрактора с полной нагрузкой; M_0 – собственная масса автотрактора в снаряженном состоянии, кг; M_{Σ} – полная масса автотрактора с учетом номинальной рейсовой нагрузки, кг.

Равнозначные деления шкал D и D_0 (например, 0,1; 0,2 и т.д.) соединены прямыми линиями.

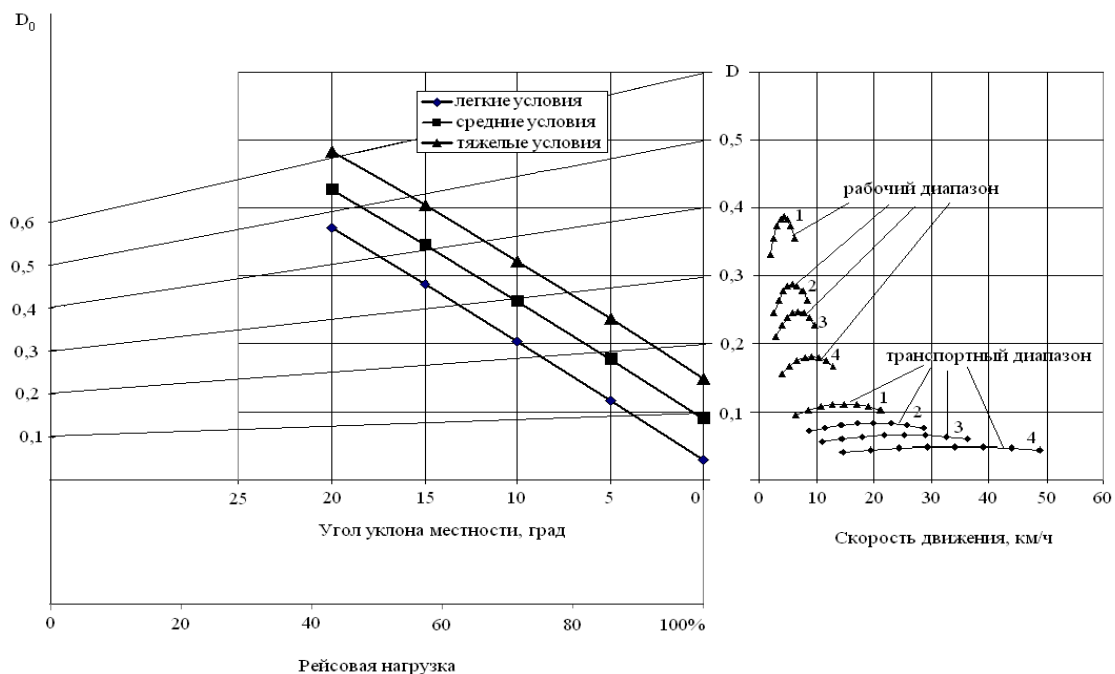


Рис. 4. Динамический паспорт автотрактора с номограммой рейсовой нагрузки

Используя динамический паспорт с номограммой рейсовой нагрузки, можно определить, например, что равномерное движение автотрактора ЭМ-0,6 в средних условиях при угле уклона местности 16° возможно при нагрузке, равной 40 % от номинальной, на второй передаче рабочего диапазона трансмиссии, а при нагрузке 20 % от номинальной – на третьей передаче того же диапазона.

Заключение. На основе положений теории автомобиля с учетом конструктивных данных колесного автотрактора ЭМ-0,6 выполнены необходимые расчеты и построены графики динамических характеристик “по двигателю” и “по условиям движения”. Проведено объединение названных динамических характеристик в динамический паспорт автотрактора.

Предложен усовершенствованный вариант динамического паспорта с номограммой рейсовой нагрузки, позволяющий формулировать практические рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростям движения автотрактора ЭМ-0,6 при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйств.

Литература

1. Батуев Ц.Т., Хлебодаров И.Д., Пехутов А.С. Перспективные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства // Вестн. Бурят. гос. с.-х. академии им. В.П. Филиппова. – 2013. – № 3. – С. 147–150.
2. Ганжа В.А., Кайзер Ю.Ф., Ковалевич П.В. Универсальные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 8. – С. 137–142.
3. Дзоценидзе Т.Д. Особенности товаропроизводства в КФХ и ЛПХ и создание грузовых автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 5. – С. 3–8.
4. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Анализ концептуальных подходов к решению проблемы механизации работ в крестьянских (фермерских) хозяйствах // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 3. – С. 51–55.
5. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Транспортно-технологическая машина для внесения органических удобрений // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 12. – С. 12–14.
6. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Жарикова Т.А. Пахотный агрегат на базе малогабаритного автотрактора // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 8. – С. 15–16.
7. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Особенности проектирования колесного малогабаритного трелевочного трактора // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 11. – С. 21–23.