

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА-САМОСВАЛА

STUDY OF TRACTION DYNAMICS OF A CATERPILLAR TRACTOR WAGON

С.А. ВОЙНАШ¹
А.С. ВОЙНАШ²

¹ ООО «Завод гусеничных машин», Рубцовск, Россия,
sergey_voi@mail.ru

² Рубцовский индустриальный институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова, Рубцовск, Россия,
aleksstok@yandex.ru

S.A. VOYNASH¹
A.S. VOYNASH²

¹ LLC «Plant of Caterpillar Machines», Rubtsovsk, Russia,

² Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of the Polzunov Altai
State Technical University, Rubtsovsk, Russia,
aleksstok@yandex.ru

Существующие гусеничные самосвалы, в том числе иностранного производства, при сравнительно небольших объемах работ, проводимых сезонно, например при строительстве дорог в лесозаготовительных районах, недостаточно эффективны. Предложено использовать для нужд дорожного строительства имеющуюся в распоряжении лесозаготовителей трелевочную технику. ООО «Завод гусеничных машин» разработано схемное решение гусеничного трактора-самосвала, получаемого за счет оснащения серийного гусеничного трелевочного трактора ТГЛ-4.04 самосвальным кузовом большой вместимости и применения бульдозерного оборудования с поворотным отвалом. С целью оказания помощи потребителю, применяющему гусеничный самосвал на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04, в определении нагрузочных параметров, соответствующих режимам наиболее эффективного использования машины в конкретных эксплуатационных условиях, решаются задачи разработки достаточно простых номограмм, графически связывающих основные нагрузочные параметры гусеничного трактора-самосвала с характеристиками типичных условий эксплуатации. Изложена методика расчета динамических характеристик гусеничного трактора-самосвала. Предложены варианты динамического паспорта, в том числе с номограммой рейсовой нагрузки. Каждый вариант динамического паспорта 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 средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика «по условиям движения»). Приведены примеры анализа характера движения гусеничного трактора-самосвала с заданной скоростью в заданных условиях. Предложенный усовершенствованный вариант динамического паспорта с номограммой рейсовой нагрузки позволяет формулировать практические рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростям движения гусеничного трактора-самосвала при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: гусеничный трактор-самосвал, касательная сила тяги, динамический паспорт, эксплуатационный режим, рейсовая нагрузка.

Existing caterpillar dump trucks, including foreign ones, with relatively small amounts of work carried out seasonally, for example, when building roads in logging areas, are not effective enough. It is proposed to use trail equipment available for logging needs for road construction. LLC «Plant of Caterpillar Machines» developed a schematic solution for a caterpillar tractor wagon obtained by equipping the serial rubber trail tractor TGL-4.04 with a large-capacity dump truck and using bulldozer equipment with a turning blade. In order to assist the customer using the caterpillar dump truck based on the trail tractor TGL-4.04 in determining the loading parameters corresponding to the modes of the most efficient use of the machine under specific operating conditions, the tasks of developing fairly simple nomograms graphically linking the main load parameters of a caterpillar tractor wagon characteristics with typical operating conditions. The technique of calculation of dynamic characteristics of a caterpillar tractor wagon is stated. Variants of a dynamic passport are proposed, including a nomogram of the regular-route load. Each version of the dynamic passport contains two quadrants: in the right quadrant, the dynamic characteristic «on the engine»; in the left quadrant, the dependences of the dynamic factor on the elevation angle of the terrain and the drag coefficients for medium and heavy conditions are presented (dynamic characteristic «according to traffic conditions»). Examples of the analysis of the nature of the movement of a caterpillar tractor wagon at a given speed under given conditions are given. The proposed improved version of the dynamic passport with the nomogram of the regular-route load makes it possible to formulate practical recommendations on the values of the regular-route loads and the speeds of the caterpillar tractor wagon when transporting goods under specific operating conditions.

Keywords: caterpillar tractor wagon, tangential traction force, dynamic passport, operating mode, regular-route load.

Введение

На рынке России широко представлены гусеничные самосвалы иностранного производства (Mogrooka, Hitachi, Komatsu и др.). Они находят применение в горнорудных карьерах, при строительстве трубопроводов и ЛЭП, при проведении работ в стесненных городских условиях, при перевозке лесных грузов и т.п. [1, 2]. В то же время при сравнительно небольших объемах работ, проводимых сезонно, например при строительстве дорог в лесозаготовительных районах, эффективность специальной гусеничной транспортной техники резко снижается.

Определенным выходом из проблемной ситуации представляется использование для нужд дорожного строительства имеющейся в распоряжении лесозаготовителей трелевочной техники [3].

Поэтому в ООО «Завод гусеничных машин» разработано схемное решение гусеничного трактора-самосвала (рис. 1), получаемого за счет оснащения серийного гусеничного трелевочного трактора ТГЛ-4.04 самосвальным кузовом большой вместимости и применения бульдозерного оборудования с поворотным отвалом [4].

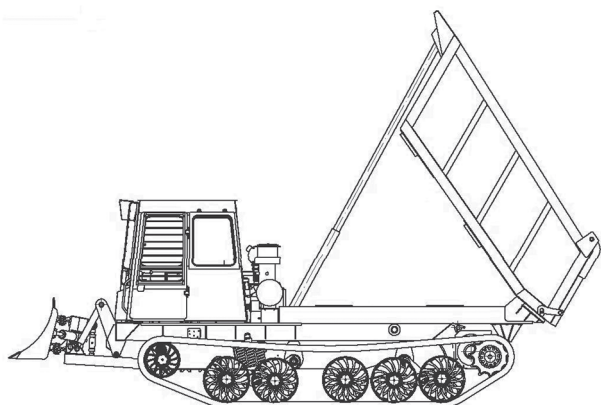


Рис. 1. Гусеничный трактор-самосвал в разгрузочном положении

Цель исследований

Цель исследования – помочь потребителю, применяющему гусеничный самосвал на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04, в определении нагрузочных параметров, соответствующих режимам наиболее эффективного использования машины в конкретных эксплуатационных условиях.

Методика и результаты исследований

Оценку эксплуатационных качеств гусеничного трактора-самосвала можно провести на основе тягово-динамических расчетов.

В теории транспортных машин (автомобилей, тягачей и др.) широко используется метод динамической характеристики, заключающийся в построении зависимости динамического фактора от скорости движения.

Динамический фактор автомобиля рассчитывается по формуле [5, 6]:

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

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

Для гусеничного трактора-самосвала, имеющего максимальную скорость до 10 км/ч, с погрешностью вычислений не более 2 % можно принять $P_w \approx 0$. Тогда:

$$D = P_k / G.$$

Вес рассматриваемой машины:

$$G = G_3 + Q,$$

где G_3 – эксплуатационный вес гусеничного трактора-самосвала, кН; Q – рейсовая нагрузка, кН.

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

Для расчета касательной силы тяги по условиям движения рассмотрим представленные на рис. 2. силы, действующие на гусеничный трактор-самосвал при равномерном движении на подъеме.

Уравнение тягового баланса имеет вид:

$$\begin{aligned} P_k &= P_f + (G_3 + Q) \sin \alpha = \\ &= f(G_3 + Q) \cos \alpha + (G_3 + Q) \sin \alpha, \end{aligned}$$

где P_f – сила сопротивления качению, кН; f – коэффициент сопротивления качению гусеничного трактора-самосвала; α – угол уклона местности.

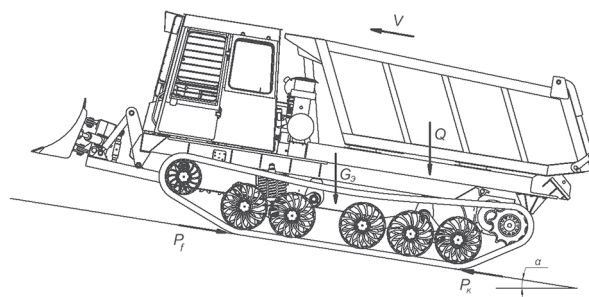


Рис. 2. Схема к расчету касательной силы тяги гусеничного трактора-самосвала

Выражение для динамического фактора принимает вид:

$$D = f \cos \alpha + \sin \alpha. \quad (1)$$

Выражая P_k через параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части, получим для гусеничного трактора-самосвала:

$$D = \frac{M_e i_{тр} \eta_{тр}}{Gr_k}, \quad (2)$$

где M_e – крутящий момент, кН·м; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; r_k – радиус качения ведущего колеса гусеничного трактора-самосвала, м.

Расчет скорости движения гусеничного трактора-самосвала проводится по формуле:

$$V = 3,6 \frac{n_e r_k \pi}{30 i_{тр}}, \quad (3)$$

где n_e – частота вращения коленвала двигателя, мин⁻¹.

Для расчетов по формулам (2) и (3) 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 (1) представляются графически в виде так называемой динамической характеристики по условиям движения. Объединяя обе динамические ха-

рактеристики, можно получить динамический паспорт.

Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала конструкции ООО «Завод гусеничных машин» (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 средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика по условиям движения).

При равенстве значений динамического фактора, взятых в правом и левом квадрантах, гусеничный трактор-самосвал движется равномерно с данной скоростью в заданных условиях. Так, наглядно видно, что движение гусеничного трактора-самосвала с номинальной рейсовой нагрузкой в средних условиях возможно при уклоне местности 25° (включена третья передача рабочего диапазона трансмиссии).

Очевидно, что в реальных условиях гусеничные тракторы-самосвалы могут эксплуатироваться с рейсовыми нагрузками, уровень которых отличается от номинального. При этом для анализа эксплуатационных режимов целесообразно использовать усовершенствованный вариант динамического паспорта гусеничного трактора-самосвала (см. рис. 4), в котором наряду с динамическими характери-

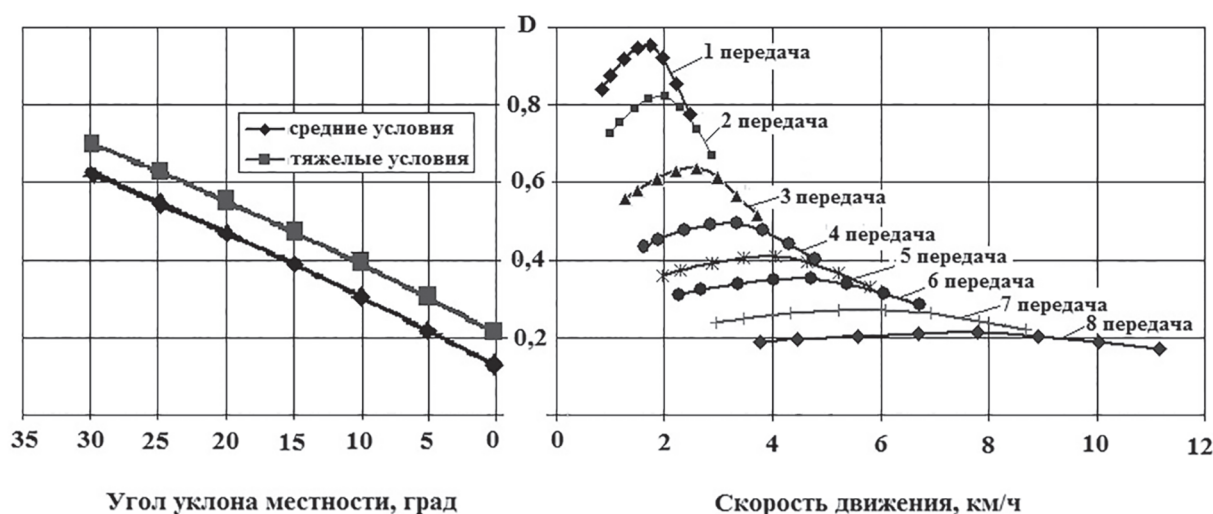


Рис. 3. Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала при номинальной рейсовой нагрузке

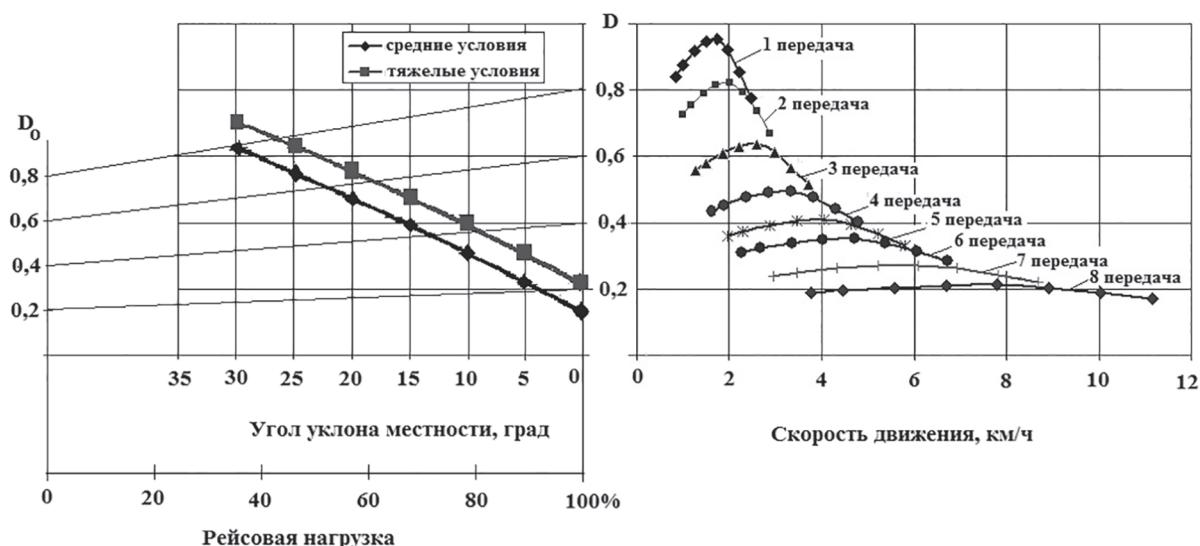


Рис. 4. Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала с номограммой рейсовой нагрузки

стиками 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 гусеничного трактора-самосвала без нагрузки. Масштаб для этой шкалы определен по формуле:

$$a_0 = aM_0/M_3,$$

где a_0 – масштаб шкалы динамического фактора для гусеничного трактора-самосвала без нагрузки; a – то же для гусеничного трактора-самосвала с полной нагрузкой; M_0 – собственная масса гусеничного трактора-самосвала в снаряженном состоянии, кг; M_3 – полная масса гусеничного трактора-самосвала с учетом номинальной рейсовой нагрузки, кг.

Равнозначные деления шкал D и D_0 (например, 0,2, 0,4 и т.д.) соединены прямыми линиями.

Используя динамический паспорт с номограммой рейсовой нагрузки, можно определить, например, что равномерное движение гусеничного трактора-самосвала в средних условиях при угле уклона местности 20° возможно при нагрузке, равной 70 % от номинальной, на второй передаче пониженного диапазона трансмиссии.

Выводы

1. На основе положений теории автомобиля с учетом конструктивных данных гусеничного самосвала на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04 выполнены необходимые расчеты и построены графики динамических характеристик по двигателю и по условиям движения. Проведено объединение названных динамических характеристик в динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала.

2. Предложен усовершенствованный вариант динамического паспорта с номограммой рейсовой нагрузки, позволяющий формулировать практические рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростям движения гусеничного трактора-самосвала при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях.

Литература

1. Гусеничные самосвалы morooka. Режим доступа: http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf_catalog/morooka_product_brochure_rus.pdf. (Дата обращения 24.10.2017).
2. Сравнение гусеничных мини-самосвалов. Режим доступа: <http://vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnyix-mini-samosvalov.php> (дата обращения 24.10.2017).
3. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Использование трелевочных тракторов в дорожном строительстве // Строительные и дорожные машины. 2012. № 7. С. 25–27.
4. Менькин О.П., Кыдымасев Н.Р., Иванов Д.Н., Войнаш С.А., Войнаш А.С. Гусеничное транс-

портно-технологическое средство для дорожного строительства // Строительные и дорожные машины. 2017. № 8. С. 22–24.

5. Поливаев О.И., Гребнев В.П., Ворохобин А.В. Теория трактора и автомобиля. СПб.: Лань, 2016. 232 с.
6. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 504 с.

References

1. Gusenichnye samosvaly morooka [Morooka crawler dumpers]. URL: http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf_catalog/morooka_product_brochure_rus.pdf. (accessed 24.10.2017).
2. Sravnenie gusenichnykh mini-samosvalov [Comparison of crawler mini dump-trucks]. URL: [http://](http://vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnykh-mini-samosvalov.php)

vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnykh-mini-samosvalov.php. (accessed 24.10.2017).

3. Voynash A.S., Voynash S.A. Use of trail tractors in road construction. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2012. No 7, pp. 25–27 (in Russ.).
4. Men'kin O.P., Kydymaev N.R., Ivanov D.N., Voynash S.A., Voynash A.S. Caterpillar transport and technological equipment for road construction. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2017. No 8, pp. 22–24 (in Russ.).
5. Polivaev O.I., Grebnev V.P., Vorokhobin A.V. *Teoriya traktora i avtomobilya* [Theory of tractor and automobile]. SPb.: Lan' Publ., 2016. 232 p.
6. Kut'kov G.M. *Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva* [Tractors and automobile. Theory and technological properties]. Moscow.: KolosS Publ., 2004. 504 p.