

УДК 621.83.059

Основные показатели состояния дорог и проходимость автомобильных средств

Кириленков Андрей Сергеевич,
аспирант

dimaskripi@mail.ru

Филатчев Владислав Владимирович,
аспирант

dimaskripi@mail.ru

Сладкова Любовь Александровна,
профессор, д-р техн. наук

rich.cat2012@yandex.ru

*Кафедра «Наземные транспортно-технологические средства»,
Российский университет транспорта, Москва, Россия*

Аннотация. Для оперативной ликвидации чрезвычайных ситуаций (техногенных аварий, катастроф, стихийных бедствий, характеризующихся обвалами зданий и сооружений и созданием многочисленных дефектов покрытий дорог и, изменением рельефа местности), обуславливает необходимость ее оснащения надежным ходовым оборудованием. Для создания эффективной конструкции стабилизатора движения необходимо углубленное изучение и совершенствование теоретических положений не только по взаимодействию пневмоколесного ходового оборудования (ПХО) грунтом при перемещении по пересеченной местности, но и проанализировать сами опорные поверхности дорог. Учитывая состояние дорог в России, решение этой задачи также будет актуально при создании беспилотных транспортных средств.

Ключевые слова: дороги, неровности, проходимость автомобилей, статистические показатели

Main indicators of road condition and cross-country ability of vehicles

Kirilenkov Aendrey Sergeevich,
Postgraduate Student

dimaskripi@mail.ru

Filatchev Vladislav Vladimirovich,
Postgraduate Student

dimaskripi@mail.ru

Sladkova Lyubov Aleksandrovna,
Professor, Doctor of Technical Sciences

rich.cat2012@yandex.ru

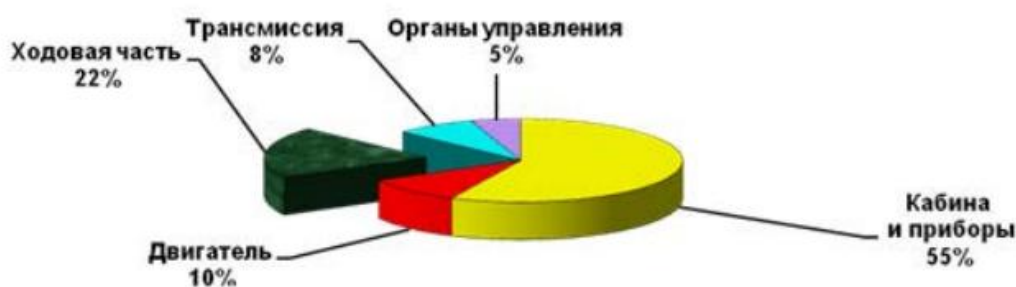
*Department of "Ground transportation and technological facilities",
Russian University of Transport, Moscow, Russia*

Abstract. For the prompt elimination of emergencies (man-made accidents, catastrophes, natural disasters characterized by the collapse of buildings and structures and the creation of numerous defects in road surfaces and changes in the terrain), it is necessary to equip it with reliable running equipment. To create an effective design of a motion stabilizer, it is necessary to in-depth study and improvement of theoretical provisions not only on the interaction of pneumatic-tyre undercarriage equipment (PHO) with soil when moving over rough terrain, but also to analyze the supporting surfaces of the roads. Given the state of

roads in Russia, the solution of this problem will also be relevant when creating unmanned vehicles.

Keywords: roads, bumps, cross-country ability of cars, statistical indicators

Выход из строя ходовой части автомобиля составляет более 20 % от выхода из строя основных узлов и агрегатов (см. рисунок). Критерий значимости исправности ходовой части, а, следовательно, и критерии значимости исправности всех входящих в ходовую часть узлов достаточно высок.



Выход из строя основных узлов и агрегатов автомобильной техники

Последние десятилетия возникла новая проблема — повышение жизненных функций транспортного обеспечения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) на труднодоступных участках местности. Впервые она реально проявилась при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АС, затем — в районах наводнений в Сибири и на Дальнем Востоке. Последние ЧС природного характера на Юге России (наводнение 2022 года) и в Западной Европе подтвердили идею о том, что подготовка транспорта к работе в чрезвычайных ситуациях должна быть выделена в отдельную научную и практическую проблему. Она включает ряд частных проблем:

- подготовку и развитие проходимости техники по дорожной сети в потенциально опасных районах;

- создание специального оборудования, которое может быть установлено на подвеске пневмоколесной техники что позволяет привлекать ее в ликвидации последствий ЧС на труднопроходимых участках местности.

Признавая экономическую значимость высокой пропускной способности и скорости транспортного потока на дорогах коридора, целесообразно проведение усовершенствование подвески автомобиля.

Уместно предположить, что для выполнения работ по подготовке обходов опасных объектов нужно применять пневмоходовую технику способную преодолевать опасные зоны, в которых могут возникать ЧС.

Постоянно возникающее противоречие между необходимостью устранения последствий ЧС и непредсказуемым возникновением в этот период эксплуатационных отказов колес техники, требует скорейшего разрешения. Поэтому обеспечение высокой мобильности вызывает необходимость в научно-методическом выборе и оценке показателей (нормативных значений) дорож-

ных неровностей и удовлетворяющих им рациональных конструкций ходового оборудования, в частности, устройств стабилизации движения колесных автомобилей.

Многообразие опорных поверхностей можно классифицировать по ряду признаков, разделив их на *твердые* и *деформируемые*.

К деформируемым поверхностям относятся большинство грунтов в естественном состоянии, грунтовые дороги в сезон распутицы, снег. Грунты и снег являются дисперсными телами, в которых твердые частицы не образуют сплошной массы, а занимают часть объема, причем прочность связи частицами меньше прочности самих частиц.

Но взаимодействие колеса с опорной поверхностью непосредственно влияют механические свойства грунта, которые, в свою очередь, определяются гранулометрическим составом, влажностью и т. д. свойствами. Если напряжения превышают связи между частицами грунта, происходит сдвиг одних частиц грунта относительно других, и при последовательном увеличении нагрузки наступает течение грунта в стороны из-под вдавливаемого тела. Отметим, что нагрузка p_s , при которой происходит течение грунта, называется несущей способностью грунта [1].

Опорные поверхности, по которым движутся машины, делятся на *плоские* и *неровные*. Причем плоские могут быть горизонтальными или наклонными. Абсолютно плоских поверхностей на дорогах и местности нет, поэтому для исследования ряда вопросов за плоскую поверхность будем принимать такую, движение по которой практически не отражается на характере взаимодействия машины с этой поверхностью. Неровность может располагаться также поперек или под острым углом к направлению движения. Если размер такой неровности превышает размер машины, то ее также называют уклоном или косогором [2].

В России приняты следующие предельные продольные уклоны на дорогах (табл. 1) в зависимости от их категоричности.

Таблица 1

Предельные уклоны дорог

Категория дороги	I	II	III	IV	V
Предельные продольные уклоны, %	6	7	8	9	10

Неровности от 10 см до 100 см составляют микропрофиль поверхности, причем меньшие неровности называются шероховатостями, которые, как правило, не превышают длины отпечатка шины.

По характеру чередования неровности могут быть: единичными, периодическими, случайными. К единичным относятся: ямы, канавы, специальные инженерные сооружения типа рвов, эскарпов и т. д.

В реальных условиях колесные машины встречаются со случайным изменением геометрических характеристик опорной поверхности.

Основные статистические характеристики микропрофиля включают:

– среднее значение ординат, или их математическое ожидание;
 – дисперсия σ_q^2 или среднее квадратичное отклонение σ_q координат реляционная функция распределения неровностей микропрофиля.

Несущая способность грунта зависит от гранулометрического состава грунта, сцепления частиц грунта, направления приложения нагрузки, ширины вдавливаемого тела. Неровные поверхности различаются по форме, размерам и характеру чередования неровностей в профиле — сечении рельефа в направлении движения машины. Форма неровности может быть любая: синусоидальная, параболическая, прямоугольная и т. д.

Размеры неровностей определяются их длиной и высотой. Плавные неровности, каждая длиной более 100 м, называют уклонами. Они характеризуют макропрофиль поверхности. В зависимости от величины и числа уклонов рельеф подразделяют на слабохолмистый, холмистый, резкопересеченный, горный.

Расчет среднестатистических характеристик неровностей проводится по методике [3], приведенной ниже.

Если усреднение осуществляют по совокупности (ансамблю) реализаций, каждая из которых отображает характеристику конкретного участка l_s поверхности движения, то среднее значение ординат

$$q_{cp} = \lim \sum_{i=1}^n \frac{q_i(l)}{n}. \quad (1)$$

где n — число реализаций; $q(l)$ — значение ординат.

Дисперсию получают при усреднении по совокупности реализаций. При обработке одной реализации дисперсию определяют по формуле:

$$\sigma_q = \lim \sum_{i=1}^n \frac{q_i^2(l)}{n}. \quad (2)$$

Если производить усреднение по совокупности реализаций, то корреляционная функция может быть определена по формуле:

$$r_{q_1 q_2}(l_s) = \lim \sum_{i=1}^n \frac{q_1(l) q_2(l)}{n}. \quad (3)$$

В расчетах пользуются так называемой нормированной корреляционной функцией:

$$R_q^n(l_s) = \frac{R_q(l_s)}{\sigma_q^2}. \quad (4)$$

Корреляционные функции случайного процесса являются функциями неслучайными и аппроксимируется различными функциональными зависимостями.

Для нормированных корреляционных функций распределения неровностей микропрофиля наибольшее распространение получила следующая аппроксимирующая зависимость [3]:

$$R_q(l_s) = A_1(\exp(-\alpha_1 |l_s|)) \cos \beta_1 |l_s| + A_2(\exp(-\alpha_2 |l_s|)) \cos \beta_2 |l_s|, \quad (5)$$

где α и β — коэффициенты корреляционной связи; A_1 и A_2 — безразмерные коэффициенты, причем $A_1 + A_2 = 1$

В табл. 2 приведены аппроксимированные корреляционные функции микропрофиля дорог, полученные различными авторами и организациями [3–5].

Таблица 2

Аппроксимированные корреляционные функции микропрофиля дорог

Тип дороги	$\sigma_q^2, \text{см}^2$	A_1	A_2	$\alpha_{1,1} \text{ м}^{-1}$	$\alpha_{2,1} \text{ м}^{-1}$	$\beta_{1,1} \text{ м}^{-1}$	$\beta_2 \text{ м}^{-1}$
Грунтовая	152,1	1,000	0	0,117	–	0,314	–
	110,3	0,634	0,366	0,017	0,153	0,144	0,581
	196,3	1,000	0	0,101	–	0,164	–
	102,2	1,000	0	0,451	–	0,414	–
	100,0	1,000	0	0,200	–	0,600	–
Булыжная	10,70	0,800	0,200	0,320	0,200	0	1,740
	6,35	0,953	0,047	0,213	0,049		1,367
	5,24	0,840	0,160	0,300	0,160		1,120
	4,39	1,000	0	0,450			
Асфальто-бетонная	0,25	1,000	0	0,140	–	0	–
	0,25...1,54	1,000		0,150			
	1,96	1,000		0,200			

Анализ проведенных исследований микропрофиля дорог показывает, что коэффициенты α , β и A , а также дисперсии σ_q^2 изменяются в широких пределах.

Спектральная плотность дисперсии (энергетический спектр), являющаяся важной статистической характеристикой микропрофиля, дает представление о частоте и ее повторения длин неровностей, преобладающих частотах при случайном процессе, изменяющимся во времени t .

Спектральная плотность дисперсии $S(\omega)$ и корреляционная функция взаимно связаны преобразованием Фурье:

$$S_q(\omega) = 2 \int_0^\infty R_q(t) \cos \omega t dt, \quad (6)$$

$$R_q(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty R_q(\omega) \cos \omega t d\omega. \quad (7)$$

Если отнести величину спектральной плотности к дисперсии, то получим нормированную величину спектральной плотности:

$$S_q^n(\omega) = \frac{S_q(\omega)}{\sigma_q^2}. \quad (6)$$

Практика эксплуатации показала, что микропрофиль дороги влияет на изменение направления движения машины в плане. Если машина движется по траектории, прямолинейной в плане, то такое движение принято называть

прямолинейным несмотря на то, что траектория такого движения в профиле может представлять собой кривую. В ряде расчетов принимаем также за условно прямолинейное движение по траектории с радиусом кривизны порядка 300–400 м. Тогда время условно прямолинейного движения колесных машин по шоссе приближается к 100 %.

Установлено, что на грунтовой дороге доля условно прямолинейного движения составляет 30–35 % от общего времени. Движение машины по траектории с предельными (минимальными) радиусами кривизны осуществляется весьма редко, причем с очень малой скоростью, обычно при маневрировании. Для горных дорог радиусы закруглений доходят до 30...40 м, а на некоторых перевалах даже до 10...12 м. При движении по дорогам с неровностями возникают крутящие моменты и силы, действующие на ПХО.

В большинстве работ рассматриваются, главным образом, отдельно вопросы снижения сопротивления качению и повышения тягово-сцепных свойств ПХО на дорогах с твердым покрытием и в меньшей степени на деформируемых грунтах. В немногих работах рассматриваются соответствие нагрузочных, жесткостных и размерных его параметров условиям движения и крайне недостаточно работ, посвященных зависимости надежности и устойчивости автомобильной техники от конструкции стабилизатора.

В настоящей работе основное внимание уделено ключевым показателям потребительских свойств стабилизаторов движения ПХО, зависящим прежде всего от применяемых единичных неровностей: ям, канав, специальных инженерных сооружений типа рвов, эскарпов и т. д.

Список источников

- [1] ГОСТ 25100–2011. *Грунты. Классификация*. Москва, Сандартинформ, 2013, 38 с.
- [2] СП 34.13330.2012. *Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05-02-85*. Москва, Госстрой России, 2013.
- [3] РТМ 37.001.053–2000. *Методы определения параметров проходимости военной автомобильной техники*. Москва, ФГУП «НАМИ», 2000.
- [4] Райтман Н.С. О числе наблюдений при хронометрии. *Вестник машиностроения*, 1979, № 8.
- [5] Чистов М.П. Математическое описание качения деформируемого колеса по деформируемому грунту. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 1986, № 4, с. 12–38.