

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОХОДИМОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

*Бул макалада ар кандай жол шарттарында автомобилдердин өтүмдүүлүгүнүн көрсөткүчтөрү суроолору каралган. Талдоо ыкмасы менен баалоо жүргүзүлдү.*

*В данной статье рассмотрены вопросы показателей проходимости автомобилей в одинаковых дорожных условиях, оценка аналитическим методом, расчеты для труднодоступных участков и т.д.*

*In given article questions, indicators of passableness of cars in identical road conditions, an estimation by an analytical method, calculations for remote sites etc. are considered*

Оценку проходимости можно проводить аналитически и экспериментально. Аналитическое определение проходимости позволяет сравнивать проходимость различных автомобилей в одинаковых дорожно-грунтовых условиях, что экспериментальными методами практически невозможно из-за нестабильности и неоднородности грунтовых поверхностей. Количественно оценить влияние различных конструктивных параметров автомобиля на его проходимость возможно в полной мере только аналитически, так как, во-первых, практически невозможно создать большое число экспериментальных образцов автомобилей, отличающихся только исследуемым параметром, во-вторых, нельзя обеспечить одинаковые механические свойства грунтовой при опытных заездах нескольких автомобилей.

Только аналитическим методом возможно оценивать проходимость автомобиля на стадии проектирования.

Проходимость автомобилей оценивают с различными целями, в связи с чем имеется большое число оценочных показателей.

Для определения возможности движения автомобиля в конкретных грунтовых условиях широко используется выражение

$$k_{\text{сц}} \varphi - f > \text{tg } \alpha, \quad (1)$$

где  $k_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепного веса автомобиля;  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $\alpha$  – угол подъема.

Это выражения привлекает простотой и наглядностью. Однако следует иметь в виду, что оно не учитывает трех важных факторов.

1. Значение  $\kappa_{\text{ц}} \varphi$  характеризует максимально возможное сцепление ведущих колес с грунтом. Возможность использования этого значения зависит от свойств трансмиссии, в частности, при неодинаковом сцеплении колес с грунтом – от свойств дифференциалов.

2. Значение  $f$  характеризует суммарное значение коэффициента сопротивления качению  $f=f_r+f_{\text{ш}}$ . Выше было показано, что источником возникновения  $f_{\text{ш}}$  для ведущих колес являются внутренние потери в шине, на их преодоление затрачивается сила сцепления колеса с грунтом ( $P_k=P_{\text{ш}}+R_x$ ). Следовательно, из значения  $f$  в уравнении (4) должна быть исключена составляющая, вызываемая затратами механической энергии на внутреннее трение в шинах ведущих колес;

3. При погружении колес в грунт на величину, большую, чем дорожный просвет, снижается сцепной вес автомобиля и появляется дополнительное сопротивление движению, вызываемое скольжением мостов (кузова) автомобиля по грунту и бульдозерным действием автомобиля, что не учитывается коэффициентом  $f$ .

Уточненное выражение для оценки возможности движения автомобиля можно получить из уравнения движения, приняв  $P_{\omega}=0$  и учитывая сказанное о  $f_{\text{ш}}$  для ведущих колес:

$$j_a G_o / g = \sum_1^n R_{xi} - \sum_1^n P_{fi} - P_{\sigma} - R_{kx} - P_i - P_{\omega} - P_{kp}; \quad (2)$$

$$\sum R_x \geq \sum_1^n R_{fr} + \sum_1^{n_1} f_{iu} + R_{\sigma} + R_{kx} + P_i$$

или в развернутом виде

$$\kappa_{\varphi} \varphi G_a \cos \alpha \geq G_a f_r \cos \alpha + (1 - \kappa_{\text{ц}}) G_a f_{iu} \cos \alpha + G_a (f_k + f_{\sigma}) \cos \alpha + G_a \sin \alpha .$$

Разделив все члены уравнения на  $G_a \cos \alpha$ , получим

$$\kappa_{\varphi} \varphi \geq f_r + (1 - \kappa_{\text{ц}}) f_{iu} + f_k + f_{\sigma} + \text{tg} \alpha , \quad (3)$$

где  $f_k$  – коэффициент сопротивления движению корпуса автомобиля по грунту;  $\kappa_{\omega}$  – коэффициент использования сцепления колес с грунтом;

$$\kappa_{\varphi} = (\kappa_{\text{ц}} - R_{kz} / G_a) \sum_1^n M_{ki} / r_o \sum_i^n P_{zi} \varphi_i \quad (4)$$

при условии  $M_{ki} \leq r_o \varphi_i R_{zi}$

Неравенство (3) можно рассматривать как критерий проходимости автомобиля. Для количественной сравнительной оценки проходимости автомобилей по грунту с осредненными показателями механических свойств используют выражение, аналогичное (4),

$$P_o = \text{tg} \alpha_{\text{max}} = \kappa_{\text{ц}} \varphi - f .$$

В уточненном виде из выражения (3) получим

$$\Pi = \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \kappa_{\phi} \phi - f_r - f_k - f_o - (1 - \kappa_{\text{сц}}) f_{\text{ш}}, \quad (5)$$

где  $\Pi$  – показатель проходимости. Он численно равен тангенсу максимального угла подъема на данном грунте или запасу удельной силы тяги по сцеплению, которая может быть использована на преодоление различных препятствий, разгон и т.д. Чем больше значение  $\Pi$ , тем выше проходимость автомобиля. Выражение (5) дает четкое представление об уровне проходимости автомобиля в определенных грунтовых условиях.

При оценке проходимости автомобилей по маршрутам многообразных грунтов или поверхностям, механические показатели которых могут быть заданы только статистическими характеристиками, в качестве показателя проходимости целесообразно использовать вероятностный показатель

$$\Pi_{\text{в}} = P[\kappa_{\phi} \phi \geq f_r + f_k + f_o + (1 - \kappa_{\text{сц}}) f_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \alpha], \quad (6)$$

который характеризует вероятность преодоления автомобилем заданного маршрута без застревания. Этот показатель численно равен части маршрута, по которой возможно движение автомобиля без застревания. В настоящее время имеются со стороны грунта оценки проходимости. При наличии статистических материалов по конструктивным параметрам автомобиля и по действиям водителя в процессе движения уравнение (9) может быть использовано и для вероятностей оценки проходимости автомобиля с точки конструкции и эксплуатации.

Показатели проходимости автомобилей определяются не только конструкцией и техническими возможностями автомобиля, но и свойствами грунта как опорной поверхности для движения (мастерство водителя принимается идеальным). Оценка грунта как одной из рассматриваемых подсистем представляет наибольшую трудность из-за многообразия грунтов и ограниченности данных их механических свойств. При решении практических задач оценки проходимости автомобилей механические свойства грунтов могут быть заданы или осредненными параметрами, или статистическими характеристиками. В соответствии с этим методика расчета показателей проходимости будет различной.

Из-за нестабильности механических свойств грунтовых поверхностей в большинстве случаев целесообразно их задавать статистическими характеристиками.

Для связных грунтов в качестве исходных материалов могут быть использованы данные по распределению влажности грунта в степной зоне, весной и осенью близкие к нормальному. Однако одной кривой распределения влажности недостаточно для расчета. Необходимы еще данные по изменению влажности по глубине, которые могут быть представлены в виде кривой распределения толщины верхнего слоя или в виде кривой

зависимости толщины слабого слоя от влажности. Для оценки проходимости целесообразно использовать интегральные кривые распределения (рис. 1, а).

По этим характеристикам выбираются четыре значения вероятности, например 0,25; 0,5; 0,75; 0,85 и для каждого из них находят значения влажности по графикам рис. 6 определяют значения механических параметров грунта  $\epsilon$ ,  $c_0$ ,  $\phi_0$ , а по уравнениям значения  $a$ ,  $t_p$ ,  $k_t$ ,  $\gamma$ . Таким образом получают параметры механических свойств четырех грунтов, соответствующих выбранным значениям вероятности. По методике рассчитывают параметр проходимости  $\Pi$  для каждого из четырех грунтов и строят интегральную кривую распределения (рис. 1, б).

Для определения вероятности проходимости автомобиля в рассматриваемых грунтовых условиях необходимо определить минимальное значение  $\Pi_m$ , при котором гарантируется движение автомобиля. Надежное движение автомобиля возможно при определенном запасе удельной силы тяги для преодоления возможных подъемов, для трогания с места и разгона, для преодоления мелких препятствий и поворотов. Требуемая величина удельной силы тяги зависит от характера местности и в частности от рельефа и наличие различных препятствий, в большинстве случаев она определяется величиной подъемов.

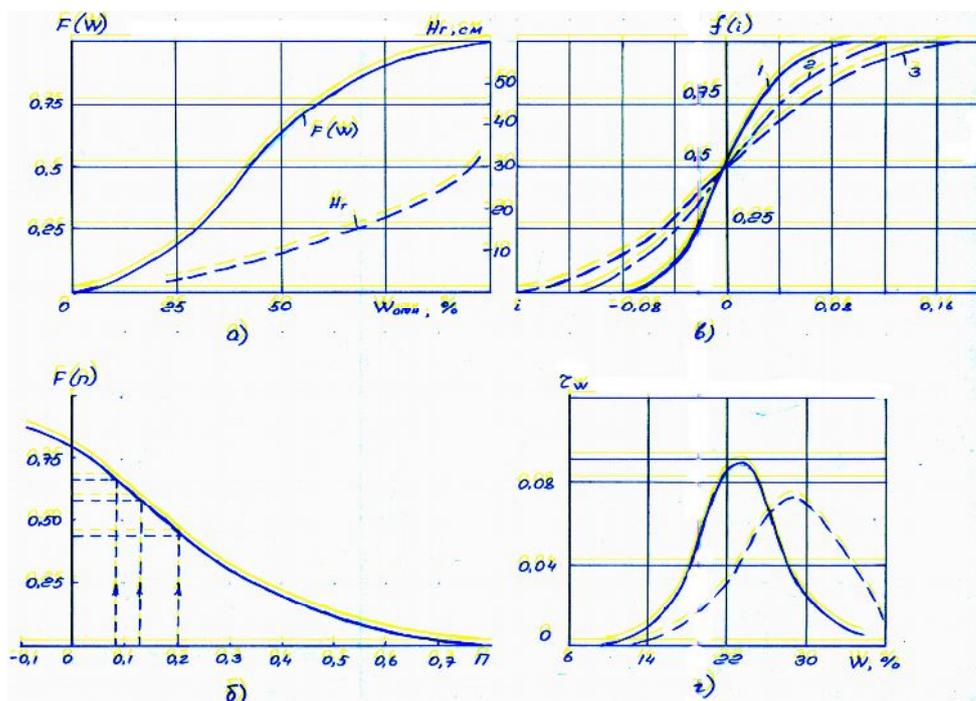


Рис. 1. График к расчету показателя проходимости по статистическим характеристикам связного грунта:

а – распределение влажности; б – распределение показателя проходимости;

в – распределение подъемов; г – дифференциальное распределение влажности грунта весной; 1 – слабохолмистая местность; 2 – холмистая местность; 3 – резко пересеченная местность; 4 – суглинистый чернозем; 5 – тяжелосуглинистый чернозем

Учитывая возможности объезда автомобилем недоступных подъемов, следует ориентироваться на подъемы, характерные для дорог на рассматриваемой местности. В качестве примера на (рис. 1, в) приведены кривые распределения подъемов, характерных для полосы дорог на холмистой и пересеченной местностях. На слабохолмистой местности подъемы практически не превышают 0,08, на холмистой – 0,12, а для резко пересеченной местности – 0,20.

Поэтому в первом приближении в качестве минимального значения  $P_m$  можно принимать: для слабохолмистой местности  $P_m = 0,08$ , для холмистой  $P_m = 0,12$ , для резко пересеченной  $P_m = 0,2$ . По найденному значению  $P_m$  и кривой распределения  $P$  (рис. 1, б), находят вероятностный показатель проходимости  $P_v$  и (штриховые кривые на рис. 1, б). Значение  $P_v$  в рассмотренном примере получается на различной местности соответственно 0,7; 0,6; 0,45.

В случае, если известно распределения подъемов на рассматриваемом маршруте (местности), вероятный показатель проходимости находят по графикам (рис. 1, б и в).

Основанием для расчета скорости на участке, характеризуемом осредненными параметрами грунта, являются значения коэффициента сопротивления дороги  $\psi$ , коэффициента буксования  $S_b$  и динамическая характеристика автомобиля. По динамической характеристике определяют максимальную возможную скорость из условия  $D = \psi$ . Затем эту величину уточняют учетом буксования:

$$v = v_t(1 - S_b), \quad (7)$$

где  $v_t$  – величина скорости по динамической характеристике.

Расход топлива в литрах на 100 км пути для рассматриваемого участка определяют по формуле

$$Q = 0,1 g_e f_N G_a / v_a \gamma_t \eta_t ; \quad (8)$$

где  $f_N$  – коэффициент потерь мощности на движение;  $\gamma_t$  – плотность топлива;  $g_e$  – удельный расход топлива.

Показатель эффективности автомобиля определяют по формуле

$$P_{\text{Э}} = G_{\text{гр}} v_a / Q.$$

Для труднопроходимых участков целесообразно провести расчет  $v_a$ ,  $Q$  и  $P_{\text{Э}}$  для нескольких значений  $G_{\text{гр}}$ . По полученной зависимости  $P_{\text{Э}}$  ( $G_{\text{гр}}$ ) можно найти оптимальное значение грузоподъемности, соответствующее максимальному значению  $P_{\text{Э}}$ . Общая

сравнительная оценка проходимости автомобилей без рассмотрения грунтовых условий может быть проведена по следующим конструктивным параметрам: минимальному давлению на грунт  $P_{\min} = P_{\text{оmin}} + P_0$  и дорожному просвету  $h_k$ , которые характеризуют опорные возможности автомобиля; коэффициенту насыщенности протектора шин  $k_{\text{ц}}$ , высоте грунтозацепов  $\Delta_{\text{пр}}$ , коэффициенту сцепного веса  $k_{\text{сц}}$ , коэффициенту блокировки части привода, расположенной между ведущими колесами  $\lambda$ , динамическому фактору  $D_{\text{max}}$  и удельной мощности  $N_{\text{уд}}$ , характеризующими тяговые возможности автомобиля; а также геометрическим параметрам проходимости: радиусу колеса  $r_0$ , углам свеса  $\alpha_a$  и  $\beta_a$ , продольному радиусу проходимости  $r_{\text{пр}}$ . Числовые значения этих параметров для некоторых автомобилей приведены в табл. 1.

Обобщенный сравнительный показатель проходимости можно получить, выразив указанные показатели в виде относительной величины, выбрав коэффициенты весомости для каждого из параметров:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{CP}} = & \xi_1 p'_{\min} + \xi_2 h'_k + \xi_3 h'_n + \xi_4 \Delta'_{\text{пр}} + \xi_5 k'_{\text{сц}} + \xi_6 \lambda' + \xi_7 D'_{\text{max}} + \\ & + \xi_8 N'_{\text{уд}} + \xi_9 r'_0 + \xi_{10} \alpha' + \xi_{11} \beta' + \xi_{12} r'_{\text{пр}} \end{aligned} \quad (9)$$

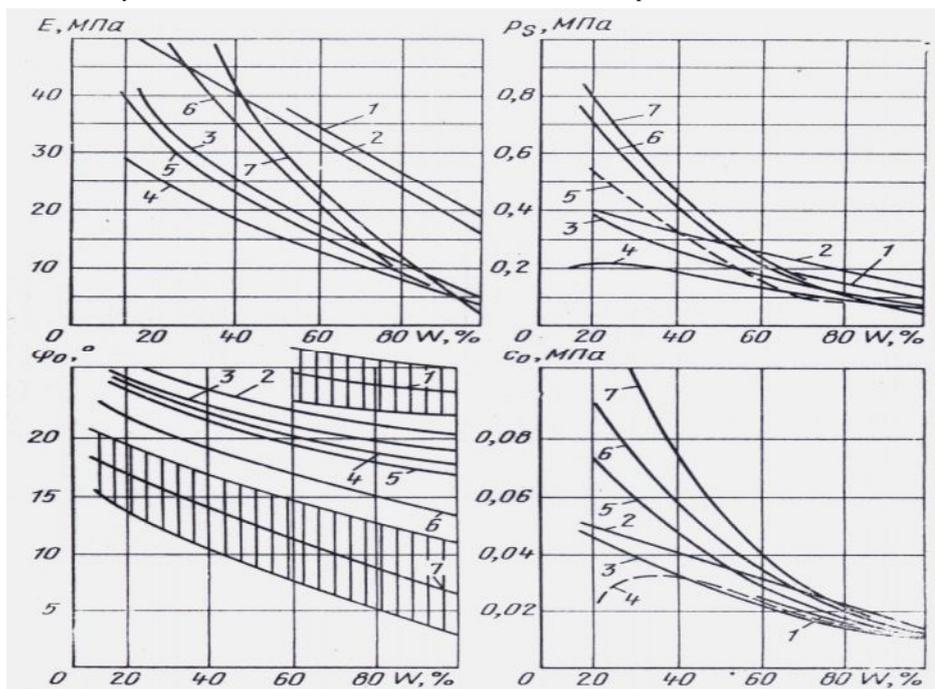


Рис.2. Зависимость механических параметров грунтов от влажности:

1 – мелкозернистый песок; 2, 3 – легкая супесь; 4 – супесь; 5 – легкий суглинок; 6 – суглинок; 7 – глина и тяжелый суглинок

При выбранных значениях весовых коэффициентов наиболее высокой проходимостью обладает автомобиль Урал-375, а наименьшей – ГАЗ-53, что

соответствует опыту эксплуатации этих автомобилей. Естественно, возможны случаи (сочетание дорожно-грунтовых условий), когда соотношения проходимости автомобилей будет иным. Например, при использовании автомобилей на местности с большим числом препятствий, вызывающих значительное перераспределение нормальной нагрузки между левыми и правыми колесами, возрастает роль коэффициента блокировки дифференциала.

Таблица 1

Параметры	Автомобили						
	ГАЗ-53	ЗиЛ-130	УАЗ-469	ГАЗ-66	ЗиЛ-131	Урал-375	КрАЗ-255Б
1. $p_{\min}$ , кПа	450	500	250	100	100	100	150
2. $h_k$ , см	26,5	27,0	30,0	31,5	33,0	40,0	36,0
3. $k_H$	0,65	0,65	0,45	0,42	0,44	0,39	0,42
4. $\Delta_{\text{пр}}$ , см	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	2,8	2,15
5. $k_{\text{сц}}$	0,75	0,73	1	1	1	1	1
6. $\lambda$	1	1	1	4	1	1	1
7. $D_{\text{max}}$	0,32	0,32	0,72	0,67	0,78	0,97	0,62
8. $N_{\text{уд}}$ , кВт/т	13,2	13,0	22,4	14,2	10,6	10,1	9,0
9. $r_0$ , см	45,6	48	41	54,2	57,3	63,6	64
10. $\alpha$ , °	41	37	54	41	36	44	47
11. $\beta$ , °	27	39	48	32	40	40	32
12. $r_{\text{пр}}$ , м	3,2	3,2	1,8	3,94	4,9	4,97	5,6
$\mu_{\text{ср}}$	0,54	0,57	0,75	0,81	0,82	0,87	0,77