

ОЦЕНКА ПРОХОДИМОСТИ МАШИН ПО СНЕГУ

Канд. техн. наук, доц. А.А. АНИКИН, канд. техн. наук И.О. ДОНАТО

Рассмотрены основные показатели, используемые для оценки проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью. Предложено оценивать проходимость машин по снегу непосредственно по зависимостям силы тяги, силы сопротивления движению и запаса силы тяги от высоты снежного покрова.

The considered leading indexes, which are used for estimation of the possibilities of the machines on soil with low carrying ability. It is offered to value the possibility of the machines on snow on dependency of power of the pulling directly, power of the resistance to motion and spare of power of the pulling from height of the snow cover.

Для оценки проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью используются различные показатели, основные из которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии проходимости

Расчетная зависимость	Принятые обозначения	Автор
1	2	3
$K_{\text{сц}} \varphi > f_r + (1 + K_{\text{сц}}) f_m + f_k + f_{\sigma} + \text{tg} \alpha$	$K_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепного веса; φ – коэффициент сцепления; α – угол подъема; $f_r f_m$ – коэффициент сопротивления грунта, шины качению колеса; f_{σ} – коэффициент бульдозерного сопротивления; f_k – коэффициент сопротивления движению	Я.С. Агейкин
$\begin{aligned} \Pi &= \varphi - f; \\ \lambda_c &= V / V_p; \\ \lambda_T &= G_{\text{ГР}} / G_{\text{ГРР}}; \\ \lambda_{\text{Э}} &= Q / Q_p; \\ \lambda_p &= N / N_p \end{aligned}$	Π – показатель проходимости; $\lambda_{\text{с,т,э,р}}$ – коэффициенты скорости, грузоподъемности, экономичности, работоспособности; V – скорость движения машины V_p – расчетная скорость движения машины по дорогам с усовершенствованным покрытием	В.Ф. Бабков
$k_{\text{погр}} = h_k / H$	h_k – глубина колеи $k_{\text{погр}}$ – коэффициент погружения H – глубина болота, снега	Ю.Н. Вараксин, В.Г. Гмошинский

Продолжение таблицы 1

$\Pi = (1 - \sigma) / \psi ;$ $\psi = f_{\sigma} / f_{rp}$	σ – коэффициент буксования; f_{σ} , f_{rp} – коэффициенты сопротивления движению по бетону и грунту	А.П. Софьян
$\alpha = p_{\max} / p$	p_{\max} – максимальное давление ; p – среднее давление	В.Г. Гмошинский
$I = P_k / G$ $E = P_k V_0 / N$ $M = W_p V / N$	I ; E ; M – коэффициенты удельной силы тяги, тягового к.п.д, грузоподъемности; G – вес машины; V_0 – скорость машины N – мощность ДВС W_p – полезная нагрузка V – скорость движения	В. Диксон
$\Pi = (M_{\varphi} - M_f) / M_{\varphi}$	M_f – момент сцепления колес с дорогой M_{φ} – момент сопротивления движению	В.И. Кнороз Ю.Э. Шарикян
$\Pi = 1 - f / \varphi$	f – коэффициент сопротивления дороги φ – коэффициент сцепления	И.В. Крагельский
$H = \sqrt{\frac{h_1 P / C + (h_1 - \kappa)^3 P_2 \varepsilon}{G \cos \alpha}}$	H – максимальная толщина снежного покрова, который может преодолеть машина; h_1 – величина погружения гусениц в снег; P_1 – площадь гусениц; P_2 – площадь днища машин; κ – клиренс; C ; ε – коэффициенты; G – вес машины; α – угол наклона пути к горизонту	А.А. Крживицкий
$K_{np} = \varphi_{K_{\max}} / \varphi_{K_{\max \text{Э}}}$	$\varphi_{K_{\max}}$ – коэффициент испытуемого автомобиля; $\varphi_{K_{\max \text{Э}}}$ – коэффициент эталонного автомобиля	В.Ф. Платонов М.П. Чистов А.И. Аксенов
Гусеница на опорных катках с пневматическими шинами: $MMP = 0,5W / 2n_t b \sqrt{D \delta_t}$	W – вес машины; n_t – число катков по борту; b – ширина гусеницы; D – диаметр катка; t – шаг гусеницы;	Д. Роланд
Гусеница с жесткими опорными катками $MMP = 12,6W / 2n_t A_t b \sqrt{Dt}$	δ_t – радиальная деформация пневматической шины под нагрузкой; A_t – площадь трака	
$\kappa \geq h_{\text{кол}}$	κ – клиренс $h_{\text{кол}}$ – глубина колеи	С.В. Рукавишников

Окончание таблицы 1

$K_{\text{н}} = p_{\text{max}} / p_{\text{cp}}$	$K_{\text{н}}$ – коэффициент неравномерности распределения давления;	В.А. Скотников
$p_{\text{нес}} = A_0 + B_0 \Pi / S$	$p_{\text{нес}}$ – несущая способность гусениц; Π – периметр и площадь гусениц $A_0 ; B_0$ – коэффициенты, характеризующие прочность торфяной залежи;	
$T = L / V$	L – длина преодолеваемого участка; V – средняя скорость движения	А.Е. Тетеркин
$m = q / p$ $n = H / h$ $S = T_{\text{ц}} / W$	m – показатель проходимости; q – несущая способность постели; p – наибольшее нормальное напряжение; n – показатель погружаемости; H – дорожный просвет; h – глубина погружения; S – показатель сцепляемости; $T_{\text{ц}}$ – предельное сцепление с грунтом; W – сопротивление движению	С.И. Яржемский

Указанные показатели по своему физическому смыслу характеризуют: запас удельных сил тяги, неравномерность распределения давления, использования несущей способности грунта и погружение машины.

Использование запаса удельной силы тяги в качестве показателя проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью, в общем, отвечает физической картине взаимодействия системы «местность—машина». Однако этот показатель весьма статичен, удобен только для сравнения проходимости нескольких машин в одинаковых условиях, кроме того, предполагает экспериментальное определение коэффициентов сцепления и сопротивления движению.

Неравномерность распределения давления и максимальное значение давления двигателя на грунт являются очень важными параметрами, которые во многом определяют образование колеи, сопротивление движению и проходимость машины. В то же время использование их в качестве показателя проходимости очень неудобно. Во-первых, они не обладают наглядностью и не дают прямой оценки проходимости, т.е. из информации о величине α или p_{max} , например $\alpha=2,3$ или $p_{\text{max}} = 150 \dots 200$ КПа, совершенно не ясно, проходит ли машина данный участок или нет. Во-вторых, из $\alpha_1 = \alpha_2$, или $p_{\text{max1}} = p_{\text{max2}}$ совсем не следует, что проходимость первой и второй машин одинакова, также и из $\alpha_1 < \alpha_2$ или $p_{\text{max1}} < p_{\text{max2}}$ далеко не всегда следует, что проходимость первой машины выше, чем второй.

Погружение машины является наиболее заметным внешним признаком при движении по снежной целине, поэтому оно часто использовалось в качестве оценочного параметра проходимости машин. При этом в качестве условия потери проходимости применялось неравенство [1, 2]

$$h_{\text{кол}} \leq k, \tag{1}$$

где $h_{\text{кол}}$ — глубина колеи; k — дорожный просвет.

Однако если снежное полотно пути имеет небольшую плотность, а движитель — высокие сцепные качества, то нарушение условия (1) не приведет к потере проходимости машины. На практике этот случай, по нашим наблюдениям, встречается достаточно часто. При этом машина деформирует снежный покров днищем, соответственно увеличивается сопротивление движению, но реакция снега, реализуемая в контакте движителя с полотном пути, достаточна для преодоления этого сопротивления. Поэтому условие (1) является заниженным при оценке проходимости машин по снегу.

В целом проведенный анализ критериев проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью показал, что, определяя проходимость машин по снегу, для ее оценки стремились использовать какой-то простейший коэффициент или группу коэффициентов, которые не обладают наглядностью и либо не дают прямой оценки проходимости, либо дают заниженную оценку. При этом часто остается в стороне вопрос теоретического определения этих коэффициентов, что, в свою очередь, не позволяет, с одной стороны, расчетным путем оценить проходимость существующих и проектируемых машин, с другой, — наметить пути повышения их проходимости.

Наиболее рациональным критерием оценки проходимости наземных транспортных средств по снегу является, на наш взгляд, критерий, предложенный Л.В. Барахтановым. Проходимость машин по снегу предлагается оценивать непосредственно по зависимостям силы тяги P_T (по сцеплению), силы сопротивления P_f и запаса силы тяги ΔP от высоты снежного покрова (рис. 1), причем графики целесообразно строить и в области отрицательных значений запаса силы тяги, что позволит в первом приближении определить, в какой степени надо изменить силу тяги и силу сопротивления движению, чтобы обеспечить проходимость машины в данных условиях.

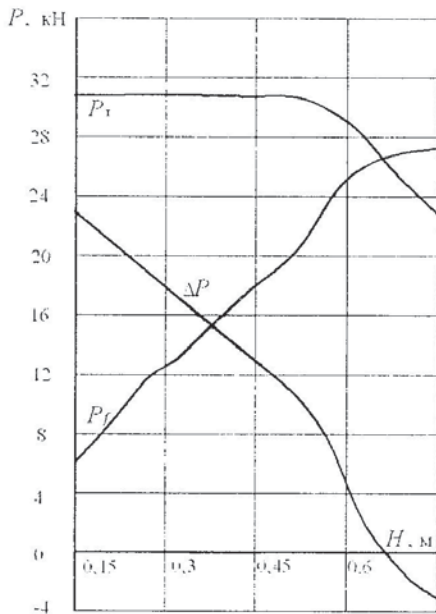


Рис. 1. Зависимости силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

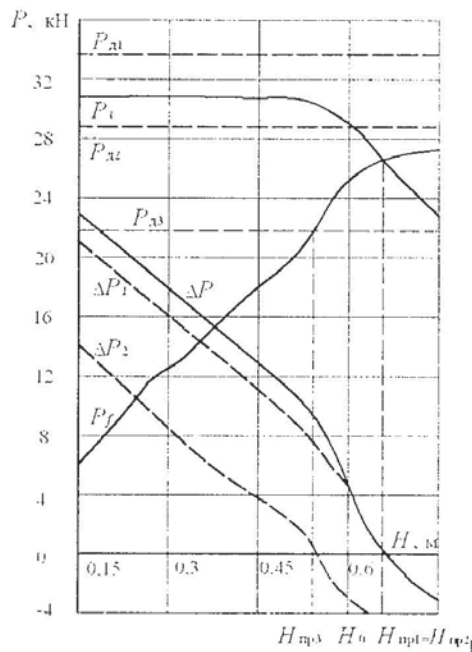


Рис. 2. Зависимости сил тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

Условием проходимости машины является наличие запаса силы тяги ($\Delta P > 0$), а показателем проходимости — преодолеваемая высота данного снежного покрова $H_{\text{спр}}$. Предлагаемая оценка проходимости позволяет прогнозировать проходимость различных машин, проводить сравнение, оценивать проходимость машины при проектировании новых и модернизации существующих конструкций, определять

влияние параметров машины на проходимость и пути ее повышения. Вместе с тем авторы при выборе критерия априори полагают, что сила тяги, которая может быть реализована в контакте со снежным полотном пути, меньше силы тяги, обеспечиваемой двигателем, т.е. полное буксование движителя наступит раньше, чем двигатель заглохнет. Анализ тягово-динамических характеристик машин показывает, что это утверждение не всегда верно. Поэтому предлагается модернизировать данный критерий.

Известно, что потеря проходимости при движении машин по снегу может происходить по следующим причинам: сопротивление движению больше, чем сила тяги по двигателю P_d (проходимость по двигателю); сопротивление движению машины больше, чем сила тяги, реализуемая в контакте движителя со снежным полотном пути (проходимость по сцеплению). При этом возможны три варианта (рис. 2):

- 1) $P_d \geq P_T$, для любых H ; расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению;
- 2) $P_d < P_T$; $H < H_0$; расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю;
- 3) $P_d \geq P_T$; $H \geq H_0$; расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению;

3) $P_d < P_T$, для любых H ; расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю.

Тогда можно совместно рассмотреть зависимость запаса силы тяги ΔP от высоты снега и тяговую характеристику машины $P_d = f(V)$ и построить поверхность проходимости в зависимости от высоты снега H и скорости движения машины V (рис. 3). Совместное рассмотрение указанных закономерностей дает возможность рассчитывать подвижность машины, т.е. определять скорости движения в зависимости от высоты снега (рис. 4).

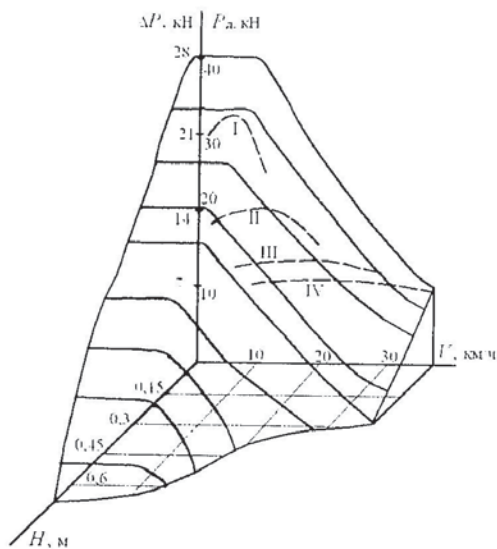


Рис. 3. Зависимость запаса силы тяги от высоты снега

Вывод

Предложен критерий, позволяющий оценить проходимость машины с учетом физико-механических свойств снега и конструктивных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К р ж и в и ц к и й А. А. Снегоходные машины. — М.: Машгиз, 1949. — 236 с.
2. Р у к а в и ш н и к о в С. В. Особенности взаимодействия гусеничного движителя снегоходных машин с полотном пути. — Горький: МВ и ССО РСФСР ГПИ, 1979. — 94 с.

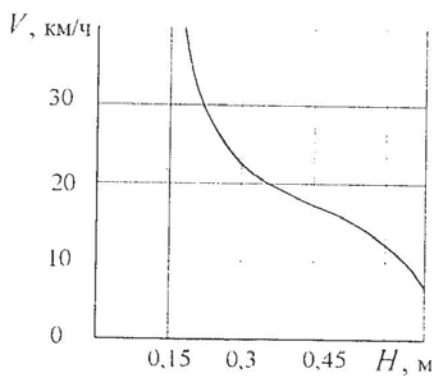


Рис. 4. Зависимость скорости движения от высоты снега