

Магерамов Л. К., Кохановский Н. В., Сиротенко А. Н., Янчик А. Г.

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОХОДИМОСТИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН И ЕЕ ЧАСТНЫЕ КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Введение. Повышение технического уровня современных гусеничных машин (ГМ), их экономических и эксплуатационных качеств является важной народнохозяйственной задачей, стоящей перед научным и производственным комплексом страны. Одним из важнейших эксплуатационных качеств для широкого класса ГМ разного функционального назначения является их подвижность и, в частности, один из ее показателей – проходимость, характеризующий способность движения ГМ в сложных дорожно-грунтовых условиях. Высокие требования технического, экономического и эксплуатационного характера, предъявляемые к вновь разрабатываемым и модернизируемым ГМ, требуют применения методов многокритериального оптимального проектирования. Последние предполагают наличие ясных и четко сформированных характеристических показателей и частных критериев качества улучшаемых свойств ГМ.

Анализ последних достижений и публикаций. В связи со сложностью описания механики взаимодействия гусеничного движителя с грунтом, большим разнообразием и непостоянством физико-механических свойств грунтовой поверхности в используемых методиках расчета и оценки опорной проходимости принято целый ряд допущений, погрешность от принятия которых для некоторых типов грунтов является недопустимой. В связи с этим, преимущественно используют эмпирические показатели, полученные по результатам специально поставленных экспериментов. Для моделирования дорожно-грунтовых условий используют статистически установленную корреляционную взаимосвязь между качественными признаками дорог и количественными значениями коэффициента сопротивления движению f_c и коэффициента сцепления φ для данного класса транспортного средства, то есть, для данного соотношения параметров гусеничного движителя. Оценку соответствия опорно-временных и тягово-сцепных возможностей гусеничного движителя прочностным характеристикам грунта (его несущей способности), производят с помощью некоторых обобщенных показателей. В мировой практике находит широкое распространение использование для оценки проходимости транспортных средств индексов подвижности. В качестве обобщенной характеристики прочности грунта используется показатель RCI (Rating Cone Index), являющийся приведенной статистической характеристикой прочности грунта [1]. В качестве обобщенного показателя проходимости транспортного средства используется показатель VCI (Vehicle Cone Index). Последний рассчитывается по укрупненным регрессионным зависимостям в зависимости от конструктивных параметров транспортной машины, типа двигателя, моторной установки, трансмиссии и т. д. Показатель VCI показывает, каким должно быть минимальное значение показателя грунта RCI, чтобы машина могла двигаться по горизонтальному участку без застревания.

В качестве экспертной оценки проходимости военных гусеничных машин используется показатель проходимости $K_{пр}$, определяемый по квалитметрической зависимости с помощью условных относительных коэффициентов в виде:

$$K_{np} = \frac{1}{\kappa} \left(\frac{q_{\varepsilon}}{q_o} + \frac{N_{yo}}{N_{yo}} + \frac{T_{no}}{T_{nz}} + \frac{K_{lo}}{K_{lz}} + \frac{\alpha_o}{\alpha_{\varepsilon}} + \frac{\varphi_{co}}{\varphi_{c\varepsilon}} \right), \quad (1)$$

где q - среднее удельное давление, оказываемое на грунт гусеничным двигателем; N_y - удельная, отнесенная к весу машины, мощность двигателя; T_n - выраженная в бальной оценке плавность приложения тяговых сил; φ_c - выраженный в бальной оценке параметр сцепных свойств, характеризующий сцепные свойства гусеницы и очищаемость траков; K_d - величина клиренса, характеризующая возможности прохождения по глубокой колее без существенной потери сцепного веса; α - угол наклона нижнего лобового листа, характеризующий возможности движения машины по глубокой колее без излишнего бульдозерного эффекта; индекс o - соответствует оцениваемому образцу ГМ; индекс ε - эталонному.

Оценка проходимости с помощью индексов подвижности, полученных по эмпирическим зависимостям, может быть применена при эксплуатации групп однотипных ГМ на определенных грунтовых условиях. Так показатель K_{np} используется в качестве сравнительной оценки технических возможностей машины и ее приспособленности для движения по бездорожью по отношению к эталонному образцу. Достоверность и приемлемость такой оценки может быть лишь в том случае, если обобщенный показатель проходимости (индекс подвижности) охватывает все существенно влияющие на опорную проходимость факторы. Приведенные выше показатели не позволяют в должной мере учитывать влияние на проходимость количественных значений параметров и особенностей конструкции конкретной транспортной машины. По этой причине они не могут быть продуктивно использованы при проектировании вновь разрабатываемых конструкций ГМ или модернизации имеющихся. Так в выражении (1) в качестве одного из основных оценочных параметров используется среднее удельное давление q . Однако этот показатель отражает воздействие двигателя на грунт лишь приближенно. Он не отражает реальную эпюру удельных давлений, оказываемых на грунт гусеничным двигателем. Необходимо вместо него (или совместно с ним) использовать такой параметр, как среднее максимальное удельное давление q_{cmax} , который мог бы с достаточной точностью учитывать неравномерность распределения удельных давлений вдоль опорной ветви гусеничного двигателя и отражать в полной мере основные конструктивные особенности последнего.

Цель и постановка задачи. Целью исследований является уточнение основных показателей опорной проходимости и формирование критериев тягово-сцепных качеств, предъявляемых к гусеничным двигателям ГМ разного функционального назначения.

Уточнения оценочных показателей опорной проходимости и критериев тягово-сцепных качеств ГМ. В качестве основного критерия для оценки проходимости ГМ в [2] предложено использовать среднее максимальное удельное давление q_{cmax} , записанный в виде:

$$q_{c\max} = kG / \left(2nb \sqrt{Dl_{mp}} \right), \quad (2)$$

где k - коэффициент, зависящий от расстояния между опорными катками; G - вес машины; n - число опорных катков; b - ширина гусеницы; D - диаметр опорного катка; l_{mp} - шаг трака

Недостатком показателя проходимости (2) является то, что он не отражает влияние на снижение $q_{c\max}$ действующего в опорной ветви натяжения k , приведенных изгибной жесткости K_{np} и продольной жесткости K_n «не активных» участков опорной ветви, находящихся между опорными катками и непосредственно не контактирующих с ними. Очевидно, что влияние указанных параметров сказывается в сглаживании эпюры удельных давлений. Последнее является результатом восприятия части веса машины «не активными» участками опорной ветви при возникновении прогиба опорной ветви внутрь обвода и сопротивляемости гусеничной ветви этому прогибу. Экспериментальные исследования показывают, что сглаживание эпюры нормальных давлений оказывается тем больше, чем выше продольная и изгибная жесткости гусеницы, а также значения действующих на опорных участках гусеничной ветви растягивающих сил.

Составляющие натяжения P_o , действующие на i -ом участке опорной ветви гусеничного обвода, можно представить в виде следующей суммы:

$$T_i = T_{cv} + \sum_{j=1}^i \Delta T_{aj} + \sum_{j=1}^{i-1} \Delta T_{naj} + T_{zi}, \quad i = 1, \dots, n$$

где T_{cv} - статическое натяжение, соответствующее данной скорости движения; ΔT_{aj} - приращение тягового усилия на j -ой «активной» ветви (под j -ым опорным катком), предшествующей рассматриваемой; ΔT_{naj} - приращение тягового усилия на j -ой «не активной» ветви; $P_{ци}$ - «цепное» усилие, сопротивляющееся изменению длины ветви и возникающее вследствие прогиба i -ой участка опорной ветви внутрь обвода.

Возникающее при прогибе ветви «цепное» усилие выражается через параметры ветви в виде:

$$T_{zi} = \frac{EF}{2l} \int_0^l \left(\frac{\partial y(x)}{\partial x} \right)^2 dx, \quad (3)$$

где EF - приведенная продольная жесткость гусеницы; l - расстояние между соседними опорными катками; $y(x)$ - форма прогиба «не активной» части опорной ветви внутрь обвода.

Как видно из выражения (3), сопротивляемости опорного участка гусеницы прогибу внутрь обвода способствует увеличение продольной жесткости гусеницы и уменьшение расстояния между опорными катками. Сглаживание эпюры удельных давлений происходит также с увеличением изгибной жесткости гусеницы и при задании резинометаллическим шарнирам (РМШ) предварительной закрутки, увеличивающей распределенную вдоль опорной ветви моментную нагрузку. Это также увеличивает

сопротивляемость прогибу гусеничной ветви внутрь обвода. Форму прогиба ветви $y(x)$ с приемлемой погрешностью можно представить в виде полуволны синусоиды в виде:

$$y(x) = A \sin \frac{\pi x}{l},$$

где амплитуда A зависит, очевидно, не только от сопротивляемости опорной ветви прогибу, но и от жесткостных показателей обратимой упругой деформации грунта.

С учетом приведенного выше, предлагается в качестве основного показателя опорно-временных свойств гусеничного движителя использовать среднее максимальное удельное давление, представленное в виде:

$$q_{c \max} = k_1 k_2 G / (2nb \sqrt{Dl_{mp}}) \quad (4)$$

В выражении (4) k_1 представляет собой коэффициент, зависящий от расстояния между опорными катками; k_2 - коэффициент, характеризующий сопротивляемость прогибу внутрь обвода "не активного" участка опорной ветви, зависящий от жесткостных и силовых параметров гусеничного обвода, а также от жесткостных показателей обратимой упругой деформации грунта. Наличие этой связи дает возможность использовать показатель $q_{c \max}$, представленный в виде (4), в качестве оценочного показателя опорной проходимости ГМ на разных типах грунтов.

Для уточненных расчетов проходимости ГМ и, в частности, при решении задач параметрической оптимизации ходовой части ГМ необходимо применение эмпирико-аналитических методов определения показателей проходимости с использованием математического моделирования процессов взаимодействия движителя с грунтом, отражающем все основные существенно влияющие факторы в сложной системе «машина-среда».

Известно, что движение ГМ будет возможным в случае, если удельная сила тяги по двигателю f_d и реализуемая гусеничным движителем удельная сила тяги по сцеплению φ достаточны для преодоления удельной силы сопротивления движению f_c , то есть, должно выполняться соотношение:

$$f_d \geq f_c \leq \varphi. \quad (5)$$

Удельная сила тяги по двигателю (динамический фактор) f_d сама по себе не является измерителем проходимости. Она является лишь показателем потенциальных энергетических возможностей силовой установки и технического уровня трансмиссии и гусеничного движителя. Этот показатель определяется расчетным путем через свободную мощность двигателя $N_{св}$ и коэффициенты полезного действия (КПД) трансмиссии η_{mp} и гусеничного движителя η_{2d} , по формуле:

$$f_{\partial} = \frac{N_{ce} \eta_{mp} \eta_{zd}}{GV}, \quad (6)$$

где G - сила тяжести ГМ; V - скорость движения.

Построенная для разных скоростей движения зависимость $f_{\partial}(V)$ - представляет собой тягово-скоростную характеристику ГМ, которая по РТМ 37.001.039-77 определена в качестве основного показателя опорной проходимости [1]. Следует отметить, что зависимость $f_{\partial}(V)$ является одним из важных, но вовсе не основным показателем и тем более не может являться измерителем проходимости. Это следует из того, что результат движения ГМ является следствием взаимодействия гусеничного движителя с грунтовой поверхностью. И сила, толкающая ГМ, лишь обеспечивается двигателем ГМ, но реализуется за счет сцепления гусеничного движителя с грунтом. Как показывает практика эксплуатации ГМ, в преобладающем большинстве случаев гусеничная машина теряет подвижность за счет недостаточной для движения силы тяги по сцеплению даже при наличии большого запаса силы тяги по двигателю. Результат взаимодействия гусеничного движителя с грунтом определяет соотношение показателей f_c и φ , которые для данного транспортного средства характеризуют его приспособленность к движению в конкретных дорожно-грунтовых условиях. Эти показатели зависят, прежде всего, от физико-механических характеристик грунта, а также от опорно-временных и тягово-сцепных свойств гусеничного движителя.

Установление связи между показателями f_c и φ для разных типов грунтов с параметрами гусеничного движителя является основной задачей всех теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение проходимости транспортных средств. Решение этой задачи позволит уже на стадии проектирования количественно оценить опорную проходимость разрабатываемой конструкции и по заданным требованиям на показатели проходимости ГМ выбрать рациональное (оптимальное) соотношение параметров гусеничного движителя.

Очевидно, что количественный показатель проходимости ГМ должен отражать соотношение движущих сил, обеспечивающихся силовой установкой и реализующихся движителем ГМ, и сил сопротивления движению машины. В соответствии с условием (5), количественные показатели и измерители опорной проходимости ГМ могут быть представлены в виде:

$$P_{\partial} = f_{\partial} - f_c \geq 0; \quad (7)$$

$$P_{c\psi} = \varphi - f_c \geq 0, \quad (8)$$

где показатель P_{∂} - определяет запас силы тяги по двигателю, а показатель $P_{c\psi}$ - определяет запас силы тяги по сцеплению.

Из выражений (7) и (8) следует, что для улучшения опорной проходимости необходимо стремиться увеличить запас силы тяги по двигателю P_{∂} и запас силы тяги

по сцеплению k_1 . Это достигается в первом случае – за счет увеличения свободной мощности двигателя, повышения КПД трансмиссии и гусеничного движителя, а также за счет уменьшения коэффициента сопротивления движению; во втором случае – за счет улучшения сцепных свойств гусеничного движителя с грунтовой поверхностью.

В выражении (8) под показателем φ подразумевают максимальную удельную силу тяги по сцеплению, полученную при полном буксовании гусеницы. При установившемся равномерном прямолинейном движении неравенство (5) превращается в равенство:

$$f_{\delta}(V) = f_c(V, \delta) = \varphi(V, \delta), \quad (9)$$

которое выполняется при достижении такой скорости движения V , при которой обеспечиваемая двигателем и реализуемая гусеничным движителем удельная сила тяги по сцеплению становится равной удельной силе сопротивления движению при значении коэффициента буксования, равном δ . Поскольку коэффициент буксования определяет уменьшение фактической скорости движения ГМ

$$V_{\phi} = (1 - \delta)V$$

и потери мощности на буксование, то коэффициент буксования может рассматриваться не только как один из показателей опорной проходимости ГМ, но и как параметр, характеризующий экономические показатели ГМ. Можно показать, что КПД шасси ГМ, работающей без нагрузки на крюке, можно представить в виде:

$$\eta_{ш} = \frac{f_c(1 - \delta)}{f_c(1 + k_p) + k_v},$$

где $\mu(x)$ - коэффициент нагрузочных потерь; k_v - коэффициент скоростных потерь.

Наряду с показателями P_{δ} и $P_{сц}$ коэффициент буксования δ также может рассматриваться как один из частных критериев качества тягово-сцепных свойств гусеничного движителя.

При выборе критериев оценки проходимости ГМ следует исходить из ее функционального назначения. При этом выбранные критерии должны отвечать требованиям представительности (то есть, напрямую отображать основную цель задачи), а также быть достаточно чувствительными к варьируемым параметрам.

Для гусеничных машин, работающих на грунтах с низкой несущей способностью и для которых приоритетным являются не скоростные возможности, а обеспечение проходимости в трудных дорожных условиях, в качестве основного критерия выбора параметров ходовой части целесообразно использовать коэффициент сцепления.

Для ГМ, используемых в широком диапазоне дорожно-грунтовых условий, кроме повышения тягово-скоростных возможностей на всем разнообразии грунтовых условий, может ставиться задача повышения экономических показателей при соблюдении должного уровня эргономических норм и экологических требований сохранения окружающей среды (неповреждаемость искусственного покрытия; сохранения расти-

тельного покрову і плідородія ґрунту і т.д.). Останнє накладає обмеження на область варіювання допустимих значень коефіцієнта буксування.

В цьому випадку як частині критеріїв якості можуть бути прийняті показники (7) і (8), КПД гусеничного двигача (або КПД шасі), при обмеженнях накладаваних на значення коефіцієнта буксування. В деяких випадках накладаються обмеження на коефіцієнт сцеплення, так як прагнення збільшення коефіцієнта сцеплення сверх раціонального рівня (наприклад, за рахунок збільшення розвитку ґрунтозацепів) може призвести до негативних ефектів. До останніх можна віднести збільшення опору руху, підвищення віброактивності ходової частини на твердих ґрунтах, погіршення самоочищуваності гусениці і т. д. Тому для швидкохідних ГМ є неоправданим прагнення максимізувати сцепні властивості гусеничного двигача. На наш погляд, в цьому випадку завдання повинно сформулюватися в плані забезпечення в заданих умовах руху реалізації достаточної для руху сили тяги по сцепленню при допустимому значенні коефіцієнта буксування.

Висновки. 1. Показатель опорно-часових властивостей гусеничного двигача $q_{стах}$ запропоновано в формі, що дозволяє використовувати його також як критерій проходимості ГМ.

2. Сформульовано основні показники і критерії якості опорної проходимості, які цілеспрямовано застосовувати при проектуванні ГМ різного функціонального призначення.

Список літератури

1. Итоги науки и техники. Серия Автомобилестроение. Том 5.-М.: 1991 г. –147с.
2. Вонг, Джо Янг. Теория наземних транспортних засобів. –М.: Машиностроение, 1982. –284с.
3. Беккер М.Г. Введение в теорию системы местность-машина. –М.: Машиностроение, 1973. –520с.

УДК 629.1.032.1

Магерамов Л. К., Кохановський М. В., Сиротенко А. М., Янчик О.Г.

ОЦІНОЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОХІДНОСТІ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН ТА ІІ ЧАСТКОВІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ

Зроблено критичний аналіз існуючих методик оцінки опорної проходимості гусеничних машин. Сформульовані основні показники та критерії якості опорної проходимості, які доцільно використовувати при проектуванні гусеничних машин різного функціонального призначення.