

УДК 629.113.004

С.А. Соколовский<sup>1</sup>, В.Б. Коханенко<sup>2</sup>, А.М. Яковлев<sup>2</sup><sup>1</sup>Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков<sup>2</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

## ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ДО МЕСТА ЛИКВИДАЦИИ АВТОМОБИЛЯМИ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ С ПРИЦЕПАМИ

В статье рассматриваются зависимости профильной и опорной проходимости автомобиля от видов грунтов, сопротивления движению и тяговой реакции. Авторами даются практические советы по преодолению различных участков бездорожья.

**Ключевые слова:** параметры шин, конструктивные характеристики, деформируемые грунты, опорная и профильная проходимость, тяговая реакция.

### Введение

При ликвидации обнаруженных опасных предметов возникает проблема их транспортирования от места нахождения до полигона с целью уничтожения. При этом часть пути приходится преодолевать по пересеченной местности в условиях заснеженного, размокшего или сыпучего грунта, на прохождение которого приходится применять автомобили повышенной проходимости часто с одноосными или двухосными прицепами. Движение такого автомобиля или автопоезда с опасным грузом не должно осложниться буксованием или заносом автомобиля. Поэтому, предварительно, перед началом транспортирования следует наметить маршрут и оценить сцепные свойства грунтов, после чего назначить рекомендуемые скорости транспортирования и давление воздуха в шинах, которое обеспечит безостановочное движение на труднопроходимых участках.

Основой для составления рекомендаций являются свойства автомобильных шин, характеризующие их жесткость в зависимости от давления в шине и их деформируемость при контакте с различными грунтами.

**Анализ публикаций.** Знание основ механики взаимодействия колес с различными видами грунтов [1] позволяет полнее использовать основные процессы, происходящие при взаимодействии пневматической шины полноприводных автомобилей и прицепов для движения по бездорожью и слабым грунтам. При этом необходимо знать зависимость влияния давления воздуха в шинах на сопротивление движению и силу тяги у автомобилей высокой проходимости при транспортировании грузов на различных грунтах с использованием широко известных моделей автомобилей высокой проходимости ЗИЛ-157, ЗИЛ-131, ГАЗ-66, Урал-375, КамАЗ 43101 [1].

Применение односкатных шин большого профиля с регулируемым внутренним давлением позволило на слабых грунтах и бездорожье существенно

понижать внутреннее давление в них и доводить его до состояния, при котором шины работают со значительной деформацией. В результате площадь контакта колес с грунтом увеличивается в несколько раз [2]. Соответственно снижается удельное давление колес на грунт, уменьшается глубина колеи и сопротивление движению. При качении колеса на деформированной шине улучшается характер уплотнения грунта в колее и сцепление колес с грунтом, что явилось решающим элементом в улучшении тяговых показателей и проходимости автомобиля вследствие уменьшения сопротивления движению и улучшению сцепных качеств колес.

Установлено, что основой для составления рекомендаций для следования автомобиля по бездорожью являются свойства автомобильных шин, характеризующие их жесткость в зависимости от давления в шине и их деформируемость при контакте с различными грунтами [3].

**Выделение неразрешенных ранее частей проблемы.** На сегодняшний день проработку маршрута следования не выполняют. В большинстве случаев определяют лишь направление следования автомобиля с опасным грузом и согласовывают его с Госавтоинспекцией. Встречающие препятствия на пути следования носят случайный характер и их преодоление осуществлялось по мере появления. Это, безусловно, увеличивает время транспортирования опасного груза и требует от водителей больших навыков в преодолении встречаемых участков бездорожья. Иногда незнание фактора опасности приводило к застреванию автомобиля с прицепом в труднопроходимом месте, что недопустимо для транспортирования такого рода груза.

**Формулировка целей статьи и постановка задачи.** Необходимо рассмотреть влияние конструктивных характеристик на проходимость как самих автомобилей, так и их шин. Также необходимо исследовать влияние различных грунтов, в зависимости от их состояния, на величину проходимости автомобилей.

Следует рассмотреть следующие виды проходимости автомобилей: профильную проходимость и опорную проходимость.

### Изложение основного материала

Способность автомобиля двигаться по неровной поверхности, какой обычно бывает бездорожье, принято называть профильной проходимостью. На проходимость автомобиля большое влияние оказывают его геометрические параметры (рис. 1), к которым относятся: угол въезда  $\alpha_1$  и угол съезда  $\alpha_2$ . Эти углы определяют возможность преодоления крутых бугров, канав и ям. У автомобилей высокой проходимости они обычно бывают не менее  $30^\circ$ . Величины этих углов не зависят от схемы шасси (от количества осей) и могут быть как одинаковыми, так и несколько отличаться.

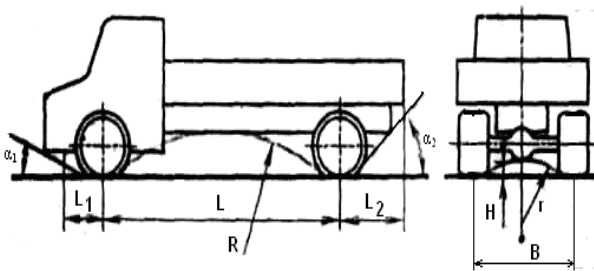


Рис. 1. Параметры, влияющие на проходимость автомобиля

Другим параметром, определяющим проходимость по неровной местности, является величина дорожного просвета  $H$ . От этой величины существенно зависит способность автомобиля двигаться по дорогам с глубокими колеями, по глубокому снегу и мягким грунтам. Этот параметр, как и предыдущие, также не зависит от схемы шасси.

С величиной дорожного просвета тесно связан радиус поперечной проходимости  $r$ . Величина его тем меньше, чем больше дорожный просвет. Он зависит также от величины колеи – чем больше колея  $B$ , тем больше радиус  $r$ .

Но величина колеи колеблется в сравнительно небольших пределах, так как она определяется шириной автомобиля. Автомобили, имеющие меньший радиус  $r$ , имеют лучшую профильную проходимость при движении вдоль кюветов, бугров и других продольных неровностей.

Схема шасси (количество осей) влияет на радиус продольной проходимости  $R$ . Чем больше осей у автомобиля, тем он меньше и тем более крутые неровности может преодолевать автомобиль. Наименьшим радиусом продольной проходимости обычно располагают четырехосные автомобили, так как у них наименьшее расстояние между средними осями. Эти автомобили могут преодолевать острые холмы, крутые овраги, гребни песчаных барханов и даже лесные завалы.

Различна способность автомобилей преодолевать глубокие канавы. Так, при ширине канавы более  $0,8 - 0,9$  диаметра колеса, двух- и трехосные автомобили не смогут ее преодолеть. Четырехосные же автомобили преодолевают такие препятствия и даже большие без затруднений. Профильная проходимость и величина дорожного просвета в значительной степени определяются диаметром колеса. Чем больше диаметр колеса, тем большие неровности – канавы, бугры, уступы может преодолеть автомобиль.

Возможности движения по бездорожью колесных автомобилей высокой проходимости, в первую очередь, определяется состоянием опорной поверхности (грунт, песок или снег) и характером взаимодействия колес с этой поверхностью [2]. При движении автомобиля его ведущие колеса оказывают на опорную поверхность не только вертикальную нагрузку, но и сдвигающее усилие. Способность опорной поверхности (грунта, песка и др.) противодействовать сдвигу называется сопротивлением сдвига или тяговой реакцией грунта. От соотношения величины этой реакции и величины сопротивления движению зависит способность автомобиля двигаться в данных условиях.

Если величина тяговой реакции больше сил сопротивления движению, автомобиль движется, если же меньше, то происходит остановка и полное буксование колес. Разница между силой тяги, развиваемой колесами по сцеплению с грунтом (тяговой реакцией грунта) и силой сопротивления движению, является запасом тяги. Чем больше этот запас тяги, тем выше проходимость.

Характер нагрузки, производимой на грунт, различен у неподвижного колеса, буксируемого и ведущего. Если просто опустить колесо на участок слабого, деформируемого грунта и нагрузить его вертикальной силой  $G$ , то нагрузка будет действовать в площадке контакта, стремясь вызвать уплотнение грунта вниз и в стороны. Однако основное направление деформации и уплотнения, влияющее на величину тяговой реакции, вертикальное, как показано на рис. 2.

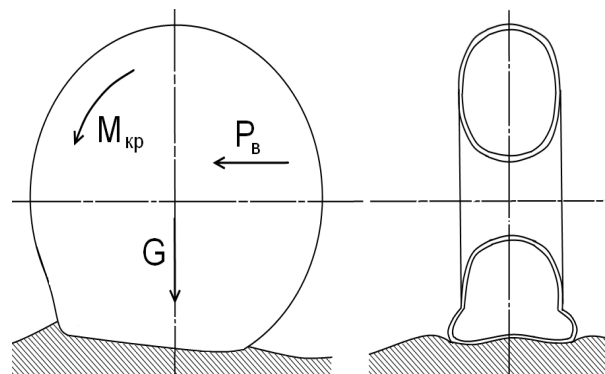


Рис. 2. Взаимодействие шины с грунтом

Если же это колесо начать буксировать или толкать, приложив горизонтальную силу  $R_v$  в центре его вращения, то оно начнет перекаtywаться, деформируя перед собой грунт и оставляя в нем колею. В этом случае на грунт, помимо основной, вертикальной нагрузки, действует нагрузка, связанная со свободным качением колеса. Она вызывает деформацию грунта, как в вертикальном направлении, так и в горизонтальном, так как имеется некоторый сдвиг грунта перед катящимся колесом. Так воздействует на грунт неведущее колесо автомобиля при его движении. Если к колесу приложить крутящий момент  $M_{кр}$ , то к перечисленным двум видам нагрузки, действующим на деформируемый грунт, добавляется тяговая нагрузка, действующая в зоне контакта колеса с грунтом.

Эта нагрузка стремится сдвинуть грунт, находящийся под колесом, в сторону, противоположную движению автомобиля. Именно этой нагрузке противодействует тяговая реакция грунта. Большая часть слабых грунтов не выдерживает нагрузок современных колесных машин, в том числе и автомобилей высокой проходимости. При движении по таким грунтам происходит частичное или полное разрушение его верхнего слоя, пластическая деформация или течение части грунта.

Величина разрушения или деформации грунта, т. е. глубина колеи у ведущего колеса больше, чем у ведомого, даже при одинаковой вертикальной нагрузке, так как перечисленные виды нагрузок, производимых колесом на грунт, определенным образом суммируются.

Если грунт под колесом от действия вертикальной нагрузки не уплотняется, то величина его тяговой реакции существенно снижается. В таких случаях ведущее колесо срезает грунт и углубляется, т. е. буксует. Это явление характерно для накачанной шины, не имеющей зоны плоского контакта с грунтом. Если грунт под действием вертикальной нагрузки уплотняется колесом, что характерно для шин, работающих с низким внутренним давлением, то величина колеи получается меньшей, а тяговая реакция такого уплотненного грунта существенно возрастает.

Величина сопротивления движению зависит не только от глубины погружения колес и других элементов ходовой части автомобиля в грунт, а также от его плотности, липкости, пластичности или рассыпчатости. Глубина погружения колес в грунт зависит, в первую очередь, от соотношения несущей способности грунта (способности грунта воспринимать вертикальную нагрузку) и удельной вертикальной нагрузки под колесами (удельного давления).

Колеса грузовых автомобилей на обычных шинах оказывают, как правило, высокое удельное давление на грунт, а поэтому глубоко погружаются

почти во все слабые грунты. Колеса автомобилей высокой проходимости при понижении давления воздуха в шинах оказывают удельное давление на грунт в 5 – 6 раз меньшее, чем колеса обычных автомобилей, обладают свойством двигаться с небольшим углублением по песку, плотному сырому снегу, сырой луговине, пашне, осушенному болоту и по некоторым другим слабым грунтам.

При малом погружении колес в грунт автомобили высокой проходимости имеют меньшее сопротивление движению. Кроме того, в общей сумме удельных нагрузок, действующих в контакте колеса, доля удельных вертикальных нагрузок у них снижается, а доля допустимых горизонтальных нагрузок возрастает, т. е. возрастает удельная касательная сила. Удельная касательная сила – это величина тяговой силы, действующей на каждый квадратный сантиметр площади контакта колеса с грунтом, которая уравнивается тяговой реакцией грунта.

Величина суммарной тяговой реакции грунта, или тяга, развиваемая колесами автомобиля высокой проходимости, в предельных условиях сцепления определяется для данного грунта величинами площади контакта колес с грунтом, величиной удельной касательной нагрузки, действующей в контакте колес, и интенсивностью пробуксовки колес.

Исследователи, занимающиеся вопросами взаимодействия грунт – автомобиль, делят грунты на три группы: фрикционные (сухой песок, сухой сыпучий снег при низкой температуре), пластичные (сырая глина и подобные ей грунты), смешанные (все остальные). Особенностью чисто фрикционных грунтов является то, что они мало подвержены уплотнению, а тяга, развиваемая на них колесами автомобиля, зависит только от величины трения между свободно перемежающимися друг относительно друга частицами грунта и вертикальной нагрузки на колесо.

Чисто пластичные грунты подвержены уплотнению и характерны тем, что на них тяга, развиваемая колесами, не зависит от вертикальной нагрузки и определяется величиной сил, связывающих частицы грунта между собой, и величиной площади контакта колеса с грунтом. Чем больше площадь контакта, тем больше связей в грунте сопротивляется сдвигу, тем выше тяговая реакция грунта.

Разные виды грунтов при различном их состоянии имеют различную несущую способность и по-разному способны воспринимать нагрузку, производимую колесами автомобиля. Пески, например, в большинстве случаев в сухом состоянии позволяют двигаться по ним с небольшим углублением колес только таких автомобилей, у которых удельное давление на грунт не выше  $1 \text{ кгс/см}^2$ . Практически они легко преодолимы при пониженном давлении воздуха в шинах для всех автомобилей высокой

проходимости. Эти автомобили способны преодолевать песчаные подъемы до 15 – 20°. Плотный сырой песок проходим для обычных автомобилей и даже неполноприводных. Песок-пльвун в некоторых районах может оказаться непроходимым при удельных давлениях порядка 0,5 кгс/см<sup>2</sup>, если на нем сделать даже кратковременную остановку. Снег очень различен по своему состоянию. Очень плотный наносный снег, смерзшийся на всю глубину, может выдерживать обычные автомобили, т.е. удельные давления порядка 3÷5 кгс/см<sup>2</sup>. Если слой плотного наста мал, чтобы выдержать массу автомобиля, а под слоем наста находится сыпучий снег, то условия для движения определяются как общей глубиной снега, так и толщиной и плотностью наста. Автомобили высокой проходимости при пониженном давлении в шинах могут достаточно уверенно двигаться по такому снегу глубиной до 500 мм. Сырой снег хорошо уплотняется колесами при удельном давлении 0,5÷0,8 кгс/см<sup>2</sup> и может быть проходим, например, автомобилями ЗИЛ-157, ЗИЛ-131, Урал-375 при глубине 700÷800 мм, а иногда и более.

Глинистые грунты при изменении их влажности изменяют несущую способность от 5÷10 кгс/см<sup>2</sup> при малом содержании влаги до 0,1÷0,3 кгс/см<sup>2</sup> в текучем состоянии. При малой влажности они проходимы для обычных автомобилей, а в размокшем на значительную глубину состоянии – только для автомобилей высокой проходимости на пониженном давлении воздуха в шинах, в текучем состоянии глинистые грунты проходимы только для гусеничных машин.

### Выводы

Для беспрепятственного транспортирования обнаруженных опасных предметов по труднопроходимым участкам их на пути их следования от места нахождения до полигона с целью уничтожения следует владеть следующими вопросами:

1. Вопросами сцепных свойств грунтов, находящихся на пути следования.

2. Особенности, которым должны удовлетворять тягачи и прицепы для перевозки опасных грузов по труднопроходимым участкам дороги, и которые сводятся к возможности регулирования давления в шинах подвижного состава в соответствии с условиями их движения.

3. Вопросами подготовки подвижного состава, участвующего в перевозке по пересеченной местности. Например, при транспортировании обнаруженных опасных предметов на прицепах следует предусмотреть автономные компрессоры с системой централизованной подкачки давления воздуха в шинах.

4. Составлением опытным путем рекомендаций для подразделений МЧС, осуществляющих транспортирование в сложных условиях, по которым будет производиться подготовка подвижного состава к преодолению труднопроходимых участков.

### Список литературы

1. Чистов М.П. Исследование сопротивления качению при движении полноприводного автомобиля по деформируемым грунтам: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.05.03. «Колесные и гусеничные машины» / М.П. Чистов. – М., 1971. – 20 с.

2. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей / В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов и др.; под ред. В.В. Шитилова. – М.: Изд-во ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006. – 120 с.

3. Селифонов В.В. Теория автомобиля: учебное пособие / В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт», 2009. – 208 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Н. Ларин, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков.

### ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДО МІСЦЯ ЛІКВІДАЦІЇ АВТОМОБІЛЯМИ ВИСОКОЇ ПРОХІДНОСТІ З ПРИЧЕПАМИ

С.А. Соколовський, В.Б. Коханенко, О.М. Яковлев

*В статті розглядаються залежності профільної і опорної прохідності автомобіля від видів ґрунтів, опору руху та тягової реакції. Авторами надаються практичні поради щодо подолання різноманітних ділянок бездоріжжя.*

**Ключові слова:** параметри шин, конструктивні характеристики, ґрунти, що деформуються, опорна й профільна прохідності, тяглова реакція.

### TRANSPORTATION OF DANGEROUS OBJECTS TO ELIMINATE OFF-ROAD CARS WITH TRAILERS

S.A. Sokolovskij, V.B. Kohanenko, A.M. Yakovlev

*This article discusses the subject profile and the supporting terrain vehicle of the type of soil, resistance and traction reaction. The authors provide practical tips to overcome the various sections of roads.*

**Keywords:** tire options, konstruktivne characteristics of collapsible soils, conductance, profile permeability, traction reaction.