

УДК 629.113

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОДОЛЕНИЯ РАЗРУШАЕМОГО РВА МНОГООСНОЙ КОЛЕСНОЙ МАШИНОЙ

Д.А. Галкин, ООО «Военно-промышленная компания» / А.С. Зайцев, ООО «Военно-инженерный центр» / В.С. Макаров, к.т.н. / Д.В. Зезюлин, асп. / В.В. Беляков, д.т.н., проф. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Для развития социально-экономического и оборонно-спасательного комплекса Российской Федерации необходимо на территории нашей страны производить весь спектр транспортно-технологических машин различного назначения. Успех выполнения поставленных задач во многом зависит от правильного и рационального выбора параметров ходовых систем обеспечивающих заданный уровень подвижности транспортных средств.

Одним из важнейших свойств, характеризующих транспортное средство, является подвижность. Подвижность можно определить как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологической машины (ТТМ), определяющее способность ТТМ выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации, и состояние самой машины. Можно выделить потерю подвижности по живучести и мобильности. Живучесть (подвижность по живучести) — это отказная надежность транспортного средства (ТС). Мобильность (подвижность по мобильности) — эксплуатационная надежность ТС. При этом проходимость — это эксплуатационное свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, а также при преодолении различных препятствий. Проходимость машины относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности [5-7].

Одними из показателей геометрической проходимости транспортно-технологических свойств являются следующие: наибольшая высота преодолеваемого уступа (стенки), наибольшая ширина преодолеваемого рва, максимальный угол преодолеваемого подъёма (спуска). Эти параметры определяются на дорогах с хорошим сцеплением. Но на практике интереснее проанализировать возможность движения машин по таким препятствиям — разрушающимся и с различными физико-механическими свойствами. Рассмотрим более подробно математическую модель преодоления разрушаемого рва многоосной машиной с колесной формулой 8x8.

Разработка математических зависимостей позволяет уже на стадии проектирования оценить

возможности профильной проходимости именно для машин с колесной формулой 8x8, в частности, БТР-80 (рис.1), который широко используется для транспортирования личного состава мотострелковых подразделений и огневой поддержки при выполнении специальных операций. Машина разрабатывалась как базовая для создания бронированных машин различного назначения. БТР-80 и сейчас в Российской армии остается высокоэффективной бронированной колесной машиной, способной решать многоплановые задачи. На ее базе создан ряд модификаций: с 30-мм автоматической пушкой, с 120-мм орудием. Это — бронированная ремонтно-эвакуационная машина, командирский бронетранспортер, бронированная разведывательно-дозорная машина, с унифицированным шасси под размещение на нем аппаратуры связи различных звеньев, устройством управления огнем и т.д. БТР-80 послужил базой для создания на основе его узлов и агрегатов гражданской (конверсионной) техники, таких как плавающий грузовик ГАЗ-59037, плавающий автобус ГАЗ-59037А, машины на комбинированном ходу (с возможностью движения по ж/д полотну).

В работе [1] проводится анализ зависимостей для определения максимальной ширины преодолеваемого рва. Но на практике его стенки могут осыпаться, что в свою очередь приведет к увеличению его ширины.

Рассмотрим схему преодоления многоосной машиной рва с учетом его разрушаемости.

Рис. 2 иллюстрирует увеличение ширины рва и процесс обрушения стенок по мере прохода колес многоосной машины.



Рисунок 1. Бронетранспортер БТР-80 (ГАЗ-5903)

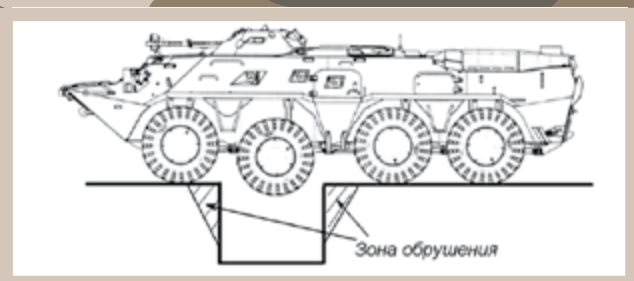


Рисунок 2. Движение многоосной машины через ров

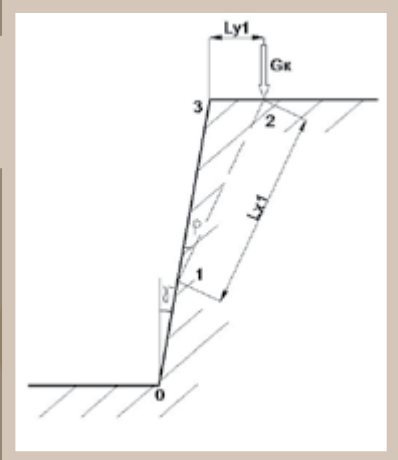


Рисунок 3. Обрушение стенки рва при проходе первого колеса машины

Схема для определения величины обрушения стенки рва при проходе первого колеса показана на рис. 3.

Учитываем, что ров имеет естественный уклон у скоса (на практике так и есть). Когда на краю рва оказывается колесо (сила  $G_k$ ), то под действием этой силы будет происходить обрушение стенки по линии 1-2 ( $L_{x1}$ ). Ширина рва будет увеличиваться на величину 2-3 ( $L_{y1}$ ). Считаем, что срез материала происходит в зависимости от угла внутреннего трения материала.

При проходе второго колеса будет наблюдаться следующая картина (рис. 4). Грунт также будет осыпаться в зависимости от угла внутреннего трения материала, но уже по линии 4-5 ( $L_{y2}$ ). Колея увеличится на 2-4 ( $L_{y2}$ ).

Для третьего и последующих колес увеличение колеи будет происходить аналогичным образом.

Исходя и того, что сила трения в зоне скольжения клина грунта будет определяться из условия [5]:

$$F_{тр} = cA + F \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $c$  и  $\varphi$  — связность и угол внутреннего трения грунта;  $A$  — площадь сдвига;  $F$  — нагрузка, перпендикулярная площадке сдвига. Примем, что  $A = BL_{x1}$ ,  $B$  — ширина колеи (колеса).

В соответствии с зависимостью (1) и моделью обрушения стенки показанных на рис. 2 и 3, уширение рва при каждом проходе колеса будет вычисляться по формуле:

$$L_{r1} = G_{k1} [\cos(\gamma + i\varphi) - \sin(\gamma + i\varphi) \operatorname{tg} \varphi] \times [\sin(\gamma + i\varphi) - \cos(\gamma + i\varphi) \operatorname{tg}(\gamma + (i-1)\varphi)] [cB]^{-1}. \quad (2)$$

При расчетах необходимо учитывать, что только при взаимодействии первого колеса со стенкой рва, машина стоит на всех колесах. При преодолении рва вторым и последующими колесами машина находится на трех парах колес.

Анализ зависимости (2) позволит определить величину уширения рва и показать, на сколько уменьшится его ширина по сравнению со рвом с неразрушаемыми стенками.

В предложенную зависимость входят параметры грунта (связность и угол внутреннего трения грунта), поэтому ширина преодолеваемого рва для разных опорных оснований будет разная.

Для машины с колесной формулой 8x8 с центром тяжести, близким к середине, ширина преодолеваемого рва зависит от расстояния между мостами и радиуса шин. Основываясь на опытных данных ООО «ВИЦ» и ООО «ВПК» [2-4] для машин рассматриваемого типа, для неразрушаемого рва ширина рва может быть найдена по эмпирической зависимости:

$$b_p = L_{1-2(3-4)} + 0,6D_{ш}, \quad (3)$$

где  $L_{1-2(3-4)}$  — расстояние между колесами первой и второй (третьей и четвертой) осей машины;  $D_{ш}$  — диаметр шин.

При преодолении разрушаемого рва его предельная ширина может быть выражена следующим выражением:

$$b_{pp} = b_p - (L_{x3} + L_{x4}). \quad (4)$$

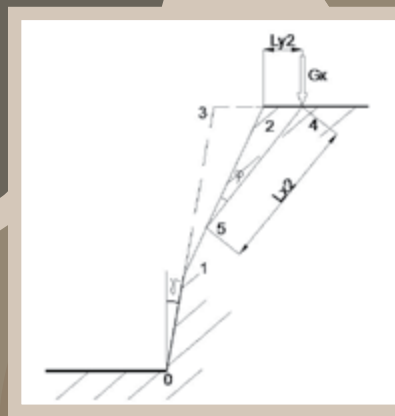


Рисунок 4. Обрушение стенки рва при проходе второго колеса машины

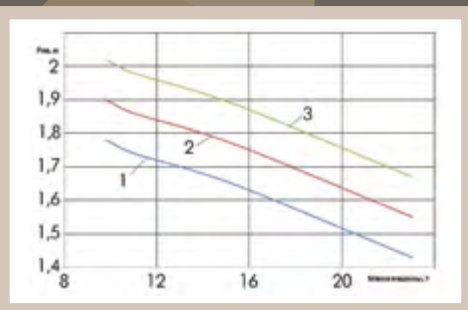


Рисунок 5. Зависимость величины преодолеваемого рва от массы машины

Очевидно, что наибольшее разрушение будет при проходе третьего и четвертого колес через ров, поэтому в данной зависимости учитываются именно проходы этих колес.

Анализируя зависимости (1) — (4), можно получить размеры рва, которые может преодолеть машина. Условия движения должны соответствовать реальным, то есть речь идет о связных глинистых грунтах. В остальных случаях траншея укрепляется стенками, но в данном случае ров преодолевается, как ров с жесткими стенками.

В соответствии с работой [8] воспользуемся характеристиками глинистых грунтов. Необходимо отметить, что движение возможно только по твердой и влагоненасыщенной поверхности. Величина преодолеваемого рва в зависимости от параметров машины приведена в табл. 1. В графическом виде полученные данные представлены на рис. 5.

В результате можно оценить подвижность многоосных машин с колесной формулой 8x8 по условию обеспечения профильной проходимости, а именно, размерам максимального рва с неукрепленными стенками, преодолеваемого автомобилем по глинистому влагоненасыщенному грунту. Зависимости практически линейны и обратно пропорциональны массе машины. На рис. 4 линия 1 соответствует следующим параметрам машины:  $L_{1-2(3-4)}=1,35$  м;  $D_{ш}=1,12$  м; 2 —  $L_{1-2(3-4)}=1,45$  м;  $D_{ш}=1,12$  м; 3 —  $L_{1-2(3-4)}=1,45$  м;  $D_{ш}=1,26$  м. Поэтому целесообразно менять конструктивные параметры типа расстояния между мостами машины и радиус установленных шин, увеличение которых однозначно способствует динамике преодоления рва и, как следствие, повышает эффективность использования транспортных средств [9].

В данной статье впервые представлена разработка математической модели преодоления многоосной машиной с колесной формулой 8x8 разрушаемого препятствия типа ров. В модели учитываются физико-механические характеристики грунта, размеры рва и массово-габаритные параметры транспортно-технологической машины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. — 230 с.
2. Баракханов А.В., Беляков В.В., Галкин Д.А., Зайцев А.С., Зезюлин Д.В., Макаров В.С. Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. № 3. С. 162-170.
3. Беляков В.В., Галкин Д.А., Зайцев А.С., Зезюлин Д.В., Кудряшов Е.М., Макаров В.С. Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. № 2. С. 156-166.
4. Беляков В.В., Вахидов У.Ш., Галкин Д.А., Зайцев А.С., Кудряшов Е.М., Макаров В.С. Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. № 1 С. 143-151.
5. Вахидов У.Ш., Беляков В.С., Макаров В.С. Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №7, 2011. с. 24-26.
6. Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. Математическое описание дорог типа «stone-road» Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3; / URL: [www.science-education.ru/103-6376](http://www.science-education.ru/103-6376) (дата обращения: 05.06.2012).
7. Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.С. Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / Интеллектуальные системы в производстве, №1, 2011, С.82-87.
8. Вездеходные транспортно-технологические машины// Под редакцией В. В. Белякова и А. П. Куляшова. — Н. Новгород.: ГА-ЛАМ, 2004. 960 с.
9. Зезюлин Д.В., Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; / URL: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).

Таблица 1. Величина преодолеваемого рва в зависимости от параметров машины

Параметры машины			Величина преодолеваемого рва, м
масса машины, т.	расстояние между колесами первой и второй осей машины, м	диаметр шин, м	
9,8	1,35	1,12	1,78
	1,45	1,12	1,9
		1,26	2,02
11	1,35	1,12	1,74
	1,45	1,12	1,86
		1,26	1,98
13,5	1,35	1,12	1,69
	1,45	1,12	1,81
		1,26	1,93
16	1,35	1,12	1,63
	1,45	1,12	1,75
		1,26	1,87
23	1,35	1,12	1,43
	1,45	1,12	1,55
		1,26	1,67