

УДК 629.3

EDN: VGDNTP

**А.И. Марковнина, В.С. Макаров, А.Г. Капустин,
У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков**
**УЧЕТ ПРОХОДИМОСТИ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
В МЕТОДИКЕ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ПОДВИЖНОСТИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Приведены общие теоретические аспекты методики построения карт подвижности колесных транспортно-технологических машин (ТТМ). Рассмотрены задачи управления, особенности движения колесных ТТМ по различным грунтам. Обозначены и исследованы три случая возможности движения транспортного средства и предложены схемы разбивки местности на сегменты.

Ключевые слова: подвижность транспортно-технологических машин, проходимость транспортно-технологических машин, свойства грунта, карты подвижности.

Подвижность можно определить как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее их способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины, т.е. возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи [1]. Проходимость – это эксплуатационное свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, а также при преодолении различных препятствий, которая относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности [2, с. 187]. На основе параметров ТТМ и территории, по которой необходимо проехать, возможно построение карты подвижности.

Управление ТТМ сводится к решению пяти задач:

- 1) поддержание скорости движения;
- 2) поддержание ориентации и курсовой устойчивости;
- 3) поддержание подвижности;
- 4) устранение критических ситуаций;
- 5) обеспечение жизнеспособности и безопасности ТТМ.

Для построения карты подвижности определенной ТТМ можно оперировать первой, второй и четвертой задачами. Поддержание скорости движения складывается из управления энергетической установкой, силовой установкой и органами торможения. Поддержание ориентации и курсовой устойчивости характеризуется уровнем управляемости, устойчивости и маневренности. Задача устранения критических ситуаций многогранна для ее выполнения системами помощи водителю и поддержания проходимости.

Для определения параметра подвижности необходимо определить возможность или невозможность проезда машины по рассматриваемой местности. ТТМ преодолеет заданный участок местности при одновременном выполнении трех условий: первое – тяговое усилие достаточно для движения машины, но не превышает допустимую величину, чтобы не вызвать сдвиг грунта и не вызвать буксование; второе – ТТМ способно маневрировать, объезжая или преодолевая препятствия, не застревая; третье – конструкция машины обеспечивает безопасное преодоление объектов микрорельефа. Также при рассмотрении второй задачи могут быть учтены эффекты, возникающие при маневрировании, как, например, экскаваторный эффект от шин при повороте [3].

Решение задачи поддержания скорости движения сводится к расчету тягово-скоростных характеристик колесного транспортного средства, для которого необходимы параметры трансмиссии и подвески; параметры двигателя; параметры движителя.

Поскольку сравнивается сила тяги и сила сопротивления движению, зависимость $F_t > F_{сопр}$, где F_t – сила тяги, $F_{сопр}$ – сила сопротивления, будет справедлива и для гусеничных, и для колесных автомобилей, из чего можно сделать вывод об универсальности разрабатываемой методики. Отличия будут проследиваться только на этапе предварительных расчетов, а сопротивление грунта будет одинаковым для обоих типов движителей. После подсчета расхода топливной экономичности можно определить самый экономичный путь следования ТТМ. Вероятно, он будет как минимум на 80 % совпадать с траекторией самого быстрого пути.

Дополнительные устройства в виде дополнительных навесных грунтозацепов или прицепов к ТТМ будут существенно влиять на проходимость. Их наличие можно ввести в формулы методики расчета как поправочные коэффициенты. При этом грунтозацепы работают на увеличение сил сцепления не на всех грунтах. На практике получили применение мелко- и крупнозвенчатые цепи противоскольжения, а также другие приспособления, повышающие сцепление колес с поверхностью качения.

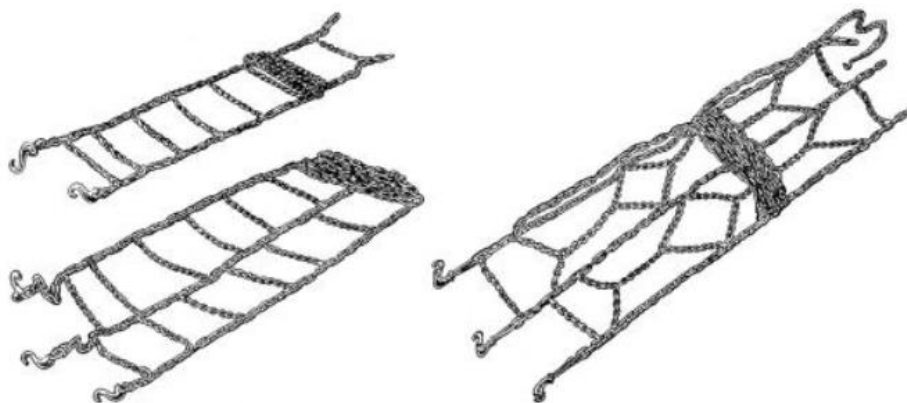


Рис. 1. Конструкция мелкозвенчатых цепей:
а – лестничного типа; б – сетевого типа

Сетевые цепи с косым расположением поперечин (рис. 1, б) эффективнее конструкций лестничного типа (рис. 1, а), однако они сложнее и массивнее. Сравнительно большое увеличение сцепления (до 36...38 %) получается в результате применения мелкозвенчатых цепей на снежной целине, на укатанной снежной дороге (в пределах 31...66 %), а также грунтовой дороге после дождя – 25...45 %. Наиболее эффективны мелкозвенчатые цепи при высоте 25...30 мм и работе на твердых основаниях, покрытых небольшим слоем грязи или снега. Но мелкозвенчатые цепи не обеспечивают необходимого эффекта при работе автомобиля в условиях бездорожья. Если же толщина грунтового слоя с низкой несущей способностью более значительна, то наиболее эффективными являются траковые цепи (рис. 2). Они также используются при движении автомобиля по размокшим и разбитым грунтовым, обледенелым или накатанным снежным дорогам, заболоченным лугам и заснеженным участкам (с глубиной снежного покрова до 200...250 мм) [4].

Профильная проходимость характеризует возможность ТТМ преодолевать препятствия на пути следования без дополнительных инженерных устройств. Опорная проходимость машины характеризует способность проезда по грунтам, учитывая их несущие свойства и особенности взаимодействия с движителем. Дискретная проходимость определяет способность ТТМ преодолевать отдельные геометрические особенности местности в виде камней, валунов, деревьев, кустарников и прочего. Отдельно рассматривается преодоление ТТМ водных преград или заболоченных участков.

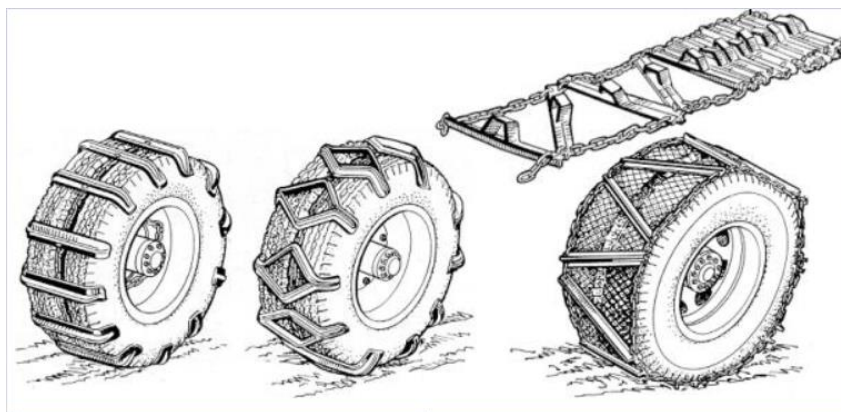


Рис. 2. Траковые цепи:
с поперечными траками; с ромбовидными траками; с косыми траками

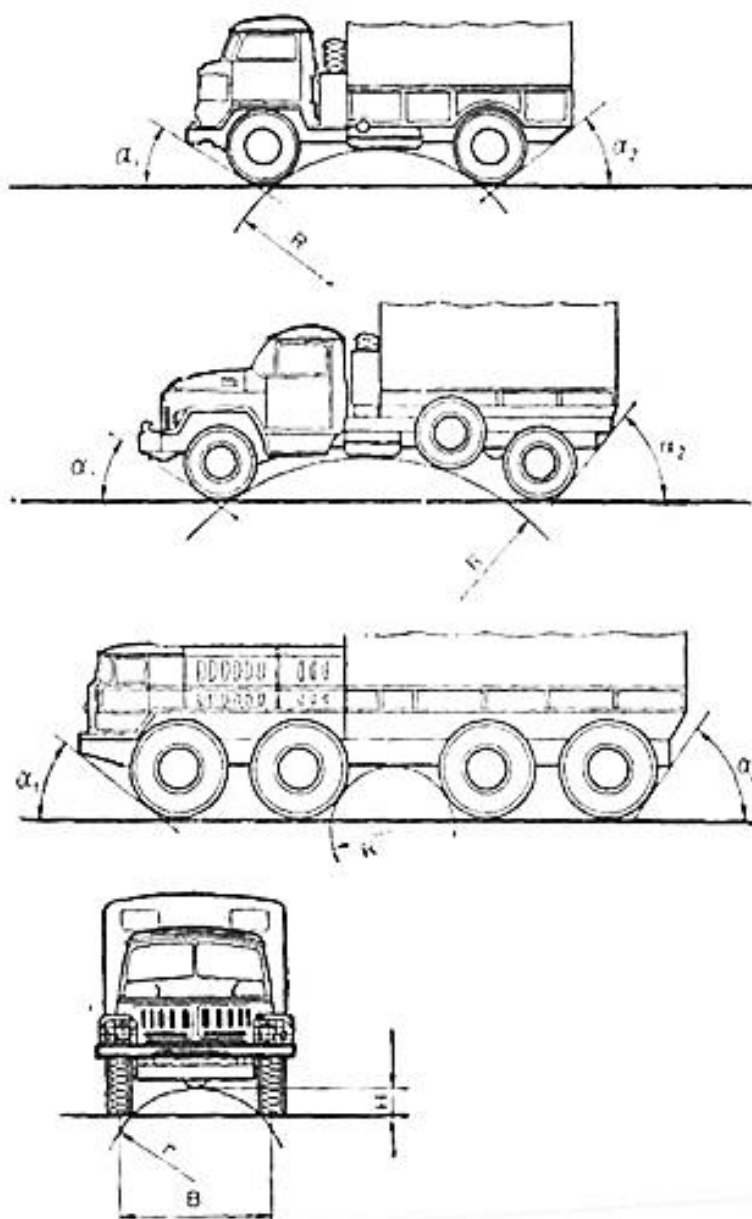


Рис. 3. Основные геометрические параметры,
влияющие на профильную проходимость автомобиля

На профильную проходимость автомобиля большое влияние оказывают его геометрические параметры (рис. 3), к которым относятся: угол въезда α_1 и угол съезда α_2 . Эти углы определяют возможность преодоления крутых бугров, канав и ям, и у автомобилей высокой проходимости они обычно бывают не менее 30° , но в данной работе рассматривается не только вездеходная техника. Величины этих углов не зависят от схемы шасси (от количества осей) и могут быть как одинаковыми, так и несколько отличаться. Другим параметром, определяющим проходимость по неровной местности, является величина дорожного просвета H . От нее 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 [5].

Различна способность автомобилей преодолевать глубокие канавы с крутыми стенками. 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 (рис. 4). 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.

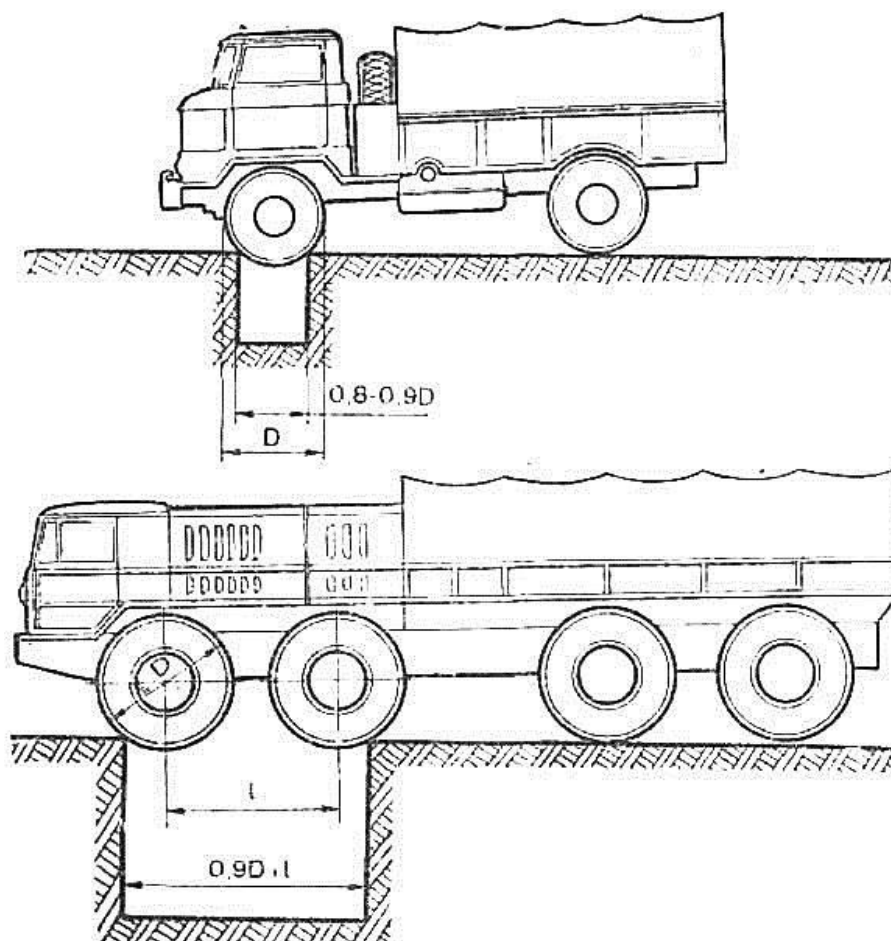


Рис. 4. Влияние схемы автомобиля на его способность преодолевать глубокие канавы с крутыми стенками

К сложнопреодолеваемым объектам микрорельефа можно отнести:

- большой перпендикулярный уклон (ступени, ямы);
- большой угол въезда (холмы, овраги);
- острые выступающие края;
- иные крупные объекты (водные препятствия, кусты и деревья).

Для определения возможности преодоления ТТМ объектов микрорельефа сравниваются такие конструктивные особенности подвески, как дорожный просвет, углы въезда и съезда, угол рампы и др. Также встает вопрос, какие препятствия необходимо объехать, а какие можно было бы устранить, какую градацию применять к ТТМ различной высоты (или глубины, если речь идет об оврагах или водных препятствиях), насколько проходим будет водоем или прибрежная полоса с влажным грунтом. Со стороны опорного основания следует рассмотреть коэффициент сопротивления движению (наихудший вариант), в том числе, влияние смятия и сдвига грунта.

Возможности движения по бездорожью ТТМ определяются, в первую очередь, состоянием опорной поверхности (грунт, песок или снег) и характером взаимодействия движителя с этой поверхностью. При движении колесного 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.

Если просто опустить колесо на участок слабого, деформируемого грунта и нагрузить его вертикальной силой G (рис. 5,а), 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. Если же это колесо начать буксировать или толкать, приложив горизонтальную силу P_n в центре его вращения, оно начнет перекашиваться, деформируя перед собой грунт и оставляя в нем колею (рис. 5,б). 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 ведомое колесо автомобиля при его движении.

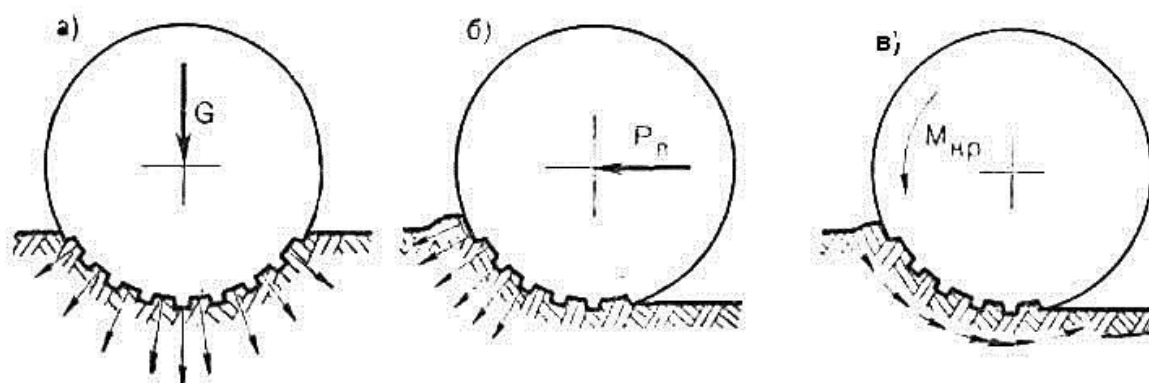


Рис. 5. Упрощенная схема сил, действующая в контакте колеса с грунтом

Грунт, по которому движется ТТМ, может быть однородным, слоистым и сегментным, состоять из одного типа минералов (снег, графий, асфальт) или нескольких (песко-гравийная смесь, миксты). Каждый тип грунта по-разному реагирует на смятие и смещение слоев или сегментов. Отдельно нужно рассматривать влажные грунты (болотистые местности, грязь, ил) и замерзшие (наледь, лед, смесь снег-песок).

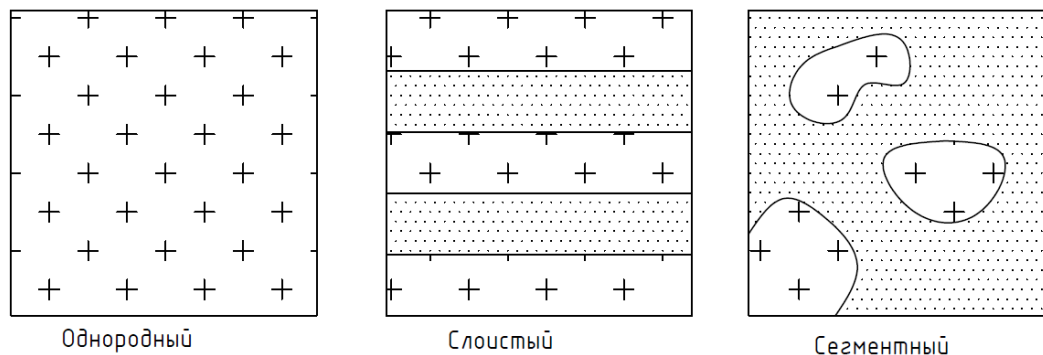


Рис. 6. Типы грунтов

Параметры грунта играют важную роль при расчете тяговых характеристик ТТМ. На силу сопротивления движения будут влиять: несущая способность грунта, плотность (в том числе, соленость), влажность. Из-за огромного разнообразия возможных сочетаний параметров необходимо разработать обобщенную классификацию типов местности для каждого сезона, так как летом преимущественно наблюдается сухая погода, весной и осенью – влажная, а зимой грунт и вода замерзают.

Можно обозначить три случая движения транспортного средства:

- 1) ТТМ проедет без затруднений (без потери подвижности);
- 2) ТТМ проедет, но медленно (с частичной потерей подвижности);
- 3) ТТМ не проедет (с полной потерей подвижности).

В первом случае ТТМ проедет по участку без маневрирования и на скорости, близкой к максимальной. Во втором случае движение будет затруднено, может потребоваться притормаживание, маневрирование или понижение передачи. В третьем случае при попытке движения ТТМ застрянет (недостаточное сцепление с полотном пути), или ей будет нанесен ущерб (объектами микрорельефа), который сделает дальнейшее движение невозможным. После ответа на вопрос, проедет ли ТТМ по заданному участку, можно выделить три пути следования: самый быстрый, самый безопасный и самый экономичный.

Определение возможности движения колесной ТТМ позволит с достаточной точностью построить карту подвижности для любого заданного участка местности. Расчет должен проводиться для относительно однородного участка, соответствующего масштабу ТТМ или местности. Участки, на которые нужно разбить местность, могут быть различной формы, выбор формы зависит от особенностей – водные, растительные, горные объекты. Либо следует выбрать наиболее простой для расчета вариант.

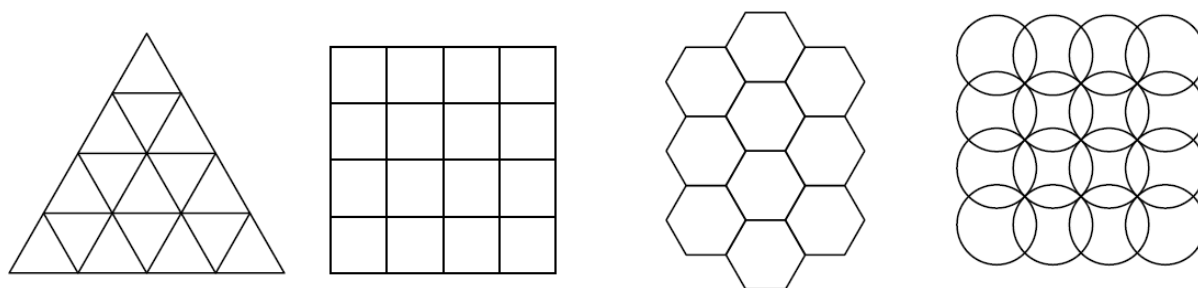


Рис. 7. Разбивка местности на сегменты

Есть вариант упрощения разбивки карты местности, если на ней присутствует большая область со сходными характеристиками. В этом случае можно вести построение маршрута, учитывая возможность любого по большому участку.

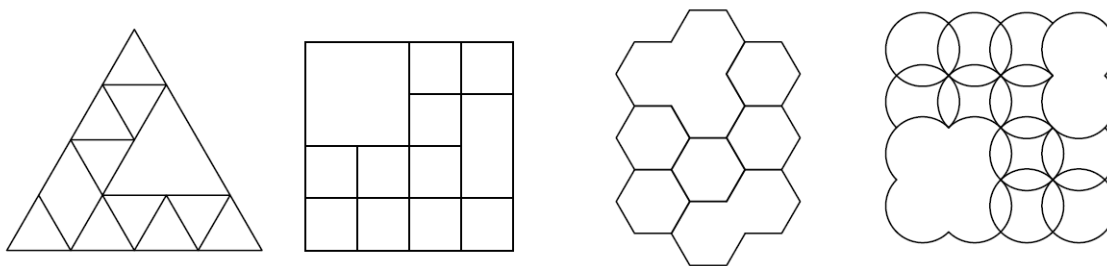


Рис. 8. Упрощенная разбивка местности на сегменты

После разбивки на участки для каждого определяются расчетные параметры: наличие непреодолимых препятствий, преобладающий тип и свойства грунта. Тяговые характеристики машины остаются неизменными, каждый раз сравниваясь с характеристиками участка. После этого идет распределение участков по трем типам (англ. GO, SLOW-GO, NO-GO), визуализируется карта подвижности, находятся кратчайший путь и самый быстрый путь. Теоретически по непроходимой местности ТТМ тоже может проехать, но в таком случае можно повредить ТТМ, груз или травмировать людей, находящихся в кабине.

Данная работа проведена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук МК-336.2022.4.

Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4 (101). С. 72-77.
2. Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств. Автомобили и тракторы, многоцелевые колесные и гусеничные машины, наземные транспортно-технологические комплексы, мобильные роботы и планетоходы: учебник / под общ. ред. проф. В.В. Белякова, Л. Палковича. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. – 475 с.
3. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.05.03 / Макаров Владимир Сергеевич. – Н. Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2009. – 18 с.
4. **Котович, С.В.** Двигатели специальных транспортных средств. Часть I: Учебное пособие / С.В. Котович. – М.; МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
5. **Лаврентьев, В.Б.** Вождение автомобилей высокой проходимости / В.Б. Лаврентьев. – М.: Транспорт, 1974. – 96 с.