

УДК 629.357

DOI: 10.46960/1816-210X\_2021\_2\_74

## РАЗРАБОТКА ИЕРАРХИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕДЕЛИМЫХ ГРУЗОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**К.Б. Евсеев**

ORCID: 0000-0001-7193-487X e-mail: kb\_evseev@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Москва, Россия

Рассмотрена проблема, связанная с обеспечением транспортной доступности в регионах с неразвитой дорожной сетью, в том числе, в условиях районов Крайнего Севера. Обосновывается актуальность рассматриваемого вопроса и представлены пути решения проблемы, один из которых связан с разработкой новых транспортных средств для перевозки тяжелых неделимых грузов в условиях Крайнего Севера. Разработана иерархия эксплуатационных свойств, характеризующих транспортное средство для перевозки тяжелых неделимых грузов. В зависимости от функционального назначения транспортного средства, при оценке эффективности принятых технических решений учитывается определенная совокупность наиболее значимых эксплуатационных свойств. Выявлены наиболее значимые свойства, характеризующие подвижность, исходя из функционального назначения и условий эксплуатации. Установлено, что дальнейшая сравнительная оценка эффективности применения каждого из вновь разрабатываемых конструктивных исполнений транспортных средств невозможна без использования математического моделирования и комплекса натурно-математического моделирования, позволяющего имитировать движение транспортных средств по статистически заданным трассам.

**Ключевые слова:** транспортное средство, автопоезд, гусеничный движитель, Крайний Север, иерархия эксплуатационных свойств, неделимый груз, эксплуатационные свойства, подвижность, проходимость, быстрходность.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Евсеев, К.Б. Разработка иерархии эксплуатационных свойств транспортных средств для перевозки тяжелых неделимых грузов в условиях крайнего севера // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2021. № 2. С. 74-84. DOI: 10.46960/1816-210X\_2021\_2\_74

## DEVELOPMENT OF HIERARCHY OF OPERATIONAL PROPERTIES OF VEHICLES FOR TRANSPORTING OF HEAVY INDIVISIBLE LOADS IN THE FAR NORTH CONDITIONS

**K.B. Evseev**

ORCID: 0000-0001-7193-487X e-mail: kb\_evseev@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia

**Abstract.** Problems associated with provision of transport accessibility in regions with undeveloped road networks, including transport accessibility in the conditions of the Far North, is identified. Up-to-dateness of the issue under consideration is validated, and ways to solve the problem are presented; one of the ways is related to development of new vehicles for transportation of heavy indivisible loads in conditions of the Far North. Hierarchy of operational properties that characterize a vehicle for transportation of heavy indivisible loads has been developed. Depending on the functional purpose of a vehicle, when evaluating the effectiveness of the technical decisions taken, a certain set of the most significant operational properties is taken into account. The most significant properties that characterize the mobility property are determined, based on the functional purpose and operating conditions. It is established that further comparative evaluation of effectiveness of each of newly developed alternate designs of vehicles is impossible without use of mathematical modeling and complex full-scale mathematical modeling, that allows to simulate the movement of vehicles along statistically specified routes.

**Key words:** vehicle, road train, caterpillar drive, Far North, hierarchy of performance properties, indivisible cargo, performance properties, mobility, cross-country ability, speed.

**FOR CITATION:** Evseev K.B. Development of hierarchy of operational properties of vehicles for transporting of heavy indivisible loads in the Far north conditions. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2021. № 2. P. 74-84. DOI: 10.46960/1816-210X\_2021\_2\_74

## Введение

В настоящее время активно осваиваются богатые полезными ископаемыми районы Крайнего Севера, а также многие другие регионы с неразвитой дорожной сетью. Для добывающих отраслей промышленности здесь возникает ряд проблем, связанных с необходимостью перевозки крупногабаритного оборудования, транспортных контейнеров, строительных материалов и других тяжелых неделимых грузов. Важной проблемой является транспортная доступность в условиях с неразвитой дорожной сетью. Одним из путей решения задачи перевозки тяжелых неделимых грузов в этих регионах является строительство автомобильных и железных дорог, создание соответствующей инфраструктуры, поддержание ее функционирования и т.д. Однако особенностью северных территорий РФ являются суровые климатические условия с большим количеством осадков и резким перепадом температур, поэтому большинство транспортных средств, которые традиционно используются в районах нашей страны для перевозки грузов, не могут здесь эксплуатироваться. Кроме этого, при строительстве автомобильных и железных дорог в районах Крайнего Севера необходимо учитывать следующие особенности эксплуатации: мерзлый грунт, слабонесущие грунты, большое количество снега в зимний период и увеличение объема водных объектов вследствие активного таяния снега в летний период и т.д. Все это приводит к невозможности или экономической нецелесообразности развития дорожной сети в этих регионах. Таким образом, для решения проблемы перевозки тяжелых неделимых грузов в регионах с неразвитой дорожной сетью и в условиях бездорожья требуется разработка специальных транспортных средств (ТС).

Транспортное средство для перевозки тяжелых неделимых грузов, как и любое другое, характеризуется совокупностью различных эксплуатационных свойств: подвижностью, надежностью, технико-экономическими свойствами и др. В зависимости от функционального назначения машины, при оценке эффективности необходимо учитывать определенную совокупность наиболее значимых свойств, приоритет которых определяется условиями эксплуатации. С этой целью необходимо разработать и научно обосновать иерархию эксплуатационных свойств, характерную для рассматриваемых ТС.

### Иерархия эксплуатационных свойств транспортных средств для перевозки тяжелых неделимых грузов в условиях Крайнего Севера

Разработкой иерархии эксплуатационных свойств различных ТС и исследованиями их значимости занимались многие ученые и научные школы. Известны работы Ю.Л. Рождественского, А.В. Морозова, В.Н. Наумова, Я.Е. Фаробина, А.С. Литвинова, Л.В. Барахтанова, А.А. Аникина, В.Н. Кравца, В.В. Белякова, М.Я. Дубенского, И.А. Плиева, М.В. Нагайцева, М.Р. Калимулина, А.С. Дьякова и др., а также работы научных школ МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ им. Р. Е. Алексеева, Московского политехнического университета, МАДИ, Военной академии бронетанковых войск, ОАО «НИИ Стали», 21 НИИИ (ВАТ) МО РФ, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» и др.

Для определения совокупности наиболее значимых свойств, характеризующих ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов, рассмотрим подробно их эксплуатационные свойства и разработаем иерархию свойств для возможности дальнейшей оценки эффективности различных вариантов конструктивно-компоновочного исполнения. ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов характеризуются следующими обобщенными наиболее значимыми эксплуатационными свойствами: по назначению и эксплуатационно-экономическими [1]. В свойство по назначению для данного типа ТС входит только свойство подвижности. К эксплуатационно-экономическим свойствам относятся: грузоподъемность и грузместимость,

безопасность, надежность, эргономичность и свойства, характеризующие экономические показатели (стоимость, уровень унификации, продолжительность этапов жизненного цикла и др.) Разработанная иерархия эксплуатационных свойств содержит четыре уровня эксплуатационных свойств, измерителей и показателей. На рис. 1 представлены верхние два уровня иерархии эксплуатационных свойств, характеризующих ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов.



Рис. 1. Иерархия эксплуатационных свойств верхнего уровня

Fig. 1. Hierarchy of top-level operational properties

Рассмотрим первый и второй уровни иерархии эксплуатационно-экономических свойств, которые представлены на рис. 2.



Рис. 2. Иерархия эксплуатационно-экономических свойств 1 и 2 уровня

Fig. 2. Hierarchy of operational and economic properties of level 1 and 2

Грузоподъемность и грузовместимость ТС характеризуются максимальной допустимой массой перевозимого груза (грузоподъемностью) и максимальным объемом перевозимого груза (грузовместимостью) [2]. Отличительной особенностью рассматриваемых ТС является необходимость перевозки крупногабаритного неделимого груза с заранее известными массой и габаритами, например, транспортный контейнер, который одновременно определяет доступное пространство проектирования для шасси ТС и ограничивает варианты возможных конструктивно-компоновочных решений с учетом требований технического задания (ТЗ): массово-габаритных ограничений, допустимых значений полной массы и осевой нагрузки, а также требований к прочности и жесткости несущей системы и других требований и ограничений. Таким образом, с учетом особенностей назначения и конструктивно-компоновочных ограничений, связанных с массогабаритными параметрами груза, свойство грузоподъемности и грузовместимости можно не рассматривать при оценке значимости эксплуатационных свойств для рассматриваемых ТС.

Безопасность является важнейшим комплексным свойством, от которого непосредственно зависят жизнь и здоровье людей, сохранность автомобилей и грузов, состояние окружающей среды. Согласно разработанной иерархии эксплуатационных свойств, безопасность ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов подразделяется на активную, пассивную и экологическую. К конструктивным мероприятиям, обеспечивающим пассивную безопасность, относятся: сохранение жизненного пространства, снижение инерционных нагрузок в процессе удара, ограничение перемещений людей и грузов, находящихся в ТС, а также конструктивные мероприятия, обеспечивающие внешнюю пассивную безопасность. Перечисленный комплекс мероприятий относится в большей степени к вопросу конструктивного исполнения кабины ТС и к задаче сохранения жизненного пространства, а также обеспечения требуемой жесткости и прочности конструктивных элементов ТС. На текущем этапе развития науки и техники вопросу пассивной безопасности посвящено большое количество работ [3-9], используются известные научные методы и инструменты при оценке пассивной безопасности, поэтому можно говорить о достижимости или невозможности достижения требуемых показателей пассивной безопасности, определенных в ТЗ.

К задачам обеспечения экологической безопасности ТС относятся мероприятия по снижению степени воздействия движителя на грунт, токсичности и дымности выбросов. Требования к содержанию вредных веществ в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС), уровню шума и др. определены техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». Поэтому будем считать, что узлы и агрегаты, используемые в конструкции рассматриваемых ТС, отвечают этим требованиям, а вопросы взаимодействия движителя с грунтом, которые подробно рассмотрены в работах [10-13], будем принимать во внимание при рассмотрении свойства проходимости. Необходимо также учитывать функциональное назначение рассматриваемых ТС, поэтому вопрос экологической безопасности можно исключить из рассмотрения при анализе значимости показателей эксплуатационных свойств.

Таким образом, при оценке эффективности различных вариантов конструктивно-компоновочных исполнений ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов показатели пассивной безопасности и экологической безопасности считаются одинаково достижимыми или недостижимыми для всех рассматриваемых объектов, поэтому они исключаются из дальнейшего анализа.

Системы активной безопасности направлены на снижение вероятности возникновения непредвиденных аварийных ситуаций. Активная безопасность направлена на повышение эксплуатационных свойств. Она оказывает влияние на свойства устойчивости, управляемости, маневренности и тормозные свойства, тесно связана со свойством подвижности, поэтому вопросы, относящиеся к этим эксплуатационным свойствам, будем рассматривать при анализе комплексного свойства подвижности в контексте его повышения. Остальные требования к освещению, звуковой сигнализации и т.д. рассматривать не будем, поскольку

считаем, что все рассматриваемые объекты им соответствуют. Надежность является комплексным свойством, состоящим из сочетания следующих свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Измерители надежности могут учитывать одновременно несколько свойств, составляющих надежность ТС (комплексные), а могут быть и единичными, которые характеризуют только одно свойство надежности. Как правило, показатели надежности определены заранее требованиями ТЗ, и задача достижения заданных показателей надежности на этапе проектирования является исключительно инженерной задачей. Кроме этого, проблеме обеспечения надежности посвящено большое количество работ [14-16], поэтому будем считать, что на современном уровне развития науки и техники, показатели надежности будут достижимы для всех рассматриваемых объектов. Таким образом, в дальнейшем комплексное свойство надежности для оценки значимости показателей эксплуатационных свойств ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов рассматривать не будем.

Эргономические свойства формируются с учетом повышения эффективности деятельности и сохранения здоровья водителя и членов экипажа ТС за счет создания конструкций, в которых учитывают характеристики пользователей. Эргономические свойства также относятся в большей степени к вопросу конструктивного исполнения кабины и вопросу вторичного подрессоривания, поэтому при анализе значимости эксплуатационных свойств учитывать их не будем. Экономические свойства с учетом функционального назначения шасси будут в большей степени определяться экономическими свойствами перевозимого груза, поэтому показатели стоимости шасси, унификации и продолжительности этапов жизненного цикла, характеризующие экономические свойства, при анализе значимости эксплуатационных свойств учитывать не будем. Таким образом, при комплексном сравнении эффективности вариантов конструктивно-компоновочных исполнений рассматриваемых ТС эксплуатационно-экономические свойства можно исключить из рассмотрения.



Рис. 3. Иерархия комплексного свойства подвижности

Fig. 3. Hierarchy of complex property of mobility

Рассмотрим первый, второй и третий уровни иерархии эксплуатационных свойств, определяемых назначением ТС. Подвижность – это свойство, характеризующее способность ТС преодолевать конечное расстояние за конечное время без дополнительных средств поддержания движения [1]. Вопросу разработки иерархии подвижности транспортных средств посвящено большое количество работ [1, 2, 17, 18]. Иерархическая структурная схема фор-

мирования подвижности ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов как комплексного свойства, определяемого более простыми свойствами: проходимостью, быстроходностью и автономностью, приведена на рис. 3. Эксплуатационное свойство проходимости определяет возможность движения в ухудшенных дорожных условиях и по бездорожью, а также преодоления различных препятствий [19]. Проходимость как комплексное свойство включает более простые: опорную проходимость, профильную проходимость и бродоходимость. Иерархическая структура свойства проходимости представлена на рис. 4.



Рис. 4. Иерархия комплексного свойства проходимости

Fig. 4. Hierarchy of complex property of cross-country ability

Анализируя работы [1,2,17,19,22-24] можно выделить единичные свойства, измерители и показатели опорной проходимости и профильной проходимости ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов, которые представлены в табл. 1 и табл. 2. Бродоходимость определяется глубиной преодолеваемого брода с твердым дном.

Таблица 1.

Измерители свойства опорной проходимости

Table 1.

Meters of flotation property

Измеритель	Единица измерения
<b>Тягово-цепные свойства</b>	
Сцепной вес	кН
Коэффициент сцепного веса	-
Полная сила тяги	кН
Свободная сила тяги	кН
Коэффициент свободной силы тяги	-
Сила тяги на крюке	кН
Удельная сила тяги на крюке	-
Тягово-скоростные характеристики	-
<b>Тягово-энергетические свойства</b>	
Мощность ТС	кВт
Удельная мощность ТС	кВт/т

## Окончание табл. 1.

Тяговая мощность на крюке	кВт
Удельная тяговая мощность на крюке	кВт/т
Мощность сопротивления качению	кВт
Мощность сопротивления движению	кВт
Мощность колееобразования	кВт
Зависимость мощности сопротивления качению от скорости движения	-
<b>Способность движения по снегу</b>	
Максимальная глубина снежной целины	м
Минимальный радиус поворота без потери проходимости	м
<b>Способность движения по ОП со слабой несущей способностью</b>	
Давление движителей на ОП	кг/см <sup>2</sup>
Среднее давление в контакте	кг/см <sup>2</sup>
Среднее давление по выступам рисунка протектора (трака)	кг/см <sup>2</sup>

Таблица 2.

## Измерители свойства профильной проходимости

Table 2.

## Meters of profile cross-country property

Измеритель	Единица измерения
<b>Способность к преодолению отдельных препятствий</b>	
Максимальная ширина преодолеваемого рва	м
Максимальная высота преодолеваемой вертикальной стенки	м
Максимальная высота преодолеваемого контрэскарпа	м
<b>Способность преодоления уклонов</b>	
Максимальный угол преодолеваемого подъёма	градус
Максимальный угол преодолеваемого косогора	градус
Максимальный угол при движении на спуске	градус
<b>Геометрические параметры ТС</b>	
Геометрические параметры ТС	
Дорожный просвет	мм
Передний и задний свесы	мм
Углы переднего и заднего свесов	градус
Продольный угол проходимости	градус
Продольный радиус проходимости	мм
Поперечный радиус проходимости	мм
Углы гибкости автопоезда в вертикальной и поперечной плоскостях	градус
Угол перекоса мостов	градус
Коэффициент совпадения следов передних и задних колес	-
<b>Маневренность</b>	
Минимальный радиус поворота ТС (тягача)	м
Минимальное расстояние от центра поворота до оси следа наружного наиболее удаленного колеса	м
Габаритный радиус поворота ТС	м
Габаритная полоса движения	м
Поворотная ширина по следам колес	м
Углы гибкости автопоезда в горизонтальной плоскости	градус

Эксплуатационное свойство быстроходности определяет способность ТС к быстрейшему достижению заданной точки маршрута в пределах, ограниченных проходимостью [1]. Комплексное свойство быстроходности характеризуется рядом более простых свойств, среди которых можно выделить следующие свойства, характерные для рассматриваемых ТС: ди-

намичность, способность двигаться по неровностям пути, управляемость и устойчивость [1]. Иерархическая структурная схема быстроходности приведена на рис. 5. Анализируя работы [1, 2, 17, 19, 22, 23-25], можно выделить основные отдельные свойства, показатели и измерители быстроходности, которые приведены в табл. 3-5.

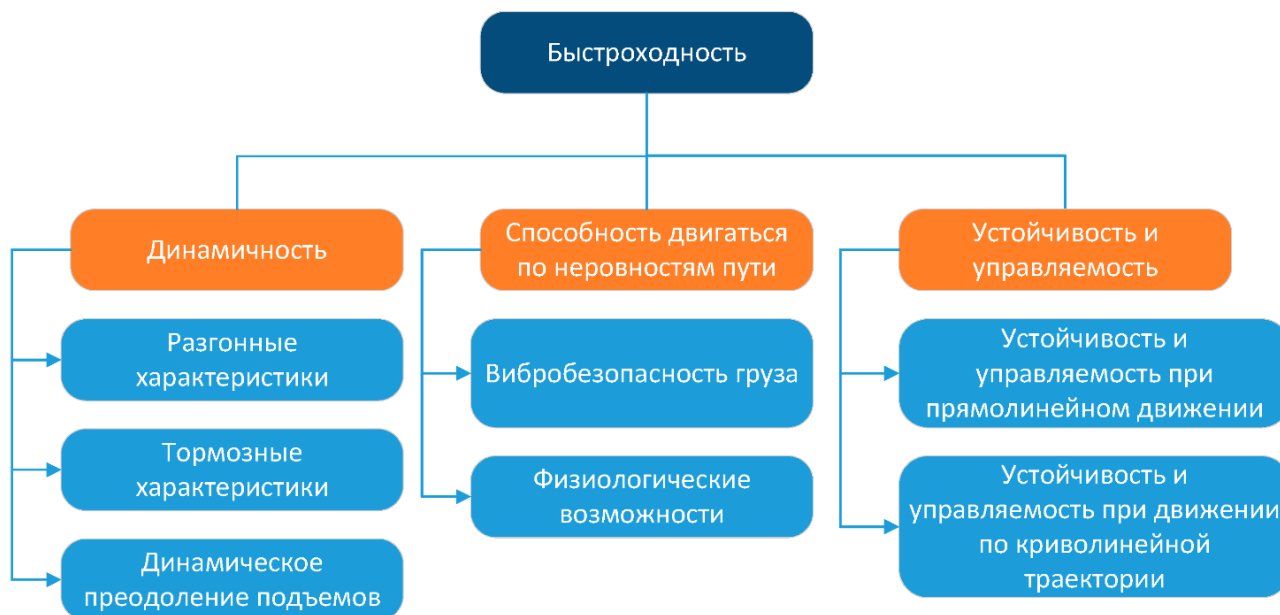


Рис. 5. Иерархия комплексного свойства быстроходности

Fig. 5. Hierarchy of specific speed complex property

Измерители свойства динамичности

Meters of dynamic property

Таблица 3.

Table 3.

Измеритель	Единица измерения
<b>Разгонные характеристики</b>	
Максимальная скорость движения	км/ч
Удельная мощность	кВт/т
Тягово-динамическая характеристика	-
Максимальный преодолеваемый коэффициент сопротивления движению	-
Время разгона с места до заданной скорости движения	с
Путь разгона до заданной скорости движения	м
Время прохождения заданного отрезка пути в режиме разгона с места	с
Максимальное ускорение при разгоне	м/с <sup>2</sup>
<b>Тормозные характеристики</b>	
Тормозной путь	м
Время торможения	с
Максимальное замедление при торможении	м/с <sup>2</sup>
<b>Динамическое преодоление подъемов</b>	
Предельная длина подъема определенной крутизны	м
Максимальный преодолеваемый коэффициент сопротивления движению	-



Таблица 4.

## Измерители свойства плавности хода

Table 4.

## Meters of travelling comfort property

Измеритель	Единица измерения
<b>Способность двигаться с максимальной скоростью по неровностям</b>	
Максимальная скорость движения	км/ч
Удельная мощность	кВт/т
<b>Физиологические возможности</b>	
Частота собственных колебаний кузова	Гц
Максимальное ускорение на месте водителя (груза)	м/с <sup>2</sup>

Таблица 5.

## Измерители свойства устойчивости и управляемости

Table 5.

## Meters of stability and controllability property

Измеритель	Единица измерения
<i>Устойчивость и управляемость при прямолинейном движении</i>	
Критическая скорость при торможении	км/ч
Скорость подруливания	рад/с
Критическая скорость автопоезда по влиянию прицепа	км/ч
<i>Устойчивость и управляемость при движении по криволинейной траектории</i>	
Критическая скорость движения при выполнении маневра «поворот»	км/ч
Критическая скорость движения при выполнении маневра «переставка»	км/ч
Критические скорости установившегося криволинейного движения по боковому опрокидыванию	км/ч
Критические скорости установившегося криволинейного движения по боковому скольжению	км/ч
Критические скорости по курсовой и траекторной устойчивости	км/ч
Характеристика статической траекторной управляемости	-
Чувствительность к повороту рулевого колеса	-
Характеристика «рывок руля»	-
Характеристика «выход из поворота»	-
Характеристика складывания автопоезда при установившемся круговом движении	-
Характеристика курсовой устойчивости прицепа	-

Эксплуатационное свойство автономности определяет способность ТС передвигаться без дополнительных средств поддержания движения [1]. Комплексное свойство автономности характеризуется рядом более простых свойств, среди которых основным свойством является запас хода, который, в свою очередь, подразделяется на более простые: путевой расход топлива (энергии), удельный расход топлива (энергии), емкость топливных баков (аккумуляторных батарей).

### Заключение

Разработанная иерархия эксплуатационных свойств может быть использована для определения приоритетов значимости свойств рассматриваемых ТС. Для комплексной оценки эффективности различных возможных конструктивно-компоновочных решений могут быть использованы различные методы, однако наиболее предпочтительным, простым и учитывающим все разнообразие свойств, характеризующих ТС, является метод анализа иерархий. Данный метод предлагается использовать для дальнейшей сравнительной оценки эффективности ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов.

Сопоставляя противоречивость указанных свойств, можно сформировать ряд возможных перспективных технических обликов вновь разрабатываемых ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов. При этом очевидно, что сравнительная оценка эффективности применения каждого допустимого конструктивного исполнения для вновь разрабатываемых ТС не представляется возможной без математического и имитационного моделирования. Также для решения представленной задачи может эффективно применяться комплекс натурно-математического моделирования [26, 27], позволяющий имитировать движение транспортных средств по статистически заданным трассам под управлением «водителя-оператора», находящегося за компьютером, в режиме «реального времени». Для формирования окончательного технического облика вновь разрабатываемых ТС для перевозки тяжелых неделимых грузов и нахождения баланса между его свойствами необходимо в качестве исходных данных иметь перечень задач и технических требований к разрабатываемому ТС.

### Библиографический список

1. **Исаков, П.П.** Теория и конструкция танка / П.П. Исаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
2. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств / В.Н. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 156 с.
3. **Багичев, С.А.** Разработка методики расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кабин грузовых автомобилей. Диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 2013. – 218 с.
4. **Батманов, Э.З.** Интегральная оценка пассивной безопасности легковых автомобилей. Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.22.10. – Москва, 2004. – 24 с.
5. **Гончаров, Р.Б.** Методика совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования на базе топологической и параметрической оптимизации для обеспечения требований пассивной безопасности при ударе и минимизации массы. Диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Москва, 2019. – 161 с.
6. **Зузов, В.Н.** Исследование напряженно-деформированного состояния кузова автобуса применительно к автоматизированному проектированию несущих систем автомобилей. Диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Москва, 1980. – 183 с.
7. **Зузов, В.Н.** Разработка методов создания несущих систем колесных машин с оптимальными параметрами. Диссертация доктора технических наук: 05.05.03, 01.02.06. – Москва, 2002. – 347 с.
8. **Маркин, И. В.** Разработка методики оценки пассивной безопасности автомобилей и тракторов в отношении ударно-прочностных свойств их кабин на стадии проектирования. Диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Москва, 2001. – 132 с.
9. **Тумасов, А.В.** Разработка методики расчетной оценки пассивной безопасности кузовов и кабин автомобилей при опрокидывании. Диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 2008. – 284 с.
10. **Шухман, С.Б.** Метод оценки и расчета разрушающего воздействия полноприводных автомобилей на почвогрунты: учебное пособие / С.Б. Шухман, А.С. Переладов, С.Н. Коркин – М.: Агробизнесцентр, 2010. – 60 с.
11. **Куляшов, А.П.** Экологичность движителей транспортно-технологических машин. / А.П. Куляшов, В.Е. Колотилин. – Москва: Машиностроение, 1993. – 288 с.
12. **Коркин, С.Н.** Повышение экологической безопасности движения автопоездов в тяжелых дорожных условиях / Коркин С.Н., Курмаев Р.Х. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. № 4 (106). С. 273-279.
13. **Переладов, А.С.** Особенности оценки разрушающего воздействия на грунт полноприводного автомобиля / А.С. Переладов, С.Н. Коркин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2008. № 1(5). С. 91-96.
14. **Труханов, В.М.** Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла. / В.М. Труханов, А.М. Матвеевко. – Москва: Изд. дом Спектр, 2016. – 663 с.
15. **Лукинский, В.С.** Долговечность деталей шасси автомобиля. / В.С. Лукинский, Ю.Г. Котиков, Е.И. Зайцев. – Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1984. – 231 с.
16. **Зорин, В.А.** Надежность механических систем: учебник. / В.А. Зорин. – Москва: Инфра-М, 2015. – 380 с.

17. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 3(100). – С.145–174.
18. **Беляков, В.В.** Проектирование наземных транспортно-технологических машин и комплексов: учебник/ В.В. Беляков, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров [и др.]; под ред. В.В. Белякова. – Москва: КНОРУС, 2021. – 450 с.
19. **Ларин, В.В.** Теория движения полноприводных колесных машин: учебник. / В.В. Ларин – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 391 с.
20. **Агейкин, Я.С.** Проходимость автомобилей. / Я.С. Агейкин – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
21. Автомобиль: Теория эксплуатац. свойств: [Учеб. для вузов по спец. «Автомобили и автомоб. хоз-во»]. / Литвинов А. С., Фаробин Я.Е. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.
22. **Морозов, А.В.** Комплексное сравнение объектов военной автомобильной техники типа MRAP на стадии проектирования / А.В. Морозов // Журнал ААИ. 2015. № 1(90). С. 40-45.
23. **Иларионов, В.А.** Эксплуатационные свойства автомобиля: теоретический анализ. / В.А. Иларионов – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
24. **Исаков, П.П.** Теория и конструкция танка. / П.П. Исаков – М.: Машиностроение. 1989. Т. 10 Кн.1: Испытания военных гусеничных машин. – 231 с.
25. **Смирнов, Г.А.** Теория движения колесных машин. Учебник для машиностроительных спец. вузов. / Г.А. Смирнов – 2 изд. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
26. **Kotiev, G.O.** Estimating operation modes for the individual wheel electric drive of the all-wheel drive vehicle with the use of the driving simulator / G.O. Kotiev, A.V. Miroshnichenko, A.A. Stadukhin, B.B. Kositsyn. Vol. 534, Issue 1, 12 June 2019.
27. **Kotiev, G.O.** Determination of mechanical characteristics of high-speed tracked vehicles traction motor with individual drive wheels / G.O. Kotiev, A.V. Miroshnichenko, A.A. Stadukhin, B.B. Kositsyn // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1177, Issue 1, 10 April 2019, № 012058.

*Дата поступления  
в редакцию: 20.11.2020*