

# ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ПОДВЕСКАМ БЕЗЭКИПАЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

д.т.н. Сарач Е.Б.<sup>1</sup>, к.т.н. Смирнов И.А.<sup>2</sup>, Ткачев Я.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московское высшее общевойсковое командное училище, Москва, Россия  
check-26@yandex.ru

*В настоящее время получают распространение машины, в которых не предусмотрено наличие водителя или экипажа. Управляются они дистанционно или способны двигаться самостоятельно. Данные машины относятся к классу безэкипажных. Анализ этапов разработки ходовой части для традиционной экипажной машины показывает, что основные требования, предъявляемые к системам поддрессоривания, заключаются в том, что вертикальные ускорения, действующие на водителя и экипаж, не должны превышать определенных значений. Однако для безэкипажных машин данные требования неприменимы ввиду отсутствия людей в корпусе транспортного средства. Учитывая, что безэкипажные машины должны передвигаться в тех же условиях, что и традиционные, в том числе по пересеченной местности, в некоторых случаях по трассам гармонического профиля, существует актуальная задача по разработке специальных требований, которые должны быть учтены при проектировании ходовых частей для безэкипажных машин как отдельного класса транспортной техники. В статье предлагаются к рассмотрению некоторые подходы к определению таких требований. В частности, при изменении нагрузки на элементы ходовой части предлагается исходить из условия, согласно которому в машине должна быть предусмотрена возможность для транспортирования полезной нагрузки, что, как правило, указывается в техническом задании. В соответствии с этим утверждением обоснована необходимость исследования наиболее нагруженных элементов подвески, в результате которого возможно спрогнозировать массовые характеристики проектируемой ходовой части. В данной работе обозначены ключевые проблемы и предложены некоторые пути их решения. На основании приведенного материала сделаны некоторые выводы, которые возможно использовать в дальнейшей работе при решении практических задач в данной области.*

**Ключевые слова:** гусеничная машина, ходовая часть, безэкипажная машина.

## **Введение**

На сегодняшний день гусеничные машины получили широкое распространение в различных областях деятельности человека. Обычно их использование необходимо в труднопроходимых районах местности, где затруднительно проехать на колесной машине. Быстроходные гусеничные машины могут быть гражданского или военного назначения.

Традиционные гусеничные машины управляются человеком, и опыт проектирования систем поддрессоривания для таких машин сравнительно большой. Однако в настоящее время получают распространение машины, в которых не предусмотрено присутствие водителя или пассажиров, а управляются они человеком дистанционно, в некоторых случаях могут двигаться автономно, ориентируясь на

местности с помощью специальных датчиков или в полуавтоматическом режиме. Данные машины относятся к классу безэкипажных. Для машин данного типа, как и для пилотируемых, сохраняется одно из существенных требований, предъявляемых к быстроходным транспортным машинам – обеспечение высокой средней скорости. Известно, что скорости гусеничных машин в значительной степени определяются качеством системы поддрессоривания [1]. Таким образом, определение характеристик систем поддрессоривания безэкипажных машин, обеспечивающих заданную среднюю скорость, является актуальной задачей.

Анализ этапов разработки ходовой части для традиционной экипажной машины показывает, что основные требования, предъявляемые к системам поддрессоривания быстроход-

ных транспортных машин, заключаются в том, что вертикальные ускорения, действующие на водителя и пассажиров не должны превышать определенных значений. При движении по неровностям в резонансном режиме, который характеризуется сравнительно большими амплитудами раскачивания корпуса и высокой вероятностью пробоя подвески (жесткого удара элементов ходовой части об ограничитель хода), вертикальные ускорения не должны превышать значения 3,5g [2]. Считается, что человек способен переносить на пороге неприятных ощущений воздействие таких ускорений продолжительное время. Стоит отметить, что пробой подвески сопровождается вертикальными ускорениями, значительно превышающими 3,5g.

В случае, когда движение осуществляется по частым и сравнительно малым неровностям, на корпус машины также передаются высокочастотные возмущения, называемые ускорениями «тряски», которые должны быть меньше значения 0,5g для поддержания нормального самочувствия членов экипажа.

Таким образом, требования к плавности хода быстроходных экипажных машин напрямую связаны с присутствием человека в машине. В процессе проектирования подвески, выполняя данные требования, можно говорить, что система поддрессоривания удовлетворяет требованиям плавности хода. Однако для безэкипажных машин данные требования неприменимы ввиду отсутствия людей в машине. В связи с этим в ходе разработки таких машин, в частности при проектировании подвески, возникает вполне закономерный вопрос: каким требованиям должна отвечать подвеска?

Если машина предназначена для перевозки или монтажа на ней специального оборудования, подвеску можно проектировать, учитывая особые требования данного оборудования к перегрузкам. В случае же отсутствия в машине чувствительного к перегрузкам оборудования или его вторичного поддрессоривания необходимо разрабатывать новые критерии выбора характеристик системы поддрессоривания, не связанные с перегрузками экипажа и специального оборудования. Решению этого вопроса посвящена данная статья.

При проектировании ходовой части как безэкипажных, так и экипажных машин стоит учитывать, что с возрастанием скорости движения по неровностям увеличивается нагрузка

на подвеску, что влечет за собой повышение размеров, а следовательно и массы ходовой части. В результате, при ограниченной полной массе машины, увеличение массы ходовой части приведет к снижению полезной нагрузки. То есть можно сделать вывод, что с одной стороны подвеска не должна ограничивать заданную среднюю скорость движения, а с другой – относительная масса элементов ходовой не должна превышать определенное значение. Для экипажных машин, в частности танков, масса подвески составляет от 18 до 22 % от общей массы машины [3]. В итоге задача исследования систем поддрессоривания безэкипажных машин состоит в установлении связи между нагрузкой, действующей на элементы подвески, и массой ходовой части.

Известно, что с увеличением скорости движения возрастает количество пробоев подвески, а также перегрузки при пробоях. Поэтому, чем выше заданная скорость, тем большую массу будет иметь ходовая часть при условии обеспечения ее прочности. Таким образом, по результатам исследования предполагается установить связь между средней скоростью движения машины и относительной массой ходовой части, что позволит на начальном этапе проектирования безэкипажной машины при заданной средней скорости оценить массу ходовой части, а следовательно, и полезную нагрузку.

Так как соотношение полезной нагрузки к полной массе машины является одним из основных аспектов, которые определяют соответствие машины своему назначению, а также дает возможность в дальнейшем применять решения по модернизации машины без каких-либо существенных изменений конструкции, в частности подвески, данное исследование является актуальным.

Известно, что первые мобильные роботы появились еще в начале XX века. Тогда это были небольшие по размерам машины, которые управлялись посредством проводных каналов связи на сравнительно небольших расстояниях и использовались для обнаружения и обезвреживания взрывчатых веществ, мин.

Примером современного мобильного робота на гусеничной платформе служит российский робототехнический бронированный комплекс Уран-6 (рис. 1). Его назначение заключается в поиске и обезвреживании взрывоопасных предметов с помощью монтируемого на него оборудования.





Рис. 1. Робот-сапер Уран-6

Снаряженная масса данной машины достигает 7 т. Управляется дистанционно на расстоянии до 1000 м [4]. Отличительной чертой робота является способность распознавания типа взрывоопасного снаряда. Данный комплекс способен выполнять свою задачу более эффективно, чем человек.



Рис. 2. Боевой робот Уран-9

Примером безэкипажных машин являются многофункциональные мобильные роботы Уран-9 (рис. 2), Нерехта (рис. 3) российского производства и английский ARCV Black Knight (рис. 4). Данные гусеничные машины способны выполнять ряд боевых задач и их востребованность увеличивается. Главным преимуществом таких машин является возможность снижения потерь личного состава при выполнении боевых операций, так как управление осуществляется дистанционно из защищенного пункта. Кроме того, они способны выполнять поставленные задачи как в городских условиях, так и на бездорожье.

Разработка ACVR Black Knight («Черный рыцарь») была инициирована в 2000-х годах. В 2006 об этом было официально объявлено на выставке в Вашингтоне. Эта беспилотная на-

земная машина внешне напоминает небольшой танк, на башне которого установлена 30-миллиметровая пушка и пулемет калибра 7,62 мм [5]. Значение массы достигает 12 т. При необходимости возможна транспортировка с использованием самолета. Силовая установка представлена двигателем мощностью 300 л.с., разработанным компанией Caterpillar. Известно также, что данный боевой робот может управляться из БМП M2 Bradley. При необходимости экипаж БМП может спешиться и нести походное устройство управления Black Knight с собой, получая необходимую информацию из данного устройства. По некоторым данным максимальная скорость достигает 77 км/ч.

Комплекс «Нерехта» предназначен для ряда задач, номенклатура которых зависит от вида специального оборудования, которое может быть установлено на гусеничную платформу. Масса такой платформы достигает 1 т [6]. Грузоподъемность составляет около 500 кг. Дальность управления – до 3 км. Максимальная скорость движения – 32 км/ч.

Уран-9 является боевой гусеничной машиной массой 10 т [7], имеющей собственный



Рис. 3 Боевой робот Нерехта



Рис. 4. Боевой робот ARCV Black Knight

комплекс вооружения и способной двигаться, в том числе, в автоматическом режиме. Оснащен 30-миллиметровой автоматической пушкой и пулеметом калибра 7,62 мм. Также имеются противотанковые управляемые ракеты «Атака», противовоздушные ракеты «Игла», что позволяет вести огонь как по наземным, так и по низколетящим объектам. Кроме того, в составе вооружения представлен реактивный огнемет «Шмель-М». Дальность управления достигает 3000 м.

Учитывая возрастающие потребности в тяжелых безэкипажных машинах, в частности перспективу создания дистанционно управляемого танка на базе основных танков, находящихся на вооружении, можно сказать, что исследование и обоснование требований к системам подрессоривания таких машин является своевременным. Решение данной задачи позволит создать необходимую научно-практическую базу для развития безэкипажной быстроходной транспортной техники, в том числе специального назначения.

Однако необходимо отметить, что при использовании в качестве базы для роботизированных комплексов серийных машин, вероятнее всего, что их ходовая часть подвергнется минимальным изменениям. Поэтому данное исследование направлено на определение параметров ходовой части вновь разрабатываемых быстроходных робототехнических комплексов полной массой от 1 до 10 т. Объекты с большей массой охватываются существующими образцами БТАТ, а меньшей массы сложно выполнить в защищенном варианте и использовать на бездорожье.

### **Цель исследования**

С целью установления зависимости между нагрузкой, действующей на подвеску при движении машины по неровностям, и массой элементов подвески при выполнении условия прочности конструкции проводится исследование балансира, так как он является одной из наиболее нагруженных составных частей подвески.

### **Методы и средства проведения исследований**

Планируемое исследование состоит из трех этапов:

– описание математической модели нагруженного балансира. Проверка выполнения ус-

ловия прочности. В качестве исходных данных задается нагрузка. Результатом являются геометрические параметры сечения балансира;

– расчет балансира на прочность с помощью метода конечных элементов с использованием данных, полученных на первом этапе исследования;

– построение графика зависимости между нагрузкой на балансир и его массой.

В качестве объекта исследования выбирается гусеничная машина массой 10 т. По упругой и демпфирующей характеристикам определяются нагрузки, воздействующие на балансир при наиболее нагруженных его положениях, в том числе в случае пробоя.

В первом приближении балансир представляется в виде детали, состоящей из двух частей: оси и рычага. Каждая из этих частей имеет вид толстостенной трубы. Таким образом, балансир рассматривается в виде пространственной рамы, один конец которой имеет жесткое закрепление. Задача данного этапа состоит в том, чтобы прикладывая нагрузки к элементам балансира, провести расчет на прочность методами сопротивления материалов и вычислить геометрические параметры сечения, которые удовлетворяют условию прочности с необходимым коэффициентом запаса при заданном материале, из которого сделан балансир. Как правило, при изготовлении балансира используются легированные стали.

Условие прочности имеет следующий вид:

$$\sigma_p \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{n},$$

где  $\sigma_p$  – расчетные напряжения в рассматриваемом сечении;  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения;  $\sigma_T$  – предел текучести материала балансира;  $n$  – коэффициент запаса.

Используя полученные геометрические параметры балансира, строится его трехмерная модель (рис. 5) с целью проведения расчета на прочность методом конечных элементов. Моделируются наиболее неблагоприятные расчетные случаи. Нагрузка выбирается аналогично тому, как это выполнялось на первом этапе исследования. В рамках данного расчета уточняются действующие напряжения и корректируются геометрические параметры участков балансира. После этого для каждого значения нагрузки фиксируется значение массы. В результате график зависимости массы балансира от действующей на него на-



грузки имеет вид, представленный на рис. 6. Диапазон рассматриваемых значений нагрузок может выбираться для машин, имеющих различные массы.

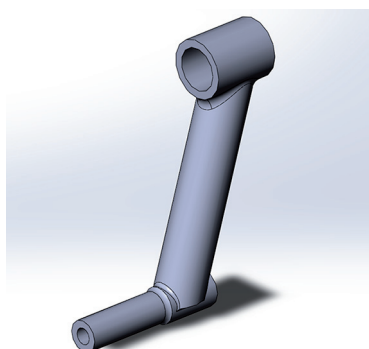


Рис. 5 Модель балансира

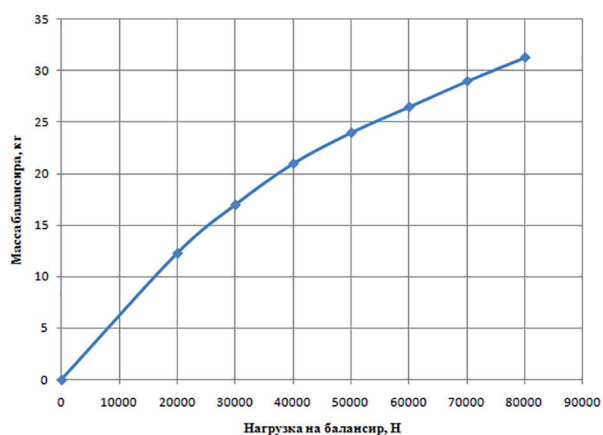


Рис. 6 Зависимость массы балансира от нагрузки

Также следует учитывать характер нагружения балансира. Колебательное движение машины влияет на долговечность элементов ходовой части. При движении по трассе с синусоидальным профилем на сравнительно высокой скорости водитель, находящийся внутри, будет интуитивно снижать скорость движения с целью избежать пробоя подвески. Однако для безэкипажной машины подобного ограничивающего фактора нет. Поэтому количество пробоев подвески будет возрастать. В общем случае оно зависит от профиля трассы и скорости движения и является случайной величиной. Согласно [4] наиболее опасным с точки зрения прочности конструкции для балансира является именно пробой подвески – жесткий удар балансира в упор корпуса машины. При пробое реакция под опорным катком может достигать десятикратного значения статической нагрузки. Для учета такого нагружения необходимо моделирование движения машины

по трассам с различными профилями (синусоидальным, случайным). Таким образом, прочностной расчет в совокупности с учетом вероятностных характеристик возникновения пробоя подвески позволяют провести адекватную оценку надежности и долговечности балансира. Данные рассуждения применимы и к остальным элементам подвески и гусеничного движителя.

Также стоит отметить, что проектирование современных гусеничных машин требует внедрения технологичных методов производства. Одним из таких методов является оптимизация конструкции. Целью оптимизации является создание изделия с оптимальной или наилучшей конструкцией с учетом назначения изделия и основных его функций. Она может быть проведена по какому-либо одному или нескольким параметрам (масса, прочность, жесткость). Применение методов оптимизации позволяет уменьшить массу изделия, сохраняя его работоспособность, исключить неоправданный перерасход материалов при изготовлении. В частности, при анализе балансира гусеничной машины можно добиться снижения его массы при неизменных прочностных характеристиках путем создания его особой геометрии с точки зрения оптимальной передачи усилия от опорного катка на корпус машины.

Учитывая, что сегодня активно развиваются методы трехмерной печати деталей (рис. 7), в том числе из металла, методы оптимизации конструкций в перспективе могут получить широкое распространение в различных областях науки и техники. Возможность использования данных методов применительно к разработке подвески и гусеничного движителя может способствовать улучшению определенных ее параметров, в том числе снижению массы, повышению надежности и долговечности.

### Заключение

Таким образом, развитие безэкипажной транспортной техники требует разработки специальных требований, которые предъявляются к конструкции таких машин, в частности к подвеске. Рассмотренные принципы ограничения относительной массы элементов подвески с учетом нагрузки на них могут в перспективе позволить осуществлять выбор рациональных характеристик системы поддрессирования на этапе проектирования.



Рис. 7. Изготовление металлической детали методом трехмерной печати

### Литература

1. Дмитриев А.А., Чобиток В.А., Тельминов А.В. Теория и расчет нелинейных систем подрессоривания гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1976. 207 с.
2. Дядченко М.Г., Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Конструкция и расчет подвесок быстроходных гусеничных машин. Часть 1. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 40 с.
3. Военные гусеничные машины: Учебник / В 4-х т. под ред. Э.К. Потемкина. Т.1. Устройство. Кн. 1. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1990. 380 с.
4. Буров С.С. Конструкция и расчет танков. М, Академия БТВ, 1973. 593 с.
5. Юферев С. Робот-сапер «Уран-6» // Военное обозрение. Режим доступа: <https://topwar.ru/62494-robot-saper-uran-6.html>.
6. At AUSA BAE Systems come back with its project of ARCV Armed Robotic Combat Vehicle 11503171. Режим доступа: [https://www.armyrecognition.com/weapons\\_defence\\_industry\\_military\\_technology\\_uk/at\\_aua\\_bae\\_systems\\_come\\_back\\_with\\_its\\_project\\_of\\_arcv\\_armed\\_robotic\\_combat\\_vehicle\\_11503171.html](https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/at_aua_bae_systems_come_back_with_its_project_of_arcv_armed_robotic_combat_vehicle_11503171.html).
7. Рябов К. Проект робототехнического комплекса «Нерехта» // Военное обозрение. Режим доступа: <https://topwar.ru/84742-proekt-robototekhnicheskogo-kompleksa-nerexhta.html>.
8. Даманцев Е. «Уран-9» и ACVR «Black Knight»: концептуальные различия в создании беспилотных средств огневой поддержки войск // Военное обозрение. Режим доступа: <https://topwar.ru/111354-uran-9-i-arcv-black-knight-konceptualnye-razlichiya-v-sozdanii-bespilotnyh-sredstv-ognevoy-podderzhki-voysk.html>.

### References

1. Dmitriev A.A., Chobitok V.A., Tel'minov A.V. *Teoriya i raschet nelinejnyh sistem podressorivaniya gusenichnyh mashin* [Theory and calculation of nonlinear suspension systems for tracked vehicles]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1976. 207 p.
2. Dyadchenko M.G., Kotiev G.O., Sarach E.B. *Konstrukciya i raschet podvesok bystrohodnyh gusenichnyh mashin* [Design and calculation of high-speed tracked vehicle suspension]. CHast' 1. Moscow: Izdatel'stvo MG TU im. N.EH. Baumana Publ., 2007. 40 p.
3. *Voennye gusenichnye mashiny* [Military tracked vehicles]: Uchebnik. V 4-h t. pod red. E.H.K. Potemkina. Vol. 1. Ustrojstvo. Kn. 1. Moscow: MG TU im. N.EH. Baumana Publ. 1990. 380 p.
4. Burov S.S. *Konstrukciya i raschet tankov* [The design and calculation of tanks]. Moscow, Akademiya BTV Publ., 1973. 593 p.
5. YUferev S. Robot-deminer «Uran-6». *Voennoe obozrenie*. URL: <https://topwar.ru/62494-robot-saper-uran-6.html>.
6. At AUSA BAE Systems come back with its project of ARCV Armed Robotic Combat Vehicle 11503171. URL: [https://www.armyrecognition.com/weapons\\_defence\\_industry\\_military\\_technology\\_uk/at\\_aua\\_bae\\_systems\\_come\\_back\\_with\\_its\\_project\\_of\\_arcv\\_armed\\_robotic\\_combat\\_vehicle\\_11503171.html](https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/at_aua_bae_systems_come_back_with_its_project_of_arcv_armed_robotic_combat_vehicle_11503171.html).
7. Ryabov K. Project of the Nerekhta robotic complex. *Voennoe obozrenie*. URL: <https://topwar.ru/84742-proekt-robototekhnicheskogo-kompleksa-nerexhta.html>.
8. Damancev E. «Uran-9» and ACVR «Black Knight»: conceptual differences in the creation of unmanned fire support of troops. *Voennoe obozrenie*. URL: <https://topwar.ru/111354-uran-9-i-arcv-black-knight-konceptualnye-razlichiya-v-sozdanii-bespilotnyh-sredstv-ognevoy-podderzhki-voysk.html>.

## SUBSTANTIATION OF THE REQUIREMENTS FOR THE SUSPENSION OF UNMANNED TRANSPORT VEHICLES

DSc in Engineering **E.B. Sarach**<sup>1</sup>, PhD in Engineering **I.A. Smirnov**<sup>2</sup>, **YA.A. Tkachev**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Higher Military Command School, Moscow, Russia

check-26@yandex.ru

*Currently, there is a proliferation of vehicles in which the presence of a driver or crew is not provided. They are controlled remotely or are able to move independently. These vehicles belong to the class of unmanned. Analysis of the development stages of the chassis for the traditional crew machine shows that the basic requirements for suspension systems are that the vertical accelerations acting on the driver and crew should not exceed certain values. However, for unmanned vehicles, these requirements are not applicable due to the absence of people in the vehicle body. Considering that unmanned vehicles must move in the same conditions as traditional ones, including cross-country terrain, in some cases along harmonic tracks, there is an urgent task to develop special requirements, which should be taken into account when designing chassis for unmanned vehicles as a separate class of transport equipment. The article proposes to consider some approaches to the definition of such requirements. In particular, when changing the load on the undercarriage elements, it is proposed to proceed from the condition that the vehicle should provide the possibility of transporting the payload, which is usually indicated in the terms of reference. In accordance with this statement, the necessity of studying the most loaded suspension elements is justified, as a result of which it is possible to predict the mass characteristics of the designed chassis. This paper identifies key problems and suggests some ways to solve them. Based on the above material, some conclusions have been made that can be used in further work in solving practical problems in this area.*

**Keywords:** tracked vehicle, undercarriage, unmanned vehicle.