

УДК 629.3.027.74

**П.Е. Дмитриев**  
**РЕЗИНОВЫЙ ТРАК С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ШАРНИРОМ**  
**ДЛЯ ГУСЕНИЧНОЙ ЦЕПИ ЛЕГКОГО ВЕЗДЕХОДА**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

В статье отражена работа по созданию трака гусеничной цепи, а также особенности конструкции и технологии изготовления отдельных элементов гусеничной цепи. Основная идея, заложенная в конструкции – исключить шарниры между траками и обеспечить изгибную податливость трака во всем его объеме. Указанная задача решается применением гибкого армирования трака из высокопрочного синтетического волокна, а также использованием резиновых смесей с наполнителем, обеспечивающим повышенную износостойкость. Приводится комплекс работ на всех стадиях, начиная от проектирования, производства и, заканчивая, испытаниями опытных образцов. Целью данных мероприятий является создание гусеничного движителя с высокими технико-эксплуатационными свойствами для легких гусеничных вездеходов полной массой до 2 т. В результате гусеничная цепь, созданная на базе разработанных резиновых траков, находит широкое применение не только на легких гусеничных вездеходах, но и на малогабаритных спецшасси, несущих различное технологическое оборудование.

**Ключевые слова:** трак, гусеничная цепь, гусеничный движитель, шарнир трака.

Над созданием и совершенствованием конструкции гусеничного движителя специалисты работают более 100 лет. Благодаря таким ученым, как А.С. Антонов, И.Б. Барский, Н.А. Забавников, В.Ф. Платонов, Н.А. Носов, А.В. Князев, Н.Б. Веселов, В.А. Антоненц, В.В. Беляков, Л.В. Барахтанов и др., сформировалась значительная научная база. Современные требования к гусеничным машинам, а также разработка новых материалов и технологий, стимулируют к поиску новых резервов совершенствования элементов гусеничного движителя. Как известно, краеугольным камнем гусеничного движителя является трак или гусеничная цепь. Проблема расчета и создания универсальной гусеницы обусловлена трудностями формализации задачи о динамике гусеничного трака, а именно, необходимостью учета большого числа переменных, существенно нелинейным характером краевых условий.

В настоящий период можно наблюдать большое разнообразие конструктивных решений гусеничных движителей, которым следуют основные производители серийной вездеходной техники. Рассмотрим основные преимущества и недостатки гусеничных движителей.

**Звенчатость гусеничной цепи.** Известны звенчатые (траковые), сегментные и ленточные гусеницы. Траковые (классические) гусеницы обладают высокой жесткостью при растяжении и кручении, что снижает вероятность их спадания. Траковые гусеницы более ремонтпригодны, т.к. возможно заменить лишь поврежденный трак. Также траковые гусеницы требуют менее дорогостоящую оснастку при производстве. Ленточные гусеницы конкурируют со звенчатыми по весовым показателям и себестоимости. Кроме того, ленточные гусеницы, по определению, выполнены из эластичного материала, т.е. не выдерживают длительной эксплуатации, например, на скальных грунтах и др. абразивных покрытиях.

**Наличие или отсутствие поддерживающих катков.** Гусеничные движители с отсутствием поддерживающих катков по необходимости имеют большие диаметры опорных катков, характеризуются повышенными колебаниями верхнего гусеничного обвода при движении на высоких скоростях. Кроме того, так как верхняя часть гусеничного обвода должна лежать на опорных катках, существенно усложняются ограничения на компоновку ведущего колеса и ленивца.

**С передней или задней ведущей звездочкой.** Переднее или заднее расположение ведущей звездочки зачастую принимается из компоновочных соображений. При переднем расположении ведущей звездочки в напряженном состоянии от тягового усилия находится верхняя ветвь гусеницы, что снижает ее склонность к биениям и высокоамплитудным колебаниям при высоких скоростях движения. Но в этом случае в напряженном состоянии находится большое число шарниров (если гусеница звенчатая) часть которых работает с угловым перемещением, что приводит к большим потерям, нежели при заднем расположении ведущего колеса. Также, при переднем расположении ведущей звездочки значительное усилие воспринимается ленивцем, которое возрастает при увеличении тягового усилия.

**С двойным или одинарным опорным катком.** Двойные опорные катки считаются более сложными в изготовлении и тяжелыми, но обеспечивают лучшее удержание гусеницы от спадания и кручения. Кроме того, для удержания гусеницы двойным катком требуется один центрально расположенный клык, а для удержания одинарным катком – два ограничивающих боковых клыка, что увеличивает материалоемкость и массу трака.

**С открытым, закрытым или резинометаллическим шарниром.** Открытый шарнир отличается простотой и дешевизной. Из-за отсутствия защиты от попадания посторонних частиц и вредных воздействий окружающей среды имеет ограниченный ресурс 3-5 тыс. км пробега. Закрытый шарнир имеет защиту трущихся поверхностей, причем защитное резиновое уплотнение частично воспринимает нагрузки и работает подобно сайлентблоку. Закрытый шарнир отличается высокой стоимостью, сложностью разборки, но обеспечивает высокую жесткость гусеницы как при растяжении, так и при кручении (подобно открытому шарниру), а также обеспечивает высокий ресурс до 10 тыс. км пробега. Резинометаллический шарнир (РМШ) представляет собой обрешиненный палец, который работает как сайлентблок. Существенным недостатком РМШ является низкая жесткость гусеницы при растяжении и кручении, поэтому применение его оправдано на легких транспортных машинах.

**Зацепление цевочное, зубовое, гребневое или фрикционное.** В настоящее время наибольшее распространение получило цевочное зацепления трака с ведущим колесом, причем существуют одно-, двухшаговые и многошаговые варианты профиля зуба и цевки. Цевочное зацепление обеспечивает устойчивое положение трака в зацеплении, малые ударные нагрузки при вхождении и схода трака в зацеплении. При зубовом и гребневом зацеплениях возникают выворачивающие моменты сил, а также сложности с компоновкой зацепления. Фрикционный способ сцепления ведущего колеса с гусеницей применяется только на сверхмалых машинах.

**С параллельным или последовательным шарниром.** Параллельный шарнир применяется на тяжелых гусеничных машинах и тягачах т.к. имеет наибольшую длину втулки, по которой воспринимается нагрузка. Кроме этого благодаря удвоенному количеству шарниров на единицу длины гусеницы (по сравнению с последовательным шарниром) снижается абсолютное угловое перемещение в каждом отдельном шарнире, что существенно повышает долговечность всей гусеницы в целом. Гусеницы с параллельным шарниром отличаются большей массой, высокой ценой. Параллельный шарнир имеет меньшую длину втулок что, с одной стороны, усложняет защиту шарнира, но улучшает схему нагружения пальца по сравнению с параллельным шарниром.

**Ширина гусеницы и уширители.** Как и большинство параметров гусеничного движителя, ширина является компромиссным параметром, принимаемым из соображений наибольшей вероятности движения по грунтам со среднестатистическими величинами физико-механических параметров (если быть точным, то последнее утверждение имеет место только для частного случая закона распределения вероятности). Поэтому необоснованное стремление к большей ширине гусеницы на некоторых опорных основаниях приводит к большому сопротивлению движению и к большому износу самой гусеницы. Так, например, при движении гусеничного движителя по опорному основанию, которое имеет

слабонесущий верхний слой и твердое подстилающее основание, узкий движитель продавливает и выжимает в стороны из-под пятна контакта материал верхнего слоя и осуществляет надежный контакт с нижним слоем.

С учетом известных на данном этапе конструктивных исполнений траков гусеничных цепей, а также проведенного анализа преимуществ и недостатков отдельных решений, была выработана оригинальная конструкция трака, которая не является традиционной и защищена патентом на полезную модель. Данная конструкция, благодаря использованию современных материалов и технологий, а также методов расчета, обладает наиболее высокими технико-эксплуатационными свойствами по сравнению с аналогами. Основная конструктивная особенность заключается в том, что трак изгибается посередине (в теле), а соединение траков между собой является жестким, что обеспечивает отсутствие открытых трущихся поверхностей. Твердотельная 3D-модель трака показана на рис. 1. Трак имеет гибкий несущий каркас, который заполнен специальной резиновой смесью, высокостойкой к истиранию, относящейся к группе силовых резин, с армирующим наполнителем и рабочим диапазоном температур от +200 до -60 °С. Полностью резиновый трак исключает склонность к обледенению и придает свойство самоочищаемости от грязи. Протектор трака обеспечивает высокий коэффициент сцепления, а также низкую повреждаемость почвы (травяного слоя).

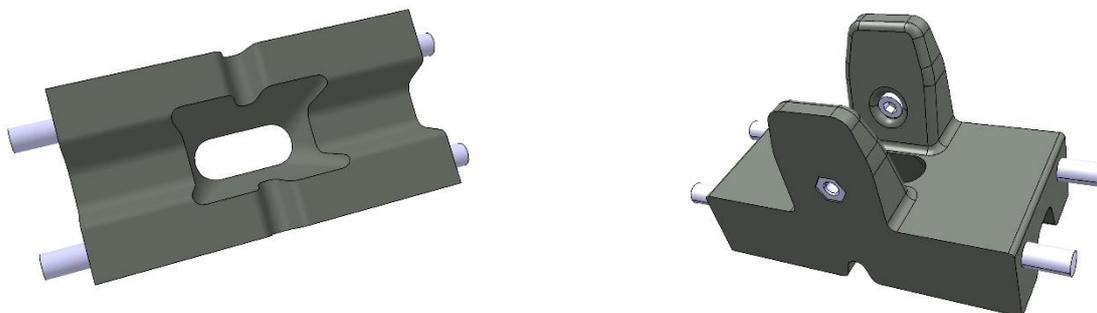


Рис. 1. 3D-модель трака

Одним из высоконагруженных элементов гусеничного движителя является цевка. Конструкция и технология производства цевки должна обеспечивать малую массу, простоту сборки, минимум дополнительной обработки, точность посадки и минимальную цену при определенном объеме производства. В совокупности удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к данному элементу, не представляется возможным. Оптимальным способом производства с учетом выше приведенных требования является технология точного литья по газифицированным моделям. На рис. 2 показана пенопластовая газ-модель цевки и ее точная отливка.



Рис. 2. Пенопластовая газ-модель цевки и ее точная отливка

По твердотельной 3D-модели трака проектировалась стальная форма для вулканизации резиновой смеси под давлением с определенной температурой (рис. 3). Изготовленные опытные образцы траков (рис. 4) многократно испытывались на разрывной машине, с использованием современной высокоскоростной камеры и регистрирующей аппаратуры. По результатам испытаний строились нагрузочные диаграммы, пример которой приведен на рис. 5.



Рис. 3. Обрезинивание трака и испытания на разрывной машине

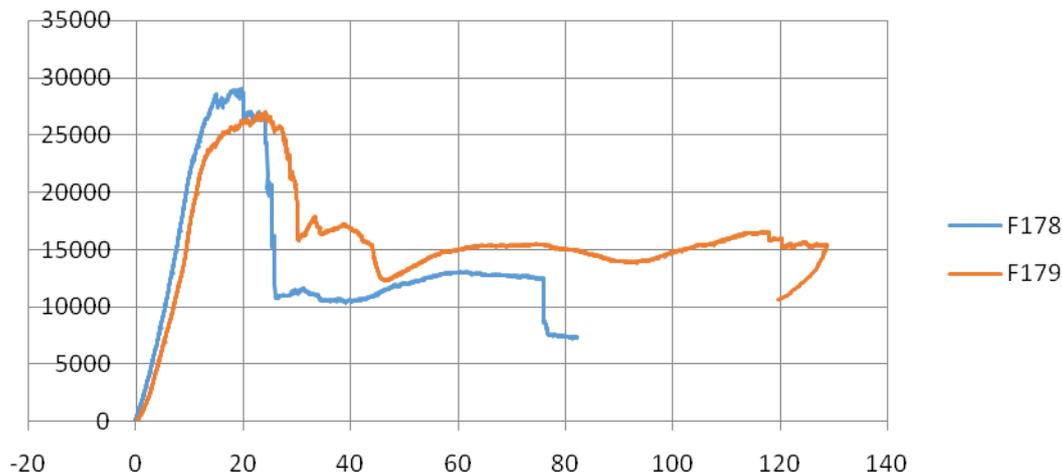


Рис. 4. Опытные образцы гибких траков

Анализ нагрузочных диаграмм, полученных на разрывной машине, позволил выбрать материал каркаса, а также оптимальные его размеры. Наилучшие показатели относятся к стальному гибкому армированию и кевларовому волокну. Как видно из графика (рис. 5), существует линейная зона деформации трака; при достижении разрывного усилия 3 тонны каркас трака, выполненный из текстильного волокна, разрушается. Деформация при разрушении трака составляет приблизительно 15 мм.

В результате созданная гусеница на основе обрезиненных траков со стальным гибким каркасом успешно прошла эксплуатационные испытания и применяется на малых и сверхмалых гусеничных машинах и спецшасси. Созданный трак является базовым элементом в типоразмерном ряду гусениц для сверхлегких вездеходов: на его основе

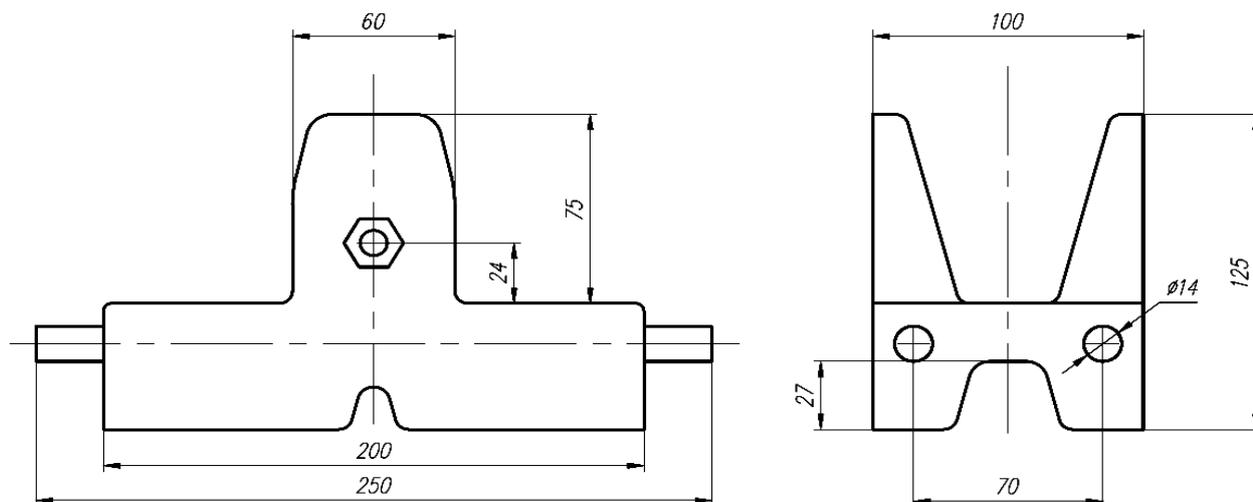
допускается создание модификаций под конкретные требования заказчика и условия работы трака. Так, например, изменению подвергаются следующие параметры: уширяется трак (ширина 200–300мм), увеличивается шаг, выполняется более развитый протектор, используются разные составы резиновых смесей, в том числе и с армированием волокнами и т. п.



**Рис. 5. Нагрузочная диаграмма трака: зависимость разрывного усилия от деформации**

В результате созданная гусеница на основе обрезиненных траков со стальным гибким каркасом успешно прошла эксплуатационные испытания и применяется на малых и сверхмалых гусеничных машинах и спецшасси. Созданный трак является базовым элементом в типоразмерном ряду гусениц для сверхлегких вездеходов: на его основе допускается создание модификаций под конкретные требования заказчика и условия работы трака. Так, например, изменению подвергаются следующие параметры: уширяется трак (ширина 200–300мм), увеличивается шаг, выполняется более развитый протектор, используются разные составы резиновых смесей, в том числе и с армированием волокнами и т. п.

Геометрические параметры базового трака показаны на рис. 6. Основные физико-механические параметры трака приведены в табл. 1.



**Рис.6. Геометрические параметры эластичного трака**

*Таблица 1. Геометрические и физико-механические параметры трака*

| №   | Наименование параметра         | Величина/характеристика |
|-----|--------------------------------|-------------------------|
| 1.  | Максимальное тяговое усилие, Н | 30000 (3000 кг)         |
| 2.  | Номинальное тяговое усилие, Н  | 6000 (600 кг)           |
| 3.  | Максимальный угол изгиба, град | 40                      |
| 4.  | Ширина трака активная, мм      | 200                     |
| 5.  | Габаритная ширина трака, мм    | 250                     |
| 6.  | Высота протектора, мм          | 25                      |
| 7.  | Материал трака (наполнение)    | Смесь резиновая         |
| 8.  | Каркас трака                   | Гибкий стальной         |
| 9.  | Пробег гусеницы, км            | 5000                    |
| 10. | Тип зацепления звездочки       | Цевочное, многошаговое  |

*Библиографический список*

1. Платонов, В.Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя [Текст] / В.Ф. Платонов. – М., «Машиностроение», 1973.– 232с.
2. Дмитриев, П.Е. Цепь гусеничная с эластичными траками [Текст] / П.Е. Дмитриев, Н.А. Скопин. – Полезная модель 163206, Российская Федерация МПК В62D 55/24. – №2016104009/11; заявл. 08.02.2016; опубл. 10.07.2016 г., бюл.№19.