
Конструктивные особенности современных горных велосипедов, часть 3.

Ян Дижо, к.т.н., доц.*

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2560

Мирослав Блатницкий, к.т.н., доц.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Вадим Васильевич Ищук, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Денис Молнар, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Себастьян Солчанский, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Борис Плайдичко, Бц.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, Универзитна 1, 010 26 Жилина.

Design solutions of modern terrain bikes, the 3rd part

Abstract: MBT bikes (or mountain bikes) are widely used bikes, which serve the most often for sport purposes. These bikes are produced in more variants and they differ by several signs. There are dimensions, weight categories, used accessories and others. Together with this, there are different technical solutions, which make them different to each other. Usually, it refers to technical solutions of suspension system of a rear wheel of also a front wheel. A rear wheel can be suspended by different systems, which lead to different characteristics are provide different riding properties. This contribution presents an overview current technical solutions of these systems.

Keywords: terrain bike, design, suspension system.

ВВЕДЕНИЕ

Основным конструктивным элементом горных велосипедов является велосипедная рама. Геометрия

рамы и ее структурная компоновка влияют на ездовые характеристики велосипеда.

Горные велосипеды в большинстве случаев оснащены передней амортизационной вилкой

различных конструкций. Подвеска заднего колеса велосипеда может быть двух разных конструкций, либо амортизационной (в таком случае говорим о велосипеде с полной подвеской), либо жесткой (если велосипед не оборудован системой подвески, так называемые хардтейлы).

Для характеристики явлений, происходящих в подвеске внедорожных велосипедов, используются термины: прогрессивность подвески, эффективная передача усилия на педали (*anti-squat*), блокировка подвески при торможении (*anti-rise*) и отдача педали (*pedal kick*).

1 ПРОГРЕССИВНОСТЬ ПОДВЕСКИ

Прогрессивность подвески велосипеда присутствует во всех типах систем подвески, кроме однорычажной. В системе с одним рычагом (шарниром) сжатие амортизатора происходит линейно, подвеска сохраняет ту же линейную прогрессию на протяжении всего хода амортизатора. Таким образом, величина усилия, необходимого для сжатия подвески в разных точках хода амортизатора, зависит от жесткости самого амортизатора и от коэффициента предварительной нагрузки. При линейной характеристике во всем диапазоне сохраняется равномерное соотношение шарнирного соединения, которое можно выразить формулой [1]:

$$PP = \frac{z}{t}, \quad (1)$$

где z [мм] - ход заднего колеса,

t [мм] - длина штока поршня амортизатора.

Прогрессивная подвеска характеризуется увеличением сопротивлением на втягивание амортизатора во время хода амортизатора, даже если жесткость амортизатора остается неизменной. Различные типы систем подвески демонстрируют разную прогрессивность. При прогрессивной характеристике соотношение шарнирного соединения уменьшается в зависимости от сжатия амортизатора. В этом случае можно определить только среднее значение соотношения шарнирного соединения. Тип прогрессивности определяется по разности соотношений шарнирного соединения в начале и конце хода подвески в соответствии с формулой (2), а затем сравнивается со значениями, приведенными в Таблице 1:

$$RPP = PP_1 - PP_2, \quad (2)$$

где PP_1 соотношение шарнирного соединения в начале хода колеса,

PP_2 соотношение шарнирного соединения в конце хода колеса.

Амортизаторы также отличаются прогрессивностью. Характеристика амортизаторов с металлической пружиной имеет более линейную прогрессию, характеристика амортизаторов с воздушной системой более прогрессивная. На

степень прогрессивности воздушного амортизатора можно влиять, изменяя объем воздуха в камере амортизатора [2]. Значения RPP в соответствии с соотношением (2) для различных характеристик приведены в Таблице 1.

Таб. 1. Значения для определения типа прогрессивности

Тип характеристики	Значение RPP в соответствии с (2)
Регрессивная	менее чем -0,5
Линейная	-0,5 ÷ 0,5
Прогрессивная	0,5 ÷ 1,0
Суперпрогрессивная	более чем 1,0

1.1 Эффективная передача усилия на педали (*anti-squat*)

Характеристика подвески, называемая «*anti-squat*» помогает максимально повысить эффективность передачи мощности от велосипедиста к велосипеду и ограничивает раскачивание задней его части при педалировании, которое наблюдается при пересечении пересеченной местности или препятствий. Это значение может быть выражено в процентах и указывает на сопротивление сжатию амортизатора при педалировании. В тот момент, когда задняя конструкция велосипеда должна сдвинуться в результате педалирования и вызвать сжатие амортизатора, сила от системы передачи усилия начинает действовать на амортизатор в обратном направлении и помогает сместить его шток и вернуть его в исходное положение. 100% «*anti-squat*» говорит о полной нейтрализации силы, возникающей при нажатии на педали. В этом случае сила, возникающая при педалировании, действуя через цепь, будет смещать амортизатор. 0% «*anti-squat*» означает нулевое воздействие на амортизацию, и сила, возникающая при нажатии на педали, приводит к сжатию амортизатора и перемещению велосипедиста [2, 3].

1.2 Блокировка подвески при торможении (*anti-rise*)

Параметр «*anti-rise*» оценивает влияние заднего тормоза на работу подвески при его применении. При торможении центр тяжести велосипедиста перемещается вперед под действием инерционной силы, что вызывает поднятие задней подвески (от англ. *rise*). «*Anti-rise*» представляет собой блокировку движения задней части велосипеда во время торможения, в результате чего она остается в своем основном положении и может поглотить следующую возможную неровность рельефа без потери амортизационных свойств [2]. Чем выше значение «*anti-rise*», тем выше безопасность передвижения по пересеченной местности. Это

становится особенно важным при прохождении спусков.

1.3 Отдача педалей (pedal kickback)

Нежелательный эффект отдачи педалей (*pedal kickback*) важно учитывать при проектировании механизма подвески велосипеда, и его следует устранять по мере возможности или исключить совсем. Его величина определяет конструкцию итоговой системы подвески. Отдача на педали возникает из-за того, что задний рычаг удлиняется во время работы подвески, при этом необходимо обеспечить удлинение цепи. Цепь удлиняется простым поворотом кассеты переключателя. Но если кассета не может вращаться вперед, потому что заднее колесо заблокировано или вращается медленнее, ее нужно вращать назад. Это движение шатунов в случае не вращающейся кассеты называется отдачей. Значение «anti-squat» также важно в этом контексте, чем выше значение «anti-squat», тем больше отдача, которую производит педаль [4].

2 ВЕЛОСИПЕДНЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ

Каждый из типов горных велосипедов имеет свои специфические требования к системе подвески, а именно, к амортизаторам. В некоторых случаях необходимо сохранить как можно меньший вес амортизатора наряду с высокой выносливостью или производительностью (например, на тяжелом техническом рельефе, при быстрой езде), иногда важнее гасить большие отскоки.

Основными типами амортизаторов являются (рис. 1) [5]:

- пневматические амортизаторы без расширительного бачка,
- пневматические амортизаторы с расширительным бачком,
- пружинные амортизаторы.



Рис. 1. Типы задних амортизаторов: 1 - воздушный без расширительного бака, 2, 3 - воздушный с расширительным бачком, 4 - пружинный [5]

3 ЗАДНЯЯ ВЕЛОСИПЕДНАЯ ПОДВЕСКА

Подвеску заднего колеса можно описать как механизм с одной степенью свободы, состоящий из системы двух взаимосвязанных частей, которые работают вместе. Первая часть - это способ соединения заднего колеса с рамой, вторая часть - способ установки и крепления амортизатора по отношению к первой части подвески, т.е. соединение с подвижной частью рычага механизма треугольного рычага рамы.

Исходя из статической оценки механизма, степени свободы могут быть определены следующим расчетом:

$$n = 3 \cdot (u - 1) - 2 \cdot (r + p + v) - 1 \cdot o, \quad (3)$$

где n - итоговое число степеней свободы,

u - количество тел системы,

r - количество поворотных связей,

p - количество скользящих связей,

v - количество связей качения,

o - количество общих связей.

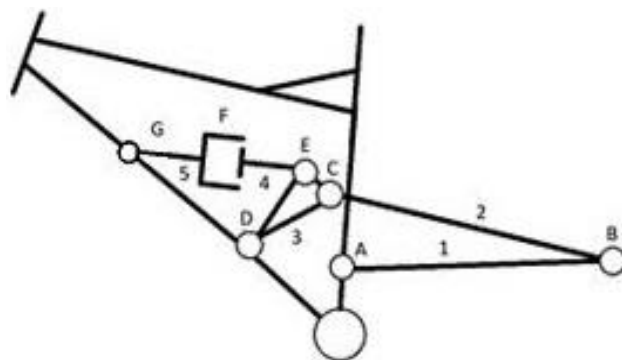


Рис. 2. Схематический чертеж механизма подвески рамы в виде шарнирно-рычажной системы

На рис. 2 рама велосипеда перерисована в статическую схему в виде шарнирно-рычажной системы, где буквы обозначают звенья, а цифры - тела, составляющие механизм. Это наиболее часто используемый механизм подвески, для которого степени свободы могут быть рассчитаны путем подстановки в соотношение (3) следующим образом:

$$n = 3 \cdot (6 - 1) - 2 \cdot (6 + 1 + 0) - 1 \cdot 0, \quad (4)$$

$$n = 1.$$

3.1 Одношарнирная система (Linear Direct Link)

В одношарнирной подвеске механизм состоит из одного рычага и одного вращающегося звена. Они соединены с амортизатором. Таким образом, задняя часть конструкции соединяется с передней только в одной точке, и амортизатор сжимается напрямую, без каких-либо дополнительных вспомогательных компонентов [2]. Особенности этого типа

являются чувствительная и быстрая реакция на любой толчок благодаря единой поворотной тяге, которая обеспечивает низкое трение в шарнире, а также высокая чувствительность задней конструкции к изменениям настроек амортизации. Движение рычага задней подвески постоянно, ось заднего колеса движется по круговой траектории, благодаря чему достигается линейная реакция подвески. Преимуществом этой системы подвески является низкое давление, необходимое в амортизаторе, поэтому отсутствует быстрый износ амортизатора [6]. Кинематическое представление системы подвески велосипеда Orange с одним шарниром, созданной в программном обеспечении *Linkage X3*, показано на рис. 3.

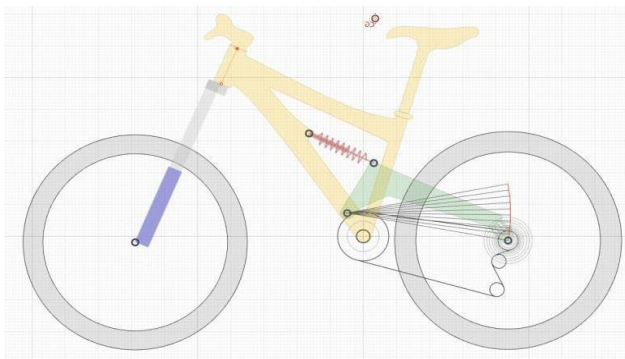


Рис. 3. Кинематическое изображение одношарнирной системы подвески

3.2 Одношарнирная система с дополнительной кулисой (Low Ratio - System)

Как и в случае с одношарнирной подвеской, задняя конструкция соединена с передним треугольником рамы одним шарниром. Разница заключается в системе сжатия амортизатора, который сжимается не напрямую, а через кулисы или систему кулисных рычагов, так что соотношение шарнирного соединения изменяется во время движения задней конструкции [2].

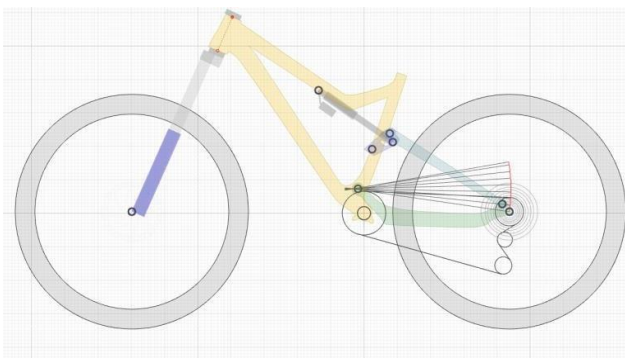


Рис. 4. Кинематическая схема одношарнирной системы подвески с дополнительной кулисой

Таким образом, достигается прогрессивность хода задней подвески, и система гораздо менее чувствительна к раскачиванию. Система гарантирует высокую чувствительность к любым раздражителям без нежелательного раскачивания при педалировании.

Преимуществом этой системы является возможность использования низкого давления в амортизаторе, что уменьшает износ амортизатора и, следовательно, снижает необходимость частого обслуживания амортизатора и нагруженных подшипников. Кинематическая схема одношарнирной подвески велосипеда изображена на рис. 4.

3.3 Четырехшарнирная система (Horst Link)

Четырехшарнирная система подвески представляет собой независимую рычажную систему, в которой верхний рычаг заднего треугольника отделен от нижнего рычага шарниром. Она характеризуется тем, что шарнир расположен на нижнем рычаге заднего треугольника, перед точкой крепления колеса. Поскольку задняя ось колеса не соединена непосредственно с передним треугольником рамы, она не движется по идеальной окружности [2]. Колесо может двигаться по эллиптической или неравномерной траектории. Оно описывает кривую вокруг виртуальной точки, называемой мгновенным центром, обозначаемым *IC*. Проблема с этой системой подвески может заключаться в том, что она слишком мягко реагирует на торможение, создавая впечатление "плавания" [6]. Кинематическая схема четырехшарнирной системы подвески изображена на рис. 5.

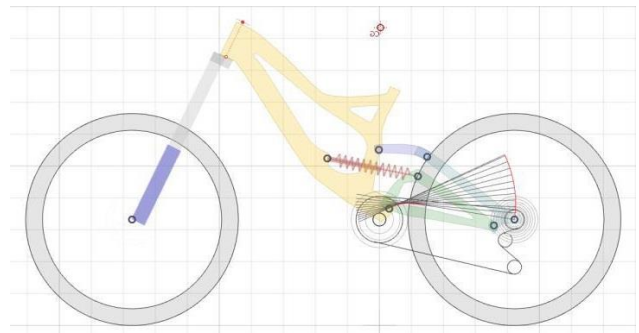


Рис. 5. Кинематическое изображение четырехшарнирной системы подвески

3.4 Twin Link

Система *Twin Link*, как и одношарнирная, имеет конструкцию заднего треугольника, которая не разделена шарниром. В отличие от одношарнирной системы, он крепится к переднему треугольнику рамы не напрямую, а через систему двойных звеньев. Система подвески балансирует силы, возникающие при движении велосипеда, устраняя нежелательное раскачивание при педалировании и обеспечивая полностью плавную езду по неровной поверхности трассы. Этот баланс может быть эффективным только при правильной настройке амортизатора. Кинематическое изображение системы подвески *Twin Link* велосипеда *Santa Cruz* типа *VPP* показано на рис. 6.

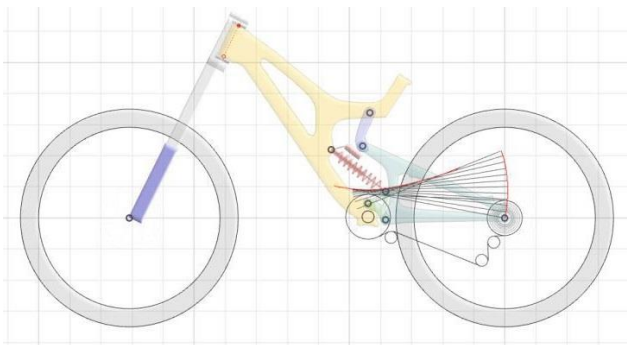


Рис. 6. Кинематическое изображение системы подвески Twin Link типа VPP Santa Cruz

3.5 Система с высоким шарниром (High Pivot Point)

Велосипеды с системой подвески с высоким шарниром обычно используют одношарнирную конструкцию подвески, но точка шарнира расположена высоко над шатунными подшипниками. Для устранения неприятно сильной отдачи от педалей используется дополнительный натяжной ролик, который направляет цепь вверх через точку вращения [4].

Преимущество этой системы заключается в том, что задняя ось смещается назад, что помогает заднему колесу лучше поглощать большие удары и справляться с угловыми неровностями. Это также способствует повышению общей эффективности педалирования. Недостатком этой конструкции является повышение потребности в обслуживании трансмиссии из-за натяжного ролика. Эту систему можно встретить почти исключительно на даунхильных велосипедах, например, *Commencal* или *Norco* [2]. Кинематическое изображение системы подвески велосипеда с высоким шарниром показано на рис. 7.

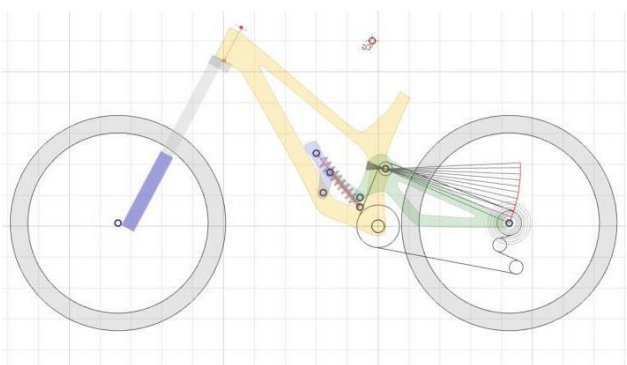


Рис. 7. Кинематическое изображение системы подвески с высоким шарниром

4 СИСТЕМЫ ПОДВЕСКИ ПЕРЕДНЕГО КОЛЕСА

Подвеска переднего колеса обеспечивается передней вилкой. Подвеска вилки обеспечивается двумя основными упругими элементами - пружиной или воздухом. Пружинящие свойства должны быть

сбалансированы амортизирующей средой, которая в самых простых пружинных вилках может быть на основе масла, а в более совершенных с воздушным поршнем или эластомером. Наилучшие амортизационные свойства имеют пружинные вилки на масляной основе. В воздушных вилках в качестве амортизирующей среды может использоваться масляная или воздушная система.

4.1 Передняя пружинная вилка

В пружинных вилках пружинящим элементом является стальная или титановая пружина. Она имеет линейную форму волны амортизации во всем диапазоне от начала до конца хода. Преимуществом является более быстрая и чувствительная реакция на неровности по сравнению с воздушной вилкой и постоянная реакция, не зависящая от температуры окружающей среды. Жесткость пружины следует выбирать в зависимости от веса велосипедиста и стиля езды. Недостатком этого типа амортизации является склонность к сжатию поршня до упора при внезапном и сильном ударе, что может привести к повреждению штока поршня. Чтобы устранить возможность повреждения при полной остановке, в пружинные амортизаторы обычно вставляют резиновые стопорные кольца [7]. Еще одним недостатком является большой вес вилки, что не является препятствием для более тяжелых типов велосипедов, таких как велосипеды для даунхилла.

4.2 Predná vzduchová vidlica

В пневматических вилках воздух является амортизирующей средой. Он имеет нелинейную, прогрессирующую форму волны амортизации. По мере углубления штока поршня сопротивление воздуха увеличивается. Таким образом, сжатие поршня до упора происходит не так быстро, как в пружинных вилках. С помощью специального насоса возможна точная регулировка давления в подвеске. Преимуществом пневматических вилок является меньший вес по сравнению с пружинными вилками. Однако на пневматические амортизаторы влияют температура окружающей среды, влажность и высота над уровнем моря. Таким образом, эффективность их работы не является постоянной при любых условиях окружающей среды. Недостатком воздушных вилок также является изменение реакции на неровности при длительных нагрузках, когда сжатый воздух перегревается и подвеска становится более жесткой [7].

ВЫВОДЫ

Как видно из представленных технических решений, конструкция подвески горного велосипеда не является однозначно данной, а различается в зависимости от предназначения и от требований к характеристикам подвески.

Зависит также, какой именно тип подвески будет использоваться от пользователя и от условий езды, для которых предназначен велосипед. Они различаются по сложности и, соответственно, по цене, поэтому при выборе конкретного типа необходимо учесть все условия и выбрать наиболее подходящую систему.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ANDREXTR (2016): *MTB rear suspension (Ep. 1): Fundamentals*. [cit. 2020-05-29]. Dostupné na: <https://youtu.be/A1dUV6pYztg>.
- [2] STOTT, S. (2019): *Zadné odpruženie*.

Kompletný sprievodca. In: *Biker*. 11(1), 90-93. ISSN 1337-981X EV 3231/09.

[3] FELT (2015): *FELT Decree. Technické vlastnosti* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné na: http://www.feltbicykle.sk/data/technologie/26/decree_sk.pdf

[4] KOBIDA, T. (2017): *Typy odpruženia horských bicyklov a základné pojmy* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné na: <https://kubicasport.eu/clanok/typy-odpruzenia-horskych-bicyklov-a-zakladne-pojmy>

[5] MARTINUX (2013): *Prehľad systémov pruženia* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné na: <https://www.mtbiker.sk/clanky/5790/prehľad-systemov-pruzenia.html>

[6] WARZONE (2018): *Tlmiče – základné rozdelenie* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné na: <https://www.mtbiker.sk/clanky/10570/tlmice-zakladne-rozdelenie.html>

[7] STANK, K. (2019): *Spoznaj svoje tlmenie a konečne ho vylad' ako pán* [online]. 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné na: <https://www.redbull.com/sk-sk/mtb-bike-tlmenie-odpruzenie-slovník-local-pojmy-vysvetlene>.