

## «УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЕЙ»; Трансмиссия

курс 3 Электронный урок №4 Типы дифференциалов, устройство и принцип работы

*Задание выполнить в рабочих тетрадях:*

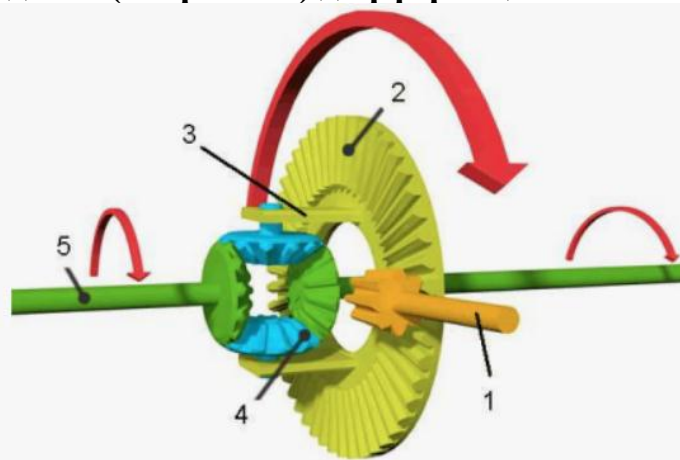
1. Что такое дифференциал и каково его основное назначение в трансмиссии автомобиля?
2. В чём принципиальное отличие межколёсного и межосевого дифференциалов?
3. Почему при потере сцепления одним колесом автомобиль с открытым дифференциалом может застрять?
4. Что такое коэффициент блокировки дифференциала и как он определяется?
5. Как устроен и работает фрикционный самоблокирующийся дифференциал (Clutch-type LSD)?
6. Почему вискомуфты постепенно вытесняются с рынка, и какие основные недостатки ограничивают их применение?
7. В чём заключается принцип работы дифференциала Torsen, и почему он называется «чувствительным к крутящему моменту»?

### **1. Виды и особенности дифференциалов**

Дифференциал служит для распределения подводимого к нему крутящего момента между выходными валами и обеспечивает возможность их вращения с неодинаковыми угловыми скоростями. При движении автомобиля на повороте внутреннее колесо каждой оси проходит меньшее расстояние, чем ее наружное колесо, а колеса одной оси проходят различные пути по сравнению с колесами других осей. Различные пути проходят колеса автомобиля при движении по неровностям на прямолинейных участках и на повороте, а также при прямолинейном движении по ровной дороге в случае неодинаковых радиусов качения колес, например при неодинаковом давлении воздуха в шинах, неодинаковом износе шин, при неравномерном распределении нагрузки на оси автомобиля. Если бы все колеса вращались с одинаковой скоростью, это неизбежно приводило бы к проскальзыванию и пробуксовыванию колес относительно опорной поверхности, следствием чего явились бы повышенный износ шин, увеличение нагрузок в механизмах трансмиссии, затраты мощности двигателя на работу скольжения и буксования, повышение расхода топлива, трудность поворота машины. Таким образом, колеса автомобиля должны иметь возможность вращаться с неодинаковыми угловыми скоростями относительно друг друга. У неведущих колес это обеспечивается тем, что они установлены свободно на своих осях и каждое из них вращается независимо друг от друга. У ведущих колес это обеспечивается установкой в их приводе дифференциалов.

По месту расположения дифференциалы делят на межколесные (распределяющие крутящий момент между ведущими колесами одной оси) и межосевые (распределяющие крутящий момент между главными передачами двух ведущих мостов). По соотношению крутящих моментов на ведомых валах дифференциалы подразделяют на симметричные (моменты на ведомых валах всегда равны между собой) и несимметричные (моменты на ведомых валах всегда находятся в определенном соотношении, не равном единице). Различают также дифференциалы неблокируемые, блокируемые принудительно, самоблокирующиеся. По конструкции дифференциалы бывают шестеренчатые конические, шестеренчатые цилиндрические, кулачковые, червячные. В некоторых случаях вместо дифференциалов устанавливают механизмы типа муфт свободного хода. Наиболее распространены симметричные конические дифференциалы (их часто называют простыми). Применяют их как на легковых, так и на грузовых автомобилях в качестве межколесных, а иногда и межосевых дифференциалов.

## 2. Свободный (открытый) дифференциал



Принципиальное устройство дифференциала: шестерни полуосей (5) и сателлитов (4) размещены в чашке (3). Чашка (корпус) жестко соединена с ведомой шестерней (2), которая принимает крутящий момент от ведущей шестерни главной передачи (1). Корпус передает вращение посредством сателлитов полуосям, вращающим ведущие колеса. Разные угловые скорости обеспечиваются благодаря работе сателлитов. Величина крутящего момента остается неизменной.

### Принцип работы:

- **По прямой:** сателлиты не вращаются вокруг своей оси, оба колеса крутятся одинаково.
- **В повороте:** сателлиты вращаются, позволяют колёсам вращаться с разной скоростью.

• **На льду:** если одно колесо теряет сцепление, **весь момент уходит на него**, второе стоит, автомобиль **не едет**.

•  
**Плюсы и минусы:**

<b>Плюсы</b>	<b>Минусы</b>
Простота и надёжность	Плохая проходимость при пробуксовке
Низкая стоимость	Может вызвать застревание на бездорожье
Плавное прохождение поворотов	Не подходит для экстремальных условий

**Применение:** большинство городских автомобилей с передним или задним приводом. Принцип работы можно посмотреть по ссылке <https://ya.ru/video/preview/2843243277314202024>

### **3. Самоблокирующийся дифференциал (LSD)**

Для повышения проходимости на некоторых автомобилях применяют самоблокирующиеся дифференциалы, которые обеспечивают передачу большего крутящего момента на колесо, имеющее лучшее сцепление с опорной поверхностью и вращающееся с меньшей угловой скоростью (отстающее колесо) по сравнению с колесом, находящимся на участке с недостаточными сцепными качествами и вращающимся соответственно с большей угловой скоростью (забегающее колесо).

Таким образом, суммарная сила тяги обоих колес увеличивается. Отношение момента на отстающем колесе  $M_{от}$  к моменту на забегающем колесе  $M_{заб}$  называется коэффициентом блокировки:  $k_b = M_{от}/M_{заб}$ .

Оптимальный коэффициент блокировки определяется отношением максимального и минимального коэффициентов сцепления, которое для наиболее характерных условий движения находится в пределах 3 ... 5. Из большого числа различных по принципу действия самоблокирующихся дифференциалов наибольшее распространение получили дифференциалы повышенного трения — конические и кулачковые, а также механизмы типа муфт свободного хода.

Дифференциалы повышенного трения конструктивно могут быть выполнены различно: шестеренчатыми с фрикционными элементами, червячными, кулачковыми (сухарными), гидравлическими. По рабочему процессу их можно разбить на три группы: с постоянным моментом трения; с моментом трения, пропорциональным передаваемому моменту; с моментом трения, пропорциональным квадрату разности угловых скоростей выходных валов. Коэффициент блокировки дифференциала повышенного трения зависит от потерь на трение и, следовательно, связан с его КПД. Шестеренчатый дифференциал с постоянным моментом трения практически не применяется.

### Назначение:

Ограничивает разницу в скоростях колёс и **перераспределяет момент** в пользу колеса с лучшим сцеплением.

### Основные типы:

#### 3.1. Фрикционный (Clutch-type)

- **Устройство:** Шестеренчатый дифференциал с моментом трения, пропорциональным передаваемому моменту (рис. 3.14), часто применяют на автомобилях высокого класса. Трение в дифференциале создается двумя дисковыми фрикционными муфтами 1 и 4. Крестовина дифференциала составлена из двух половин 2 и 3, которые могут раздвигаться при передаче момента, скользя концами шипов по наклонным поверхностям вырезов 5 в корпусе дифференциала. Чем больше передаваемый момент, тем больше раздвигаются обе части крестовины и тем большее сжимающее усилие действует на фрикционные диски.

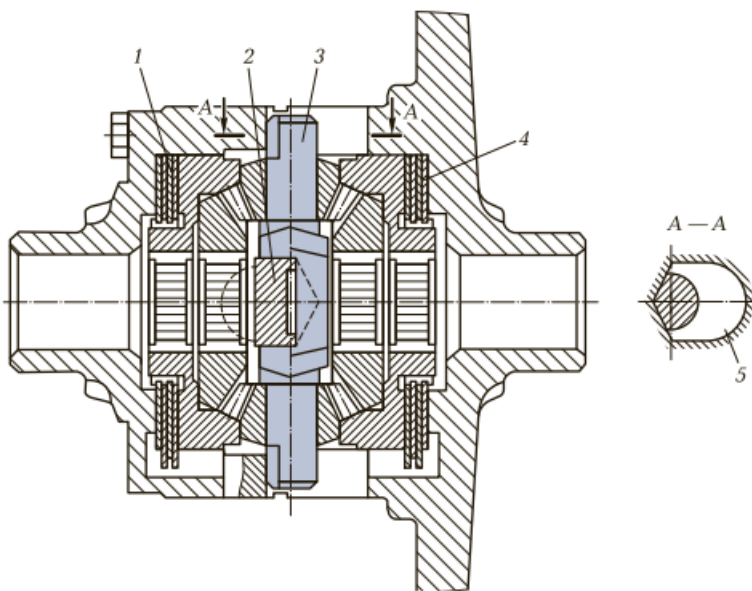


Рис. 3.14. Конический дифференциал с дисками трения:

1, 4 — фрикционные муфты; 2, 3 — половины крестовины; 5 — вырез

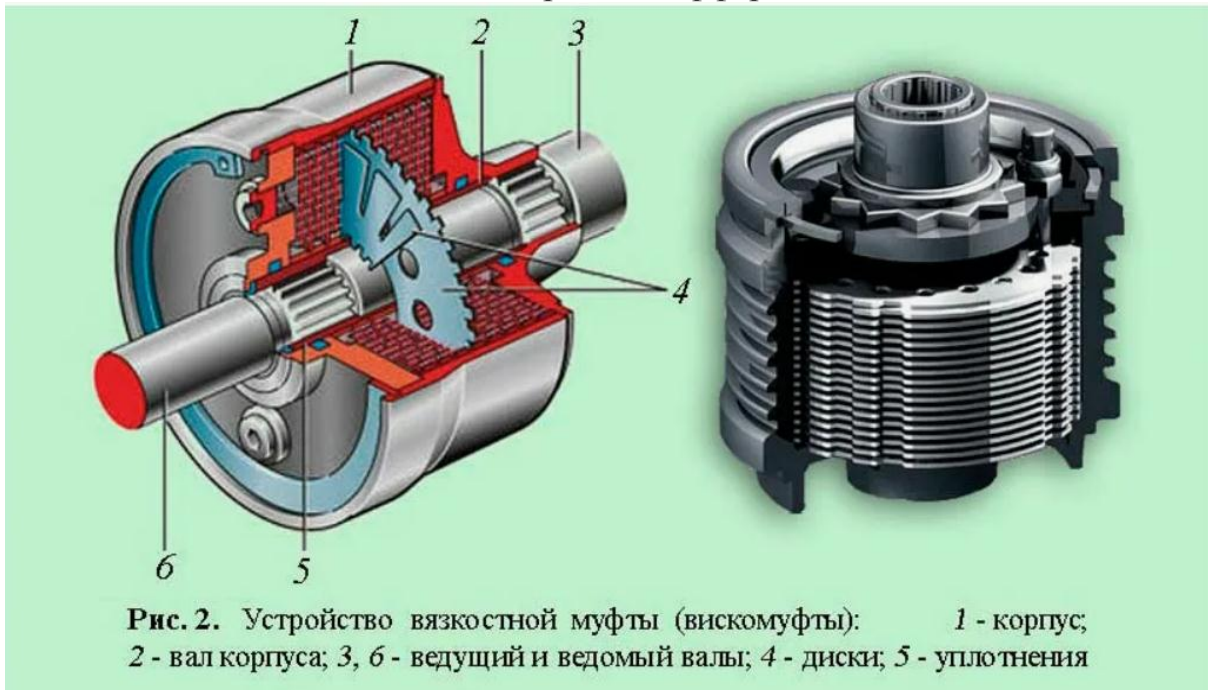
- **Работа:** при пробуксовке сателлиты «вклиниваются» и сжимают диски. В последствии момент передаётся на второе колесо.

- **Коэффициент блокировки:** 3:1...5:1.

- ссылка <https://ya.ru/video/preview/7933075318544373645>

### 3.2. Вязкостный

- **Устройство:** Вискомуфта — вязкостная муфта, часть трансмиссии автомобиля, механизм передачи и выравнивания крутящего момента. В отличие от гидромукты и гидротрансформатора в вискомуфте использован иной принцип действия. В этом устройстве крутящий момент передается не через динамические свойства потока жидкости, а с использованием вязкостных свойств жидкости, заполняющей внутреннее пространство вискомуфты. Применяется в качестве механизма автоматической блокировки дифференциала.



- Вискомуфта представляет собой пакет плоских круглых дисков, установленных внутри герметичного корпуса. Пакет дисков состоит из набора ведущих дисков, соединенных с ведущим валом, и набора ведомых дисков, соединенных с ведомым валом. На поверхности дисков располагаются выступы и отверстия. Пакет дисков сформирован таким образом, что ведомые и ведущие диски вискомуфты перемежаются и находятся друг от друга на предельно малом расстоянии.

Заполняющая внутреннюю полость корпуса муфты дилатантная жидкость, обычно на основе силикона (кремний-органическое вязкое вещество), обладает свойством сгущаться при интенсивном перемешивании. Помимо этого, у такой жидкости большой коэффициент расширения при нагреве, что повышает эффективность вискомуфты, поскольку при перемешивании возникает дополнительный эффект давления на диски муфты, которые под воздействием разогретой жидкости «склеиваются» (то есть прижимаются друг к другу расширяющейся жидкостью).

При равномерном движении ведущего и ведомого валов диски вискомуфты вращаются с одинаковой скоростью. Перемешивания жидкости не происходит,

поэтому она не воздействует на пакет дисков. Как только один из валов начинает вращаться быстрее другого, диски пакета вискомуфты приходят во вращение относительно друг друга. Жидкость, заполняющая корпус муфты, интенсивно перемешивается, вязкость ее возрастает, возникающие силы трения между частицами жидкости стремятся уровнять угловые скорости дисков. При очень большой разности скоростей жидкость становится настолько вязкой, что приобретает свойства твердого вещества — вискомуфта, практически, блокируется, а крутящий момент, передаваемый от ведущего к ведомому валу через пластины пакета, достигает максимума.



Свойства вязкости заполняющей вискомуфту жидкости зависят от интенсивности ее перемешивания, следовательно, от разницы угловых скоростей вращающихся дисков. Но линейной зависимости этих свойств нет, поэтому предугадать коэффициент торможения дисков муфты, невозможно. По этой причине самоблокирующиеся дифференциалы с вискомуфтой обладают невысокой эффективностью. Дифференциалы на основе вискомуфты (без применения свободного шестеренчатого дифференциала) в современных автомобилях не применяются вовсе — из-за низкой эффективности вискомуфт и из-за громоздкой конструкции. Поскольку эффективность вискомуфты зависит от диаметра дисков и объема заполняющей корпус жидкости, установка этого механизма увеличивает габариты ведущего моста и приводят к уменьшению клиренса автомобиля.

К преимуществам вискомуфты следует отнести простоту конструкции (при повышенных требованиях к точности производства — к примеру, корпус

вискомуфты должен обеспечивать герметичность при повышении внутреннего давления до 15 атмосфер). Вискомуфты не требуют обслуживания на протяжении всего срока эксплуатации автомобиля. При неисправности вискомуфты ее заменяют новой.

- Как осевой дифференциал вискомуфты на серийных автомобилях не использовались. В качестве механизма автоматической блокировки свободного шестеренчатого осевого дифференциала вискомуфты устанавливаются на некоторые легковые автомобили (примеры — Lancia Thema и Lancia Dedra 2000 Turbo). Основное же применение вискомуфт — установка в качестве межосевого самоблокирующегося дифференциала на легковые автомобили повышенной проходимости. Причем, вискомуфта может применяться как собственно самоблокирующийся дифференциал (примеры — Jeep Grand Cherokee, Range Rover HSE), так и в виде вспомогательного механизма автоблокировки, работающего вместе с шестеренчатым свободным дифференциалом. Установка вискомуфты самый простой и недорогой способ синхронизации крутящего момента между двумя ведущими мостами — передним и задним. Поскольку разница крутящих моментов в обычных дорожных условиях невелика, эффективности и точности срабатывания вискомуфты бывает вполне достаточно, чтобы не допустить проскальзывания передних колес относительно задних (например, при движении автомобиля по сильно пересеченной местности, когда одна пара колес описывает дугу, огибая дорожное препятствие, а вторая в этот момент движется по прямой). В данный момент автопроизводители повсеместно отказываются от использования вискомуфт, выбирая управляемые принудительно муфты Haldex, поскольку использовать вискомуфту с системой ABS проблематично.

**Недостаток:** медленная реакция, возможен перегрев.

**ссылка** <https://ya.ru/video/preview/8591189280057308429>

### **3.3. Torsen (Torque-Sensing)**

#### **Устройство:**

Дифференциал Торсен (Torsen) — это разновидность самоблокирующегося червячного дифференциала повышенного трения. Как и любой другой дифференциал, он предназначен для распределения крутящего момента между ведущими колесами либо между ведущими мостами. Название механизма происходит от словосочетания Torque Sensing, что переводится как «чувствительный к крутящему моменту». Рассмотрим принцип работы, основные компоненты, а также плюсы и минусы данного устройства трансмиссии разных поколений.

## Принцип работы

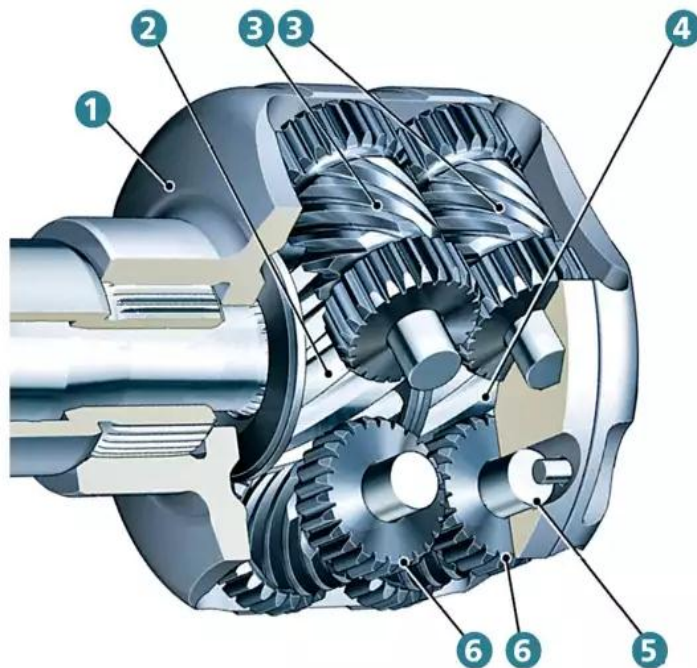
Торсен является червячным самоблокирующимся дифференциалом. Это означает, что автоматическая блокировка дифференциала происходит при разности крутящих моментов на корпусе механического устройства и его на приводном вале. Сам дифференциал состоит из ведомых и ведущих червячных шестерен, которые называют «полуосевыми» и «сателлитами» соответственно. Червячная шестерня имеет одну особенность: она не вращается от других шестерен, однако сама может приводить во вращение другие шестерни. Это свойство (расклинивание) позволяет частично заблокировать дифференциал.

Рассмотрим, как работает межосевой червячный дифференциал.

Если колеса автомобиля имеют хорошее сцепление с дорожным покрытием и движутся плавно, то крутящий момент между осями распределяется в равных отношениях. При резком увеличении крутящего момента ведущие червячные шестерни пытаются начать движение в противоположную сторону. Ведомые шестерни перегружаются, блокируются выходные валы, а лишний крутящий момент от двигателя машины передается на другую ось.

Межколесный самоблокирующийся червячный дифференциал включается в работу при проскальзывании одного из колес. При пробуксовке падает крутящий момент на одном колесе, Торсен блокируется и передает крутящий момент от двигателя машины на другое колесо. Блокировка буксующего колеса при этом является частичной, а степень блокировки зависит от того, насколько сильно уменьшилась величина крутящего момента.

Самоблокирующийся дифференциал Torsen может максимально перераспределить крутящий момент до соотношения 7:1 (86%:14%).



## Устройство и основные компоненты

Рассмотрим, из каких основных элементов состоит Торсен:

Корпус 1 (другое название: «чашка дифференциала»). Он передает крутящий момент от главной передачи на полуосевые шестерни через сателлиты. На нем крепится ведомая шестерня главной передачи. Внутри чашки дифференциала имеются оси, на которых установлены сателлиты.

- Правая и левая полуосевые шестерни 2 и 4 (другое название: «солнечные шестерни»). Они передают крутящий момент на оси/полуоси через шлицевое соединение.

- Сателлиты 3 правой и левой полуосевых шестерен. Соединяют чашку дифференциала и полуосевые шестерни. Торсен имеет в своей конструкции четыре сателлита.

- Ось сателлитов 5.

- Шестерни взаимного зацепления сателлитов 6.

- Выходные валы.

Отметим, что данная разновидность самоблокирующегося дифференциала обладает наиболее совершенной конструкцией.

## Поколения дифференциала Torsen

Самоблокирующийся дифференциал Torsen имеет три поколения:

- Т-1 – первое поколение самоблокирующегося устройства распределения крутящего момента. В нем в качестве червячных пар выступают сателлиты и шестерни ведущих полуосей. Сателлиты полуосей связаны прямозубым зацеплением. Оси сателлитов перпендикулярны полуосям. Межколесный дифференциал Торсен первого поколения позволяет колесам автомобиля вращаться с различной скоростью. При проскальзывании колеса механизм пытается передать большую часть мощности двигателя автомобиля на другую полуось, после чего червячная пара этой полуоси расклинивается. При этом сила трения, которая возникает в червячном зацеплении из-за разности величин крутящих моментов на колесах, блокирует дифференциал. Первое поколение дифференциала Torsen самое мощное из всех конструкций в своем классе.

- Т-2 – второе поколение устройства. Главные отличия от первого поколения: оси сателлитов здесь расположены вдоль полуосей; сами сателлиты расположены в специальных карманах корпуса дифференциала; участвующие в процессе блокировки механизма при расклинивании шестерни парных сателлитов – косозубые.

- Т-3 – третье поколение дифференциала. Имеет планетарную конструкцию. Третье поколение Торсен используется, в основном, в качестве межосевого дифференциала на автомобилях, имеющих полный привод.

Механизм имеет компактные габариты в связи с тем, что ведущая шестерня и оси сателлитов расположены в конструкции параллельно.

### Преимущества и недостатки

Начнем с достоинств дифференциала Torsen:

- высокая точность работы;
- плавность работы;
- низкий уровень шума при работе;
- распределение мощности двигателя автомобиля между колесами или ведущими мостами происходит автоматически и не требует участия водителя;
- мгновенное перераспределение крутящего момента не влияет на процесс торможения;
- при корректной эксплуатации практически не нуждается в обслуживании (необходимы лишь контроль уровня трансмиссионного масла и его своевременная замена).

Недостатки дифференциала Торсен:

- высокая стоимость из-за сложности изготовления и сборки механизма;
- увеличение расхода топлива из-за потерь на трение элементов механического устройства;
- сравнительно низкий КПД;
- предрасположенность к заклиниванию;
- высокий износ нагруженных элементов;
- механизм требует особые смазочные материалы из-за значительного тепловыделения при работе;
- ускоренный износ деталей при использовании колес одной оси с разными характеристиками (например, при установке запасного колеса, отличающегося от установленных колес).

### Применение

Самоблокирующийся дифференциал Torsen используют как в качестве межколесных, так и в качестве межосевых устройств распределения крутящего момента. Широкую известность получил дифференциал Torsen Audi Quattro. В современных полноприводных автомобилях данное механическое устройство устанавливается довольно часто. Отметим, что межосевой дифференциал Torsen используется практически на всех автомобилях Hummer.

Популярность устройства распределения крутящего момента Торсен обусловлена отсутствием связи с какой-либо электроникой или муфтами. Данный элемент трансмиссии – это сравнительно простой механизм,

отличающийся мгновенным срабатыванием и отсутствием негативного влияния на процесс торможения. Именно поэтому дифференциал данного типа используют в своих автомобилях ведущие автопроизводители.

- **Макс. перераспределение:**

- Т1: до 67% на одну ось,
- Т3: до 80%.

**ссылка: <https://ya.ru/video/preview/9137632614058513252>**

Параметр	Свободный (открытый)	Фрикционный (Clutch-type LSD)	Вязкостный (вискомуфта)	Torsen (червячный)
<b>**Тип блокировки**</b>	Не блокируемый	Самоблокирующийся (частичная)	Самоблокирующийся (автоматическая вязкостная муфта)	Самоблокирующийся (механический, чувствительный к моменту)
<b>**Коэффициент блокировки**</b>	1:1 (нет блокировки)	3:1 – 5:1	Не фиксированный, зависит от разницы скоростей и температуры; точное значение предсказать невозможно	До 7:1 (86% : 14%) • Т-1: до 67% на одну ось • Т-3: до 80%
<b>**Реакция на пробуксовку**</b>	Весь момент уходит на буксующее колесо; второе колесо не получает момента	Быстрая частичная блокировка; момент перераспределяется в пользу колеса с лучшим сцеплением	Медленная (требуется время на нагрев и загустение жидкости); эффективность снижается при кратковременной пробуксовке	Мгновенная, пропорциональная на разнице крутящих моментов
<b>**Обслуживание**</b>	Не требуется	Требуется замена фрикционных дисков при износе	Не требует обслуживания; при неисправности — замена в сборке	При корректной эксплуатации практически не требует обслуживания; необходим контроль уровня и своевременная замена масла
<b>**Сложность конструкции**</b>	Очень простая	Средняя	Простая, но громоздкая	Высокая (точная механика,

				червячные пары)
<b>**Надёжность*</b> *	Очень высокая	Высокая при правильной эксплуатации	Средняя (перегрев, медленная реакция, снижение клиренса)	Высокая при соблюдении условий; чувствителен к разнице радиусов колёс
<b>**Эффективность на бездорожье**</b>	Низкая	Высокая	Умеренная (только при длительной пробуксовке)	Очень высокая
<b>**Эффективность на асфальте**</b>	Отличная	Хорошая	Удовлетворительная	Отличная
<b>**Габариты / влияние на клиренс**</b>	Компактный	Компактный	Громоздкий → увеличивает габариты моста и снижает клиренс	Компактный (особенно Т-3)
<b>**Плюсы**</b>	Простота, надёжность, плавность в поворотах, низкая стоимость	Хорошая проходимость и управляемость, мгновенная реакция, не требует электроники	Не требует обслуживания, простота конструкции, герметичность	Мгновенное срабатывание, автономность, высокая точность, совместимость с тормозными системами
<b>**Минусы**</b>	Плохая проходимость при потере сцепления одним колесом	Износ фрикционных дисков, необходимость замены	Медленная реакция, перегрев, несовместимость с ABS, снижение клиренса, низкая эффективность	Высокая стоимость, сравнительно низкий КПД, предрасположенность к заклиниванию, высокий износ при неравных радиусах колёс