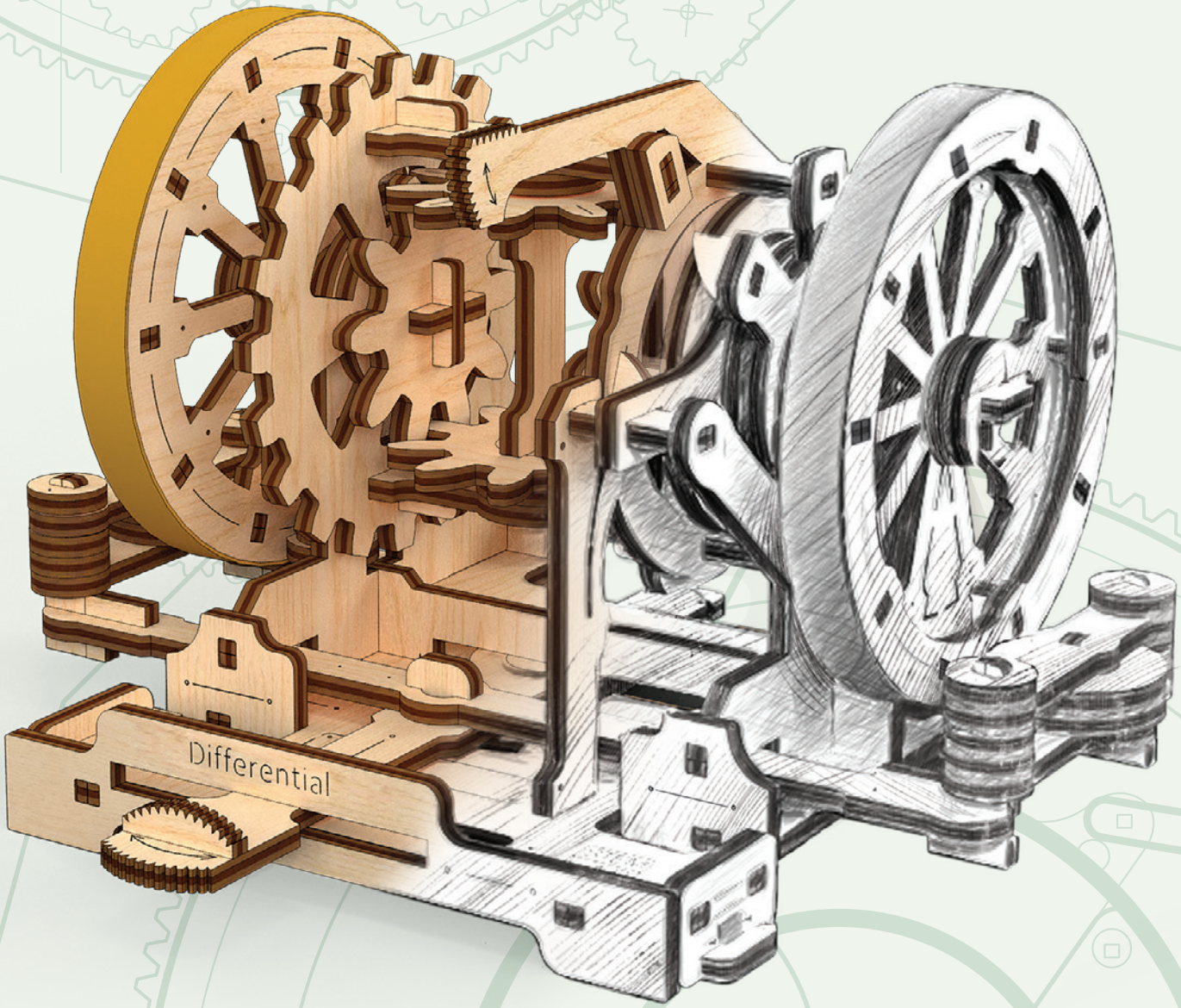
STEM LAB by UGEARS

МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

ДИФФЕРЕНЦИАЛ

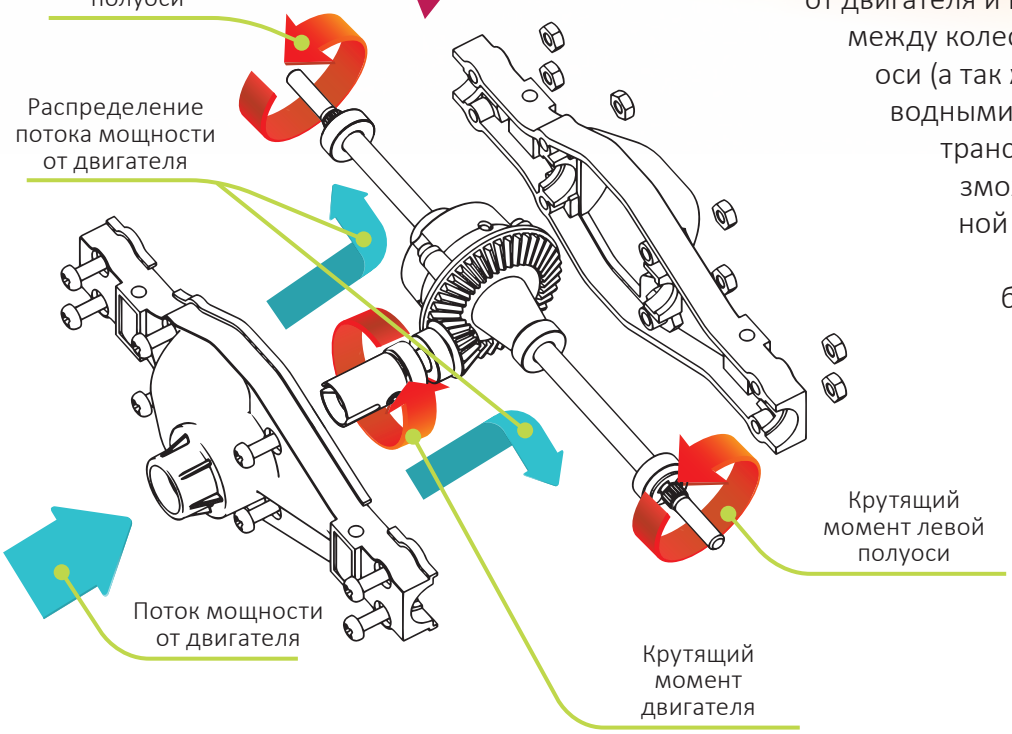


Справочник юного механика

§1 Вступление

Современный автомобиль состоит из множества элементов и деталей. Все они, какую ни возьми, важны и нужны. Ведь согласитесь, сложно представить машину без двигателя, колес или педали газа. Сегодня мы рассмотрим один из важных механизмов – дифференциал, который помогает машине быть устойчивой и быстрой на любой дороге.

Основное применение дифференциалы нашли, став частью трансмиссии* автомобилей. Их используют для улучшения управляемости и проходимости транспортного средства. Дифференциал передает и разделяет мощность получаемую от двигателя и крутящий момент* на два потока между колесами, расположенными на одной оси (а так же гусеницами, воздушными или водными винтами, применяемых в других транспортных средствах). Это дает возможность вращаться колесам с разной скоростью, что делает движение автомобиля более устойчивым, без пробуксовок, уменьшая износ шин, если одно из колес имеет плохое сцепление с дорожным покрытием. Например, при поворотах или на скользких поверхностях.



Далее вы детальнее узнаете, зачем нужен дифференциал, кто и когда его изобрел, каков принцип его работы и где он применяется сегодня.

Понять на практике, как работает механизм, вам поможет 3D-конструктор «Дифференциал». Собрав его своими руками, вы разгадаете все секреты этого важного устройства.

Трансмиссия. от лат. transmissio - пересылка, передача. В автомобилях это механизмы соединяющие двигатель и ведущие колеса.

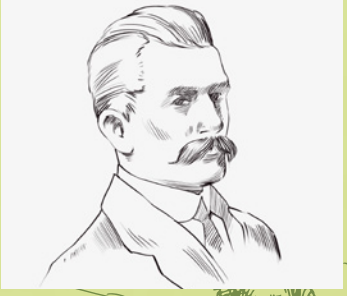
*В данном случае «крутящий момент» - это вращательное действие силы на элементы и детали механизма. В международной системе единиц (СИ) единицей измерения момента силы (в нашем случае крутящего момента) -является ньютон-метр (Н·м).

§2 Историческая справка

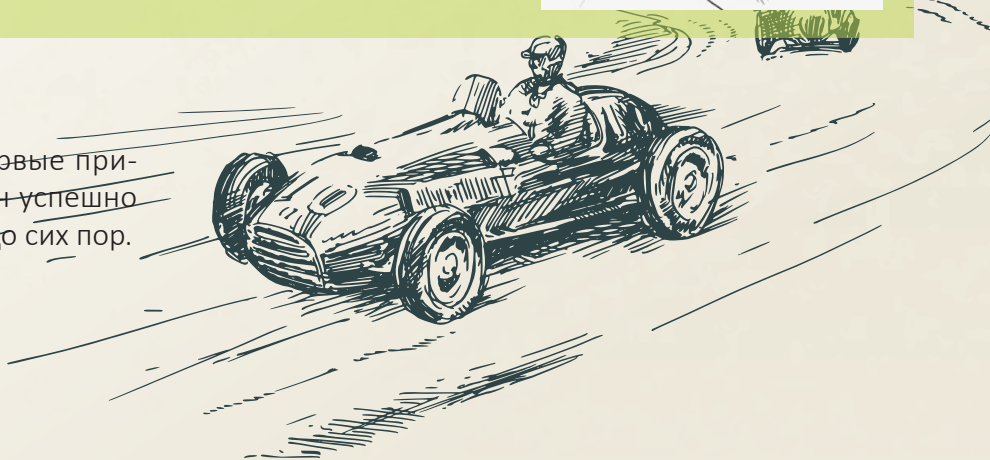
Первые автомобили были гораздо примитивнее, чем современные, но управлять такими машинами было сложно. Основная проблема, с которой столкнулись водители начала автомобильной эры – это пробуксовка колеса на поворотах. При поворотах колеса двигались с одинаковой скоростью, но с разной нагрузкой, что создавало трудности в управлении автомобилями, а также не давало развивать высокую скорость. Благодаря дифференциалу удалось решить эту техническую задачу – автомобили стали более надежными и быстрыми.

Автомобильный дифференциал изобрел французский инженер и механик Онесифор Пеккёр в 1825 году. Созданный им механизм помогал водителям хорошо держаться на сухой дороге с твердым покрытием, но был неэффективным при гололеде или на мокром покрытии. А значит – требовал совершенствования.

На помощь пришел знаменитый немецкий конструктор Фердинанд Порше, который значительно усовершенствовал механизм. Ему понадобилось три года, чтобы разработать, протестировать и выпустить на рынок так называемый кулачковый дифференциал – первый механизм с ограниченным проскальзыванием.

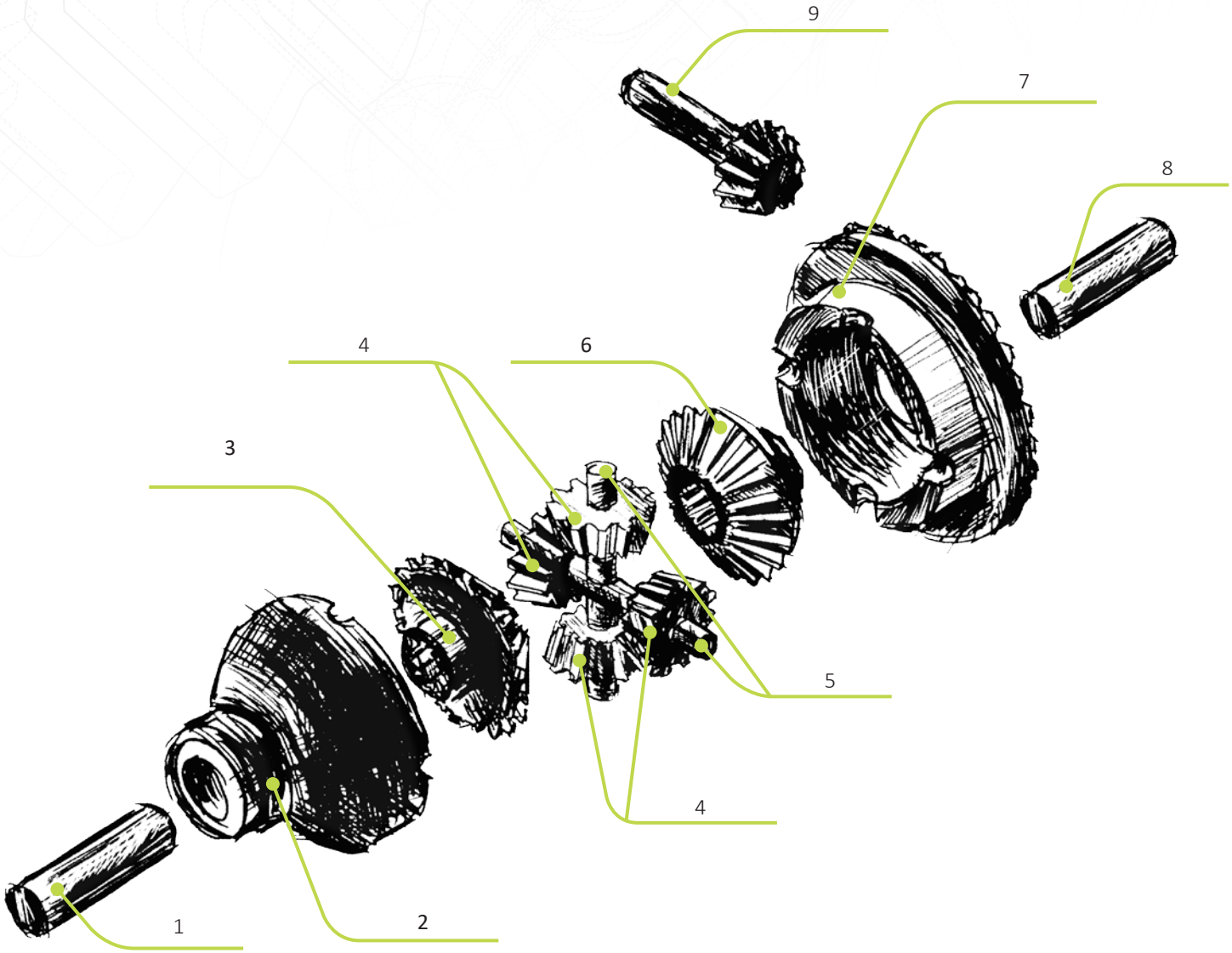


Обновленный дифференциал впервые применили в автомобилях Volkswagen, он успешно используется в автомобилестроении до сих пор.



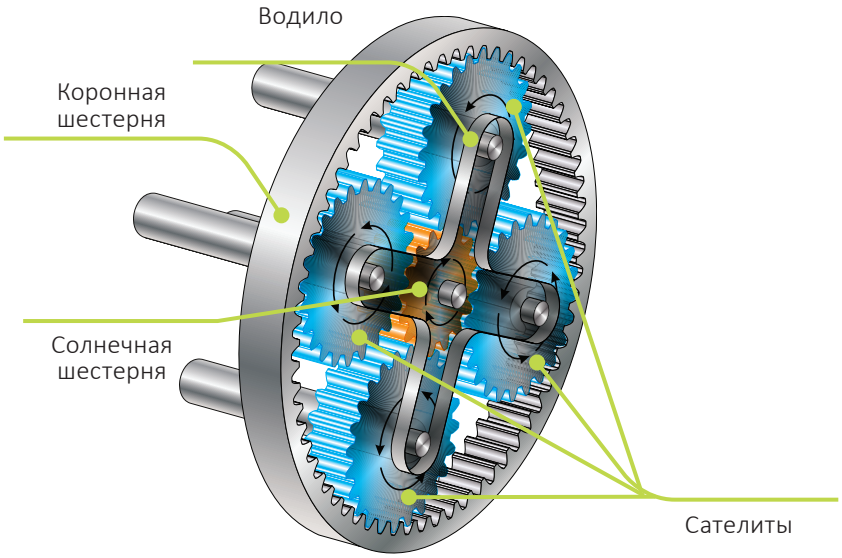
§3 Что это за механизм и как работает

Дифференциал (от латинского Differentia – разность, различие) состоит из валов и шестерней. Посмотрим, из каких деталей состоит симметричный конический дифференциал.

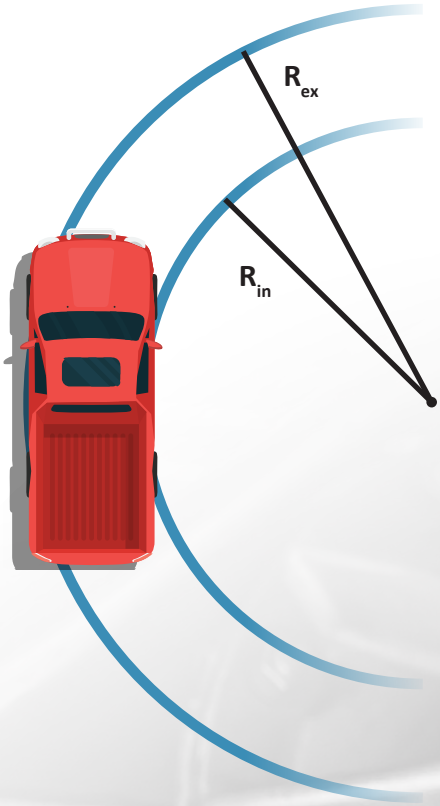


1 — левая полуось; 2 — коробка сателлитов; 3 — полуосевая шестерня; 4 — сателлиты; 5 — оси сателлитов; 6 — полуосевая шестерня; 7 — коробка сателлитов (с коронной шестерней); 8 — Правая полуось; 9 — Ведомая шестерня главной передачи коробки передач;

Основой любого дифференциала служит планетарная передача. Это механическая передача вращательного движения, за счёт своей конструкции способна по одной оси вращения изменять, складывать и распределять подводимые угловые скорости* и/или крутящий момент на сателлиты. В ее состав входят также коронная шестерня, водило и центральная «солнечная» шестерня.



То есть, в автомобиле дифференциал выполняет три функции: позволяет неразрывно передавать крутящий момент от двигателя к ведущим колесам, задает колесам разные угловые скорости и служит понижающей передачей в сочетании с главной передачей.



Ведущие колеса автомобиля** при движении в повороте или по неровной дороге проходят разные расстояния, как показанно на рисунке (из-за ширины колеи автомобиля).

Радиусы траектории движения при прохождении поворота отличаются для левого и правого колеса (**R_{ex}** — радиус внешней траектории движения; **R_{in}** — радиус внутренней траектории движения).

И если бы оба колеса получали от двигателя одинаковое усилие (крутящий момент), то скорость их вращения, соответственно было бы одинакова. А при таких условиях одно из колес обязательно будет пробуксовывать. Но если установить между колесами дифференциал, то мы получим возможность распределить усилие от двигателя и получить разную скорость вращения колес.

Т.е. колеса проходят свой путь с необходимой скоростью, независимо друг от друга.

*** Угловая скорость – векторная величина, характеризующая быстроту и направление вращения твёрдого тела (в нашем случае деталей механизма и колес) относительно центра вращения. Обозначается греческой буквой ω (омега) и измеряется в радианах за секунду (рад/с). Далее рассмотрим эту и другие величины подробнее.**

**** Ведущие колеса – это колеса, на которые передается крутящий момент, создаваемый двигателем. Ведущими могут быть как задние колеса автомобиля, так и передние. В полноприводных автомобилях все 4 колеса являются ведущими. Вам наверняка попадался такой «значок» 4x4 .** 4x4 **.**

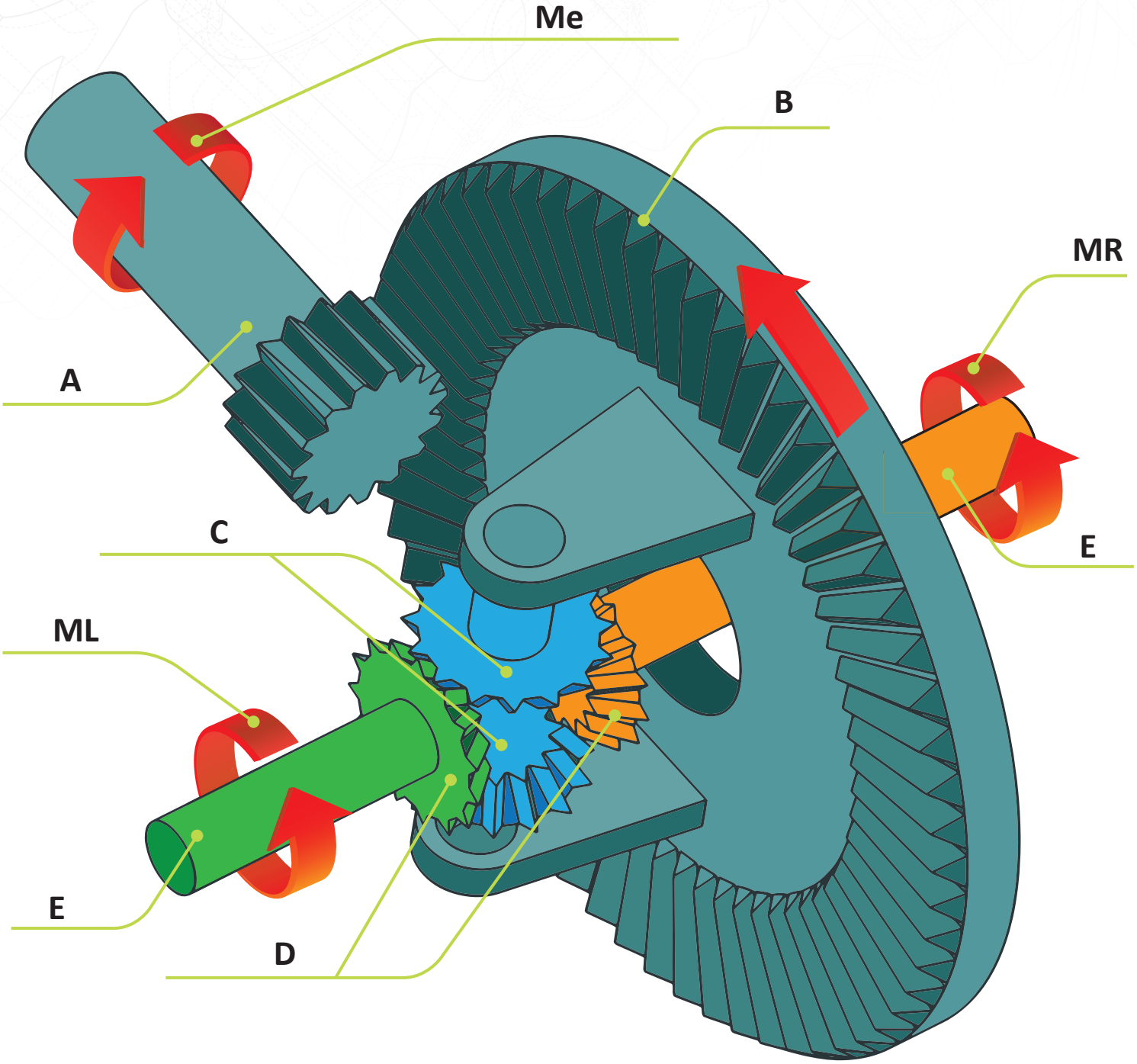
Как же он работает?

Крутящий момент (Me) от двигателя через коническую зубчатую передачу (A), передается на коронную шестерню дифференциала (B).

Водилом такого дифференциала фактически служит весь его корпус с коронной шестерней.

Через независимые друг от друга шестерни- сателлиты (C) идет распределение крутящего момента на левую и правую составляющую ML и MR. Это позволяет каждой из солнечных шестерен (D) с полуосями колес (E) вращаться с разной угловой скоростью.

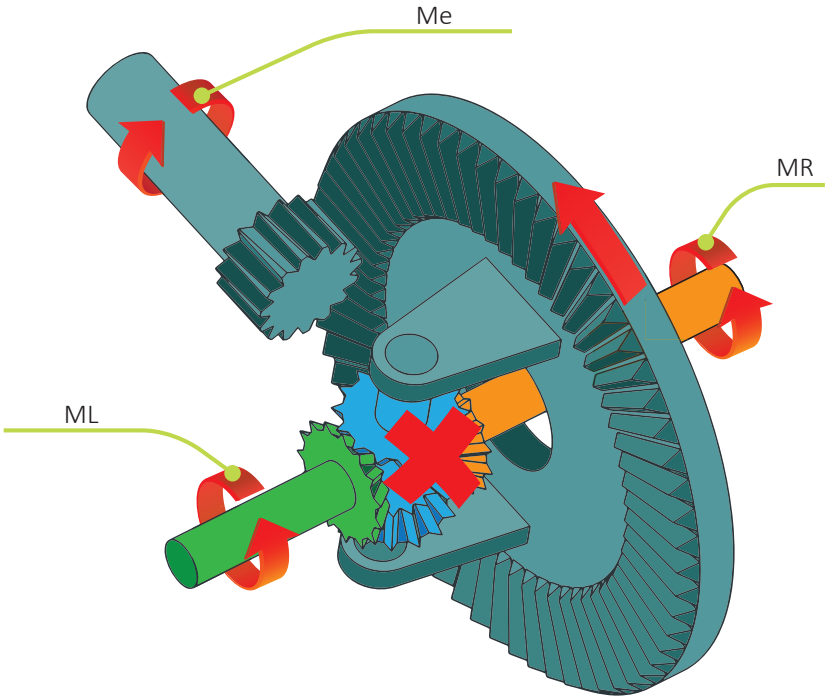
В итоге, как уже отмечалось ранее, колеса транспортного средства свободно перемещаются по своей траектории без проскальзывания.



Рассмотрим работу дифференциала при движении автомобиля по прямой и в повороте.

При движении по прямой, колеса автомобиля проходят одинаковое расстояние. Соответственно, крутящие моменты левого и правого колеса **ML; MR** и угловые скорости **ωL; ωR** одинаковы: **ML = MR и ωL = ωR** соответственно.

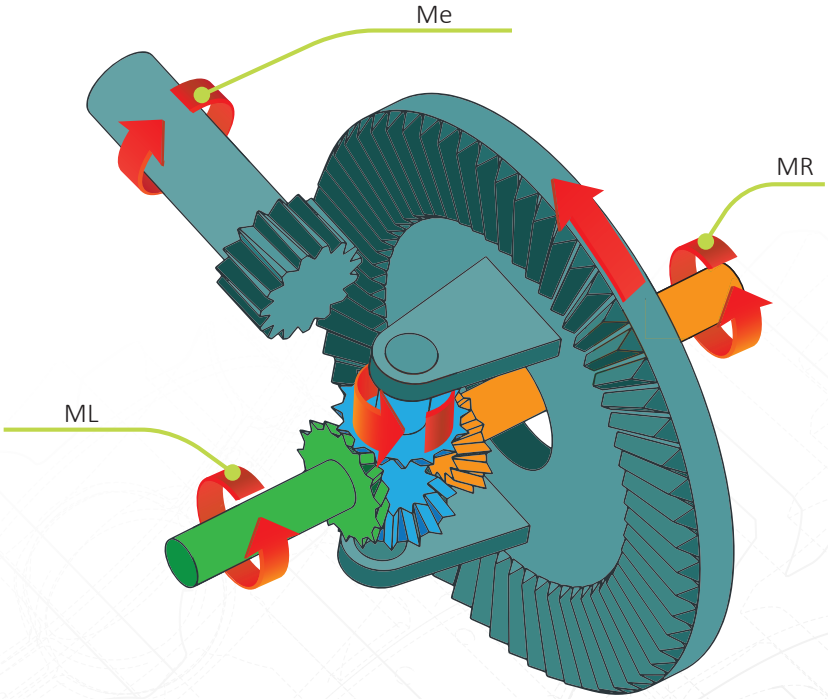
На рисунке видно, что при такой ситуации корпус дифференциала с коронарной шестерней и сателлиты становятся как бы одним целым (т.к. сателлиты не вращаются из-за отсутствия разницы во вращении левого и правого колеса).



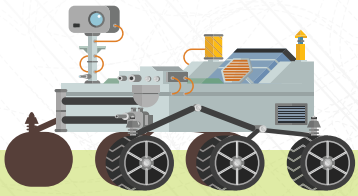
«Работа дифференциала» при движении автомобиля по прямой

Совершенно другая ситуация при движении в повороте. Колеса автомобиля проходят разное расстояние (из-за ширины колеи). Соответственно, крутящие моменты левого и правого колеса **ML; MR** и угловые скорости ωL; ωR не равны: **ML ≠ MR и ωL ≠ ωR.**

Вращаться с разной скоростью позволяют сателлиты, «обкатываясь» вокруг солнечных шестерен. Тем самым, распределяя усилие крутящего момента между полуосями.



«Работа дифференциала» при движении автомобиля в повороте



В космической отрасли используются транспортные средства (марсоходы и луноходы) с большим количеством колес, где каждое колесо – ведущее. Это делается для лучшей «проходимости» транспортного средства.

Но не стоит забывать, что дифференциал отлично работает, пока ведущие колеса неразрывно связаны с дорогой, а если одно из колес теряет сцепление с поверхностью, оказываясь в воздухе или на льду, то вращается именно оно, **другое же остается неподвижным.** Чтобы этого не происходило, инженеры нашли конструктивные решения для блокировки дифференциала.

Так, существуют несколько видов дифференциалов:

С полной ручной блокировкой – принудительная блокировка нужна для улучшения проходимости по бездорожью, включается клавишей в салоне по мере необходимости;

Самоблокирующиеся:

вискомуфта – многодисковая муфта, в которой передаваемый момент возрастает с увеличением разности скоростей ведущего и ведомого валов, используется в упрощенных системах постоянного полного привода и в качестве блокирующего механизма дифференциалов;

Данный вид узлов значительно увеличивают проходимость авто. Основной принцип самостоятельной блокировки заключается в том, что определённые условия движения способствуют автоматической блокировке дифференциала. При существенной возрастающей разнице в нагрузке в полуосях срабатывает механизм насоса, нагнетающий давление масла. Пластины муфты начинают сближаться, и скорость колеса снижается, и нагрузка на колеса при буксовке или заносе распределяется правильно.

Существует множество модификаций автомобильных самоблокирующихся дифференциалов.

У одних блокировка происходит не от разности скоростей вращения валов, как в вискомуфте, а при изменении баланса крутящих моментов на валах, как только момент на одном из валов увеличивается, червячные пары «заклинивают» зубчатые колеса, блокируя нужную шестерню дифференциала;

У других – правый и левый ряды сателлитов входят в зацепление с правой и левой шестернями полуоси, а также сателлиты из разных рядов зацепляются между собой через один, когда одно из колес автомобиля отстает, связанная с ним полуосевая шестерня начинает вращаться медленнее корпуса дифференциала и поворачивает сателлит, который поворачивает связанный с ним сателлит, а тот, в свою очередь, свою полуосевую шестерню, чем обеспечиваются разные обороты колес в повороте.

Но! Наличие дифференциалов в автомобилях не является обязательным. Их отсутствие приводит к повышению нагрузок на трансмиссию и повышенному износу колёс, но иногда это не становится проблемой для водителя.

Четырёхколёсный автомобиль с двумя ведущими колёсами, в принципе, может обходится без дифференциала — например, карт или гоночный автомобиль с задней ведущей осью для гонок на покрытиях с низким коэффициентом сцепления.

Еще существуют межосевые дифференциалы, которые перераспределяют нагрузку между ведущими осями в пропорции 50:50, 40:60 и т.д.

Дифференциалы отсутствуют на тяговых машинах ж/д транспорта — электровозах, тепловозах, электропоездах, вагонах метро. Дифференциалов может не быть в электромобилях, где используется по мотору на каждое колесо.

§4 Физика и механика на примере STEM - модели Дифференциал

Дифференциал — это механическое устройство, которое передает крутящий момент с одного источника на два независимых потребителя таким образом, что угловые скорости вращения источника и обоих потребителей могут быть разными относительно друг друга.

Дифференциал характеризуют мощностью вращения (N), крутящим моментом (M) и угловой скоростью (ω).

Мощность — скалярная физическая величина, равная в общем случае скорости изменения, преобразования, передачи или потребления энергии системы. В более узком смысле мощность равна отношению работы, выполняемой за некоторый промежуток времени, к этому промежутку времени

$$N = A/t$$

Единицей измерения мощности в СИ является ватт (Вт) в честь шотландского изобретателя Джеймса Ватта, в международной системе мощность обозначается — W.

При движении мощность вычисляется по формуле:

$$N = F \cdot v \cdot \cos\alpha$$

При вращательном движении:

$$N = M \cdot \omega,$$

Где:
M – крутящий момент,
ω – угловая скорость.

Крутящий момент (Момент силы) можно понимать как «вращающая сила». В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения является ньютон-метр (Н·м). Крутящий момент иногда называют моментом пары сил, это понятие возникло в трудах Архимеда над рычагами. В простейшем случае, если сила приложена к рычагу перпендикулярно ему, момент силы определяется как произведение величины этой силы на расстояние до оси вращения рычага. А для двигателя – это сила, с которой, вращается коленчатый вал двигателя. Например, сила в 3 ньютона, приложенная к рычагу на расстоянии 2 метра от его оси вращения, создаёт такой же момент, что и сила в 1 ньютон, приложенная к рычагу на расстоянии 6 метров от оси вращения. Более точно момент силы частицы определяется как векторное произведение:

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]$$

Где:
F – сила, которая воздействует на частицу,
r – радиус-вектор частицы (в предположении, что ось вращения проходит через начало координат).

Угловая скорость – это скорость изменения угла поворота (φ). Математически угловую скорость записывают в виде формулы:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

Для одного оборота $\Delta\boldsymbol{\varphi} = 2\pi$.

Угловая скорость связана с периодом обращения и с числом оборотов в единицу времени формулами:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{и} \quad \omega = 2\pi\nu$$

основной единицей измерения угловой скорости в системе СИ является: [ω]=рад/с.

В реальности радиус колеса изменчив, а идеальное сцепление с опорной поверхностью невозможно. Поэтому, если колёса вращаются с одной скоростью, то при повороте возникает пробуксовка и пройденный путь по внутренней траектории отличается от пути по наружной траектории. Их соотношение определяется формулой:

$$Lin = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega z \cdot L_{ex})$$

Где:

L_{in} – путь по внутренней траектории, м;

L_{ex} – путь по наружной траектории, м;

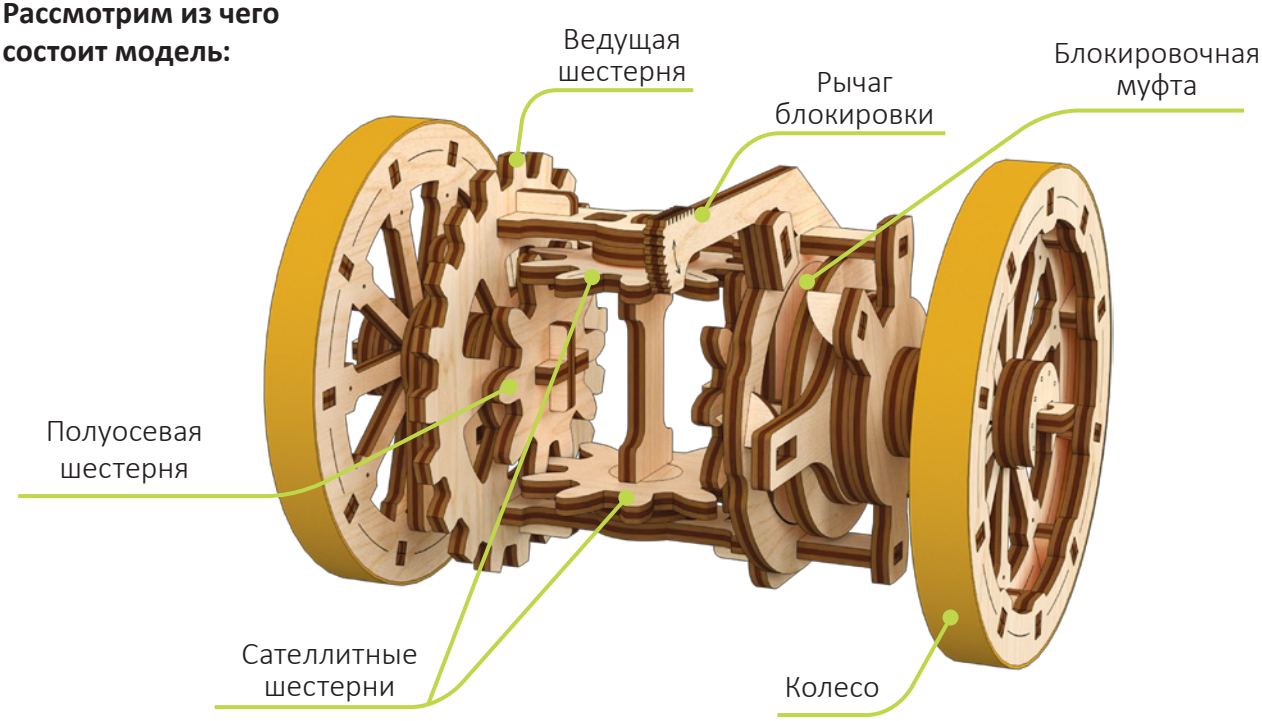
ωz – угловая скорость вращения в плоскости горизонта, рад/с;

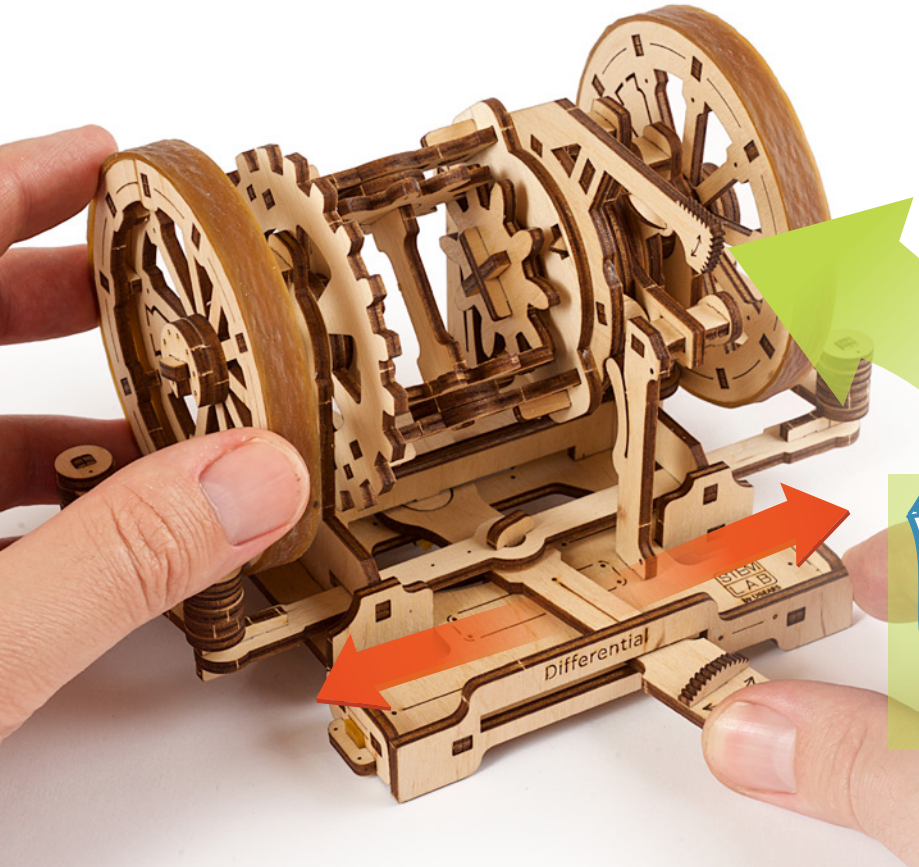
L - расстояние между колёсами ТС, м.

§5 Как устроен и работает механизм на примере STEM-модели

Механическая STEM - модель дифференциала представляет собой наглядную модель работы дифференциала. Она демонстрирует принцип работы сателлитных шестерен при распределении нагрузки с ведущей/приводной шестерни на полуоси выхода.

Рассмотрим из чего состоит модель:





С помощью перемещения рычага (влево и вправо), можно менять нагрузку на одно из колес модели или полностью блокировать колесо. Так можно наглядно увидеть, что происходит, когда, например, автомобиль поворачивает или когда одно колесо буксует.

Можно заблокировать дифференциал ручкой блокировки дифференциала, тем самым передать момент от двигателя на оба колеса равномерно.

§6 Лабораторные занятия

Измерения угловой, линейной скорости и углового ускорения.

Дифференциал — Механизм по передаче мощности вращением, позволяющий без каких-либо пробуксовок и потерь КПД обеспечивать работу трансмиссии.

Цель работы: ознакомиться со способами измерения угловой скорости, измерить угловую скорость дифференциала в зависимости от скорости его движения. Развивать логическое мышление.

Оборудование: дифференциал, секундомер, линейка, блокнот с ручкой.

Теоретическое обоснование эксперимента:

В данной работе необходимо измерить разными способами угловую скорость диска, жестко закрепленного на валу дифференциала, в зависимости от скорости его движения. Вращательное движение описывается с помощью углового перемещения $\boldsymbol{\varphi}$, угловой скорости ω, углового ускорения β и времени t. Каждая точка тела, вращающегося вокруг закрепленной оси, имеет одну и ту же угловую скорость ω. Средняя угловая скорость определяется выражением:

$$\omega = \frac{\boldsymbol{\varphi}}{t} \quad (1)$$

Угловое ускорение β определяется как скорость изменения угловой скорости ω. Среднее угловое ускорение, следовательно, можно записать как:

$$\beta = \frac{\omega}{t} \quad (2)$$

Подготовка к эксперименту:

Собираем дифференциал и устанавливаем его на поверхности.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ:

***Задание 1.* Определение угловой скорости.**

1. Выберите любую точку на ободе колеса, отметьте ее ручкой.
2. Прокатите дифференциал по поверхности и засеките время, за которое точка выполнит один оборот.
3. По формуле (1) вычислите угловую скорость. Для одного оборота $\Delta\boldsymbol{\varphi} = 2\pi = 2 \cdot 180^{\circ} = 360^{\circ}$.
4. Изменяя скорость движения дифференциала, повторите эксперимент.
5. Сравните значение угловой скорости от скорости движения.

***Задание 2.* Определение угловой скорости.**

1. Посчитайте количество оборотов, которое совершает точка за 10 с.
2. Рассчитайте частоту вращения по формуле:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

3. Вычислите угловую скорость $\omega = 2\pi\nu$.
4. Изменяя время движения повторите эксперимент.
5. Сравните полученные значения.

***Задание 3.* Определение углового ускорения.**

1. Используя значения с задания 1 или 2 (можете повторить эксперимент заново), по формуле (2) вычислите значение углового ускорения.
2. Сравните зависимость углового ускорения от скорости движения дифференциала.

***Задание 4.* Определение линейной скорости.**

1. С помощью линейки измерьте радиус колеса (расстояние от центра к точке на ободе).
2. Используя значения с задания 1 или 2 (можете повторите эксперимент заново) по формуле $\upsilon = R \cdot \omega$ вычислите значение линейной скорости.
3. Также можно вычислить центростремительное ускорение по формуле $a = \frac{\upsilon^2}{R}$.

В реальности радиус колеса изменчив, а идеальное сцепление с опорной поверхностью невозможно. Поэтому, если колёса вращаются с одной скоростью, то при повороте возникает пробуксовка и пройденный путь по внутренней траектории отличается от пути по наружной траектории. Их соотношение определяется формулой:

$$L_{in} = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega z \cdot L_{ex}).$$

Где:
L_{in} - путь по внутренней траектории, м;
L_{ex} - путь по наружной траектории, м;
L - расстояние между колёсами ТС, м.
ωz - угловая скорость вращения в плоскости горизонта, рад/с;

***Задание 5.* Рассчитать разность скорости вращения колес «пикапа» и рассчитать разность пройденного пути колес «пикапа».**

Дано: радиус поворота внутренней траектории движения автомобиля 10 м, внешний 11,6 м (так как ширина колеи данного автомобиля составляет 1,6 м). Диаметр колеса равен 72 см.

ВЫВОДЫ:

Во время проведения экспериментов научились измерять угловую, линейную скорость и ускорение дифференциала.

Было установлено, что:

— угловая скорость зависит от скорости движения.
— чем больше скорость движения, тем больше угловая скорость.
— угловая скорость и угловое ускорение прямо пропорциональны между собой.

ТЕСТ

1. Первым, кто проводил эксперименты с созданием дифференциала с ограниченным проскальзыванием, стал…

☐ а) Онесифор Пеккёр;
☐ б) Фердинанд Порше;
☐ в) Фольксваген.

2. Дифференциал обеспечивает разную скорость вращения колес, расположенных на одной оси, чтобы…

☐ а) уменьшить скорость ;
☐ б) предотвращать пробуксовку при повороте;
☐ в) увеличивать трение.

3. Усовершенствованный автомобильными конструкторами дифференциал устроен в виде модели …

☐ а) зубчатой передачи;
☐ б) планетарной передачи;
☐ в) автоматической передачи.

4. На автомобилях с постоянным полным приводом сколько есть дифференциалов…

☐ а) два;
☐ б) три;
☐ в) шесть.

5. Из чего состоит дифференциал…

☐ а) карданного вала;
☐ б) валов и шестерней;
☐ в) двигателей.

6. Как зависит угловая скорость от скорости движения дифференциала…

☐ а) не зависит;
☐ б) увеличивается при увеличении скорости;
☐ в) уменьшается при увеличении скорости.

7. Какая зависимость угловой скорости и углового ускорения…

☐ а) обратная;
☐ б) прямо пропорциональная;
☐ в) они между собой не зависят.

8. Дифференциал, в котором передаваемый момент возрастает с увеличением разности скоростей ведущего и ведомого валов…

☐ а) торсен;
☐ б) вискомуфта;
☐ в) квайф.

9. Какие физические величины характеризуют дифференциал…

☐ а) сила тяжести, работа, время;
☐ б) мощность вращения, крутящий момент, угловая скорость;
☐ в) частота колебаний, сила трения, линейная скорость.

10. Единица измерения угловой скорости

☐ а) м/с;
☐ б) рад/с;
☐ в) м/рад.

Поздравляем, Вы сделали это!

Спасибо, что Вы прошли этот путь с нами и надеемся, что это путешествие в мир механики было интересным.