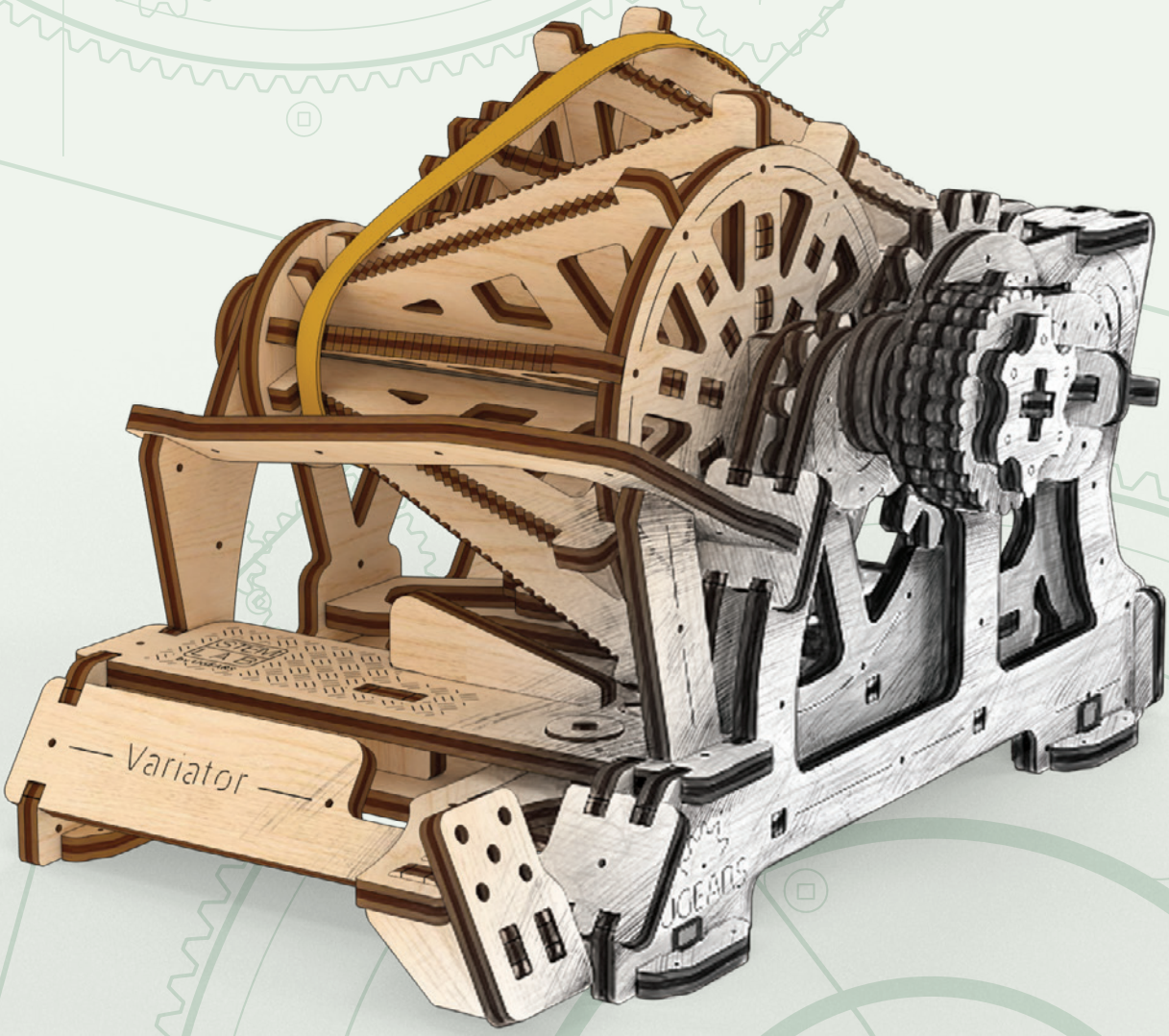
STEM LAB by UGEARS

МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

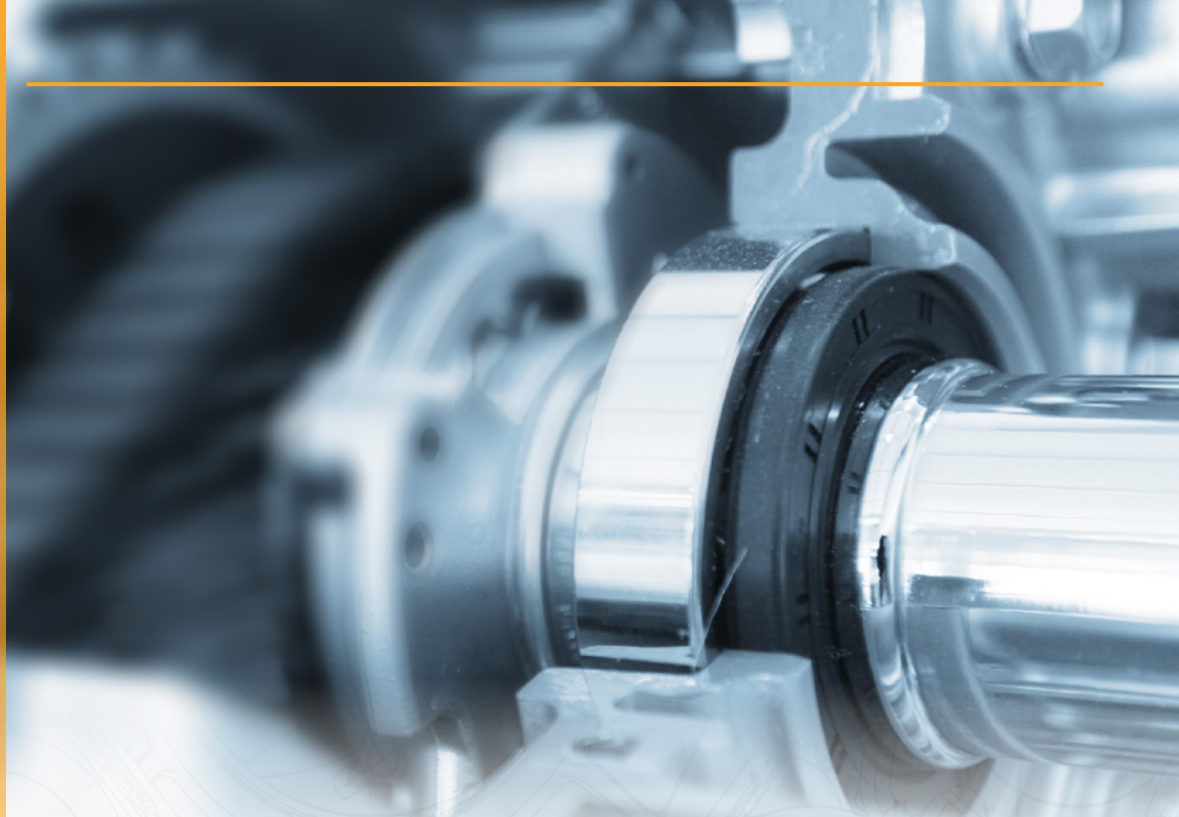
ВАРИАТОР



Справочник юного механика

§1

Вступление



Как известно, особенностью работы автомобиля с двигателем внутреннего сгорания является необходимость использования коробки передач. Связано это с тем, что двигатель может эффективно работать в ограниченном диапазоне частот вращения. Инженеры и разработчики стараются достичь оптимального соотношения производительности, износостойкости, стоимости и массы двигателей, а также в первую очередь их энергоэффективности.

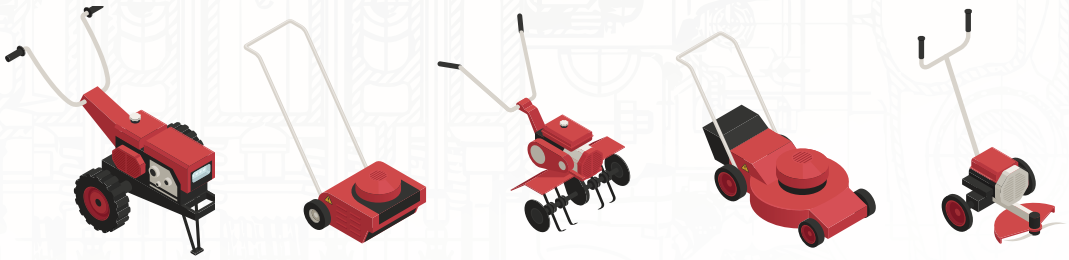
Так как двигатели внутреннего сгорания позволяют регулировать частоту вращения выходного вала в достаточно узком диапазоне, то применением коробки передач обеспечивается не только регулирование частоты вращения, но и повышения момента силы (крутящего момента, с. 15). Что обеспечивает нужную частоту вращения колес транспортного средства, без превышения нагрузки на двигатель, экономя при этом ресурс двигателя и топлива.

Кроме того, при помощи механической передачи обеспечивается реверс (задний ход), что достигается путем изменения направления вращения колес автомобиля.

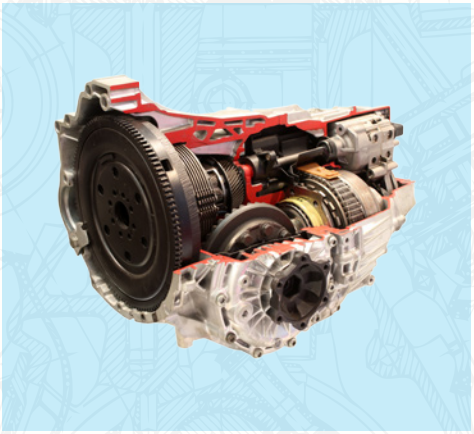
Каждая из пар шестерен обеспечивает определенное передаточное отношение. Как правило, зубчатые колеса объединены в группы по две штуки, что позволяет путем движения группы шестерен в одну сторону (вперед) обеспечивать включение одной передачи, а при движении в противоположном направлении включается другая передача.

В вариаторе же, из-за отсутствия фиксированных передач, достигается плавное изменение отношения передачи, соединяющей вал двигателя и приводные колеса автомобиля. Задний ход в трансмиссиях с вариатором обеспечивается специальным узлом, который представляет собой планетарный редуктор (ugearsmodels.com/curvimeter.html если вам интересно, что такое планетарные передачи, посмотрите STEM-модель «Курвиметр»).

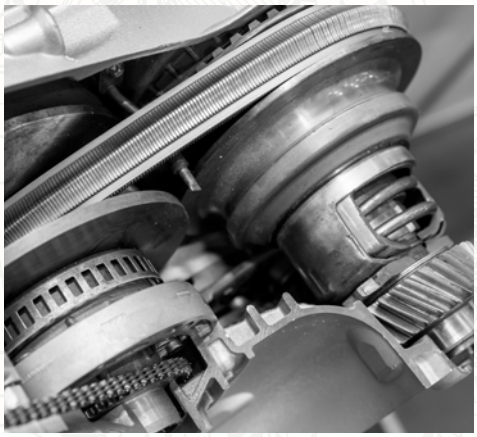
Вариаторы применяются не только в автомобилях, но и в различных механизмах и мелкой моторной технике: мотороллеры, снегоходы и квадроциклы, станки, конвейеры, газонокосилки и прочее.



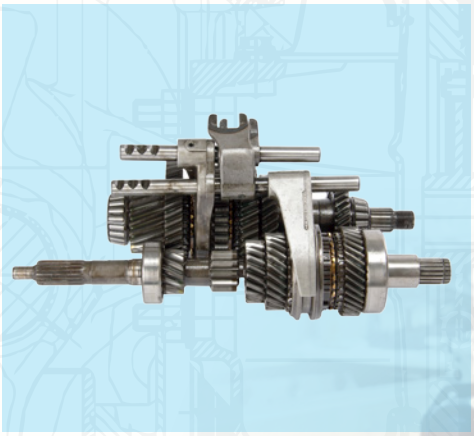
ugearsmodels.com/curvimeter.html



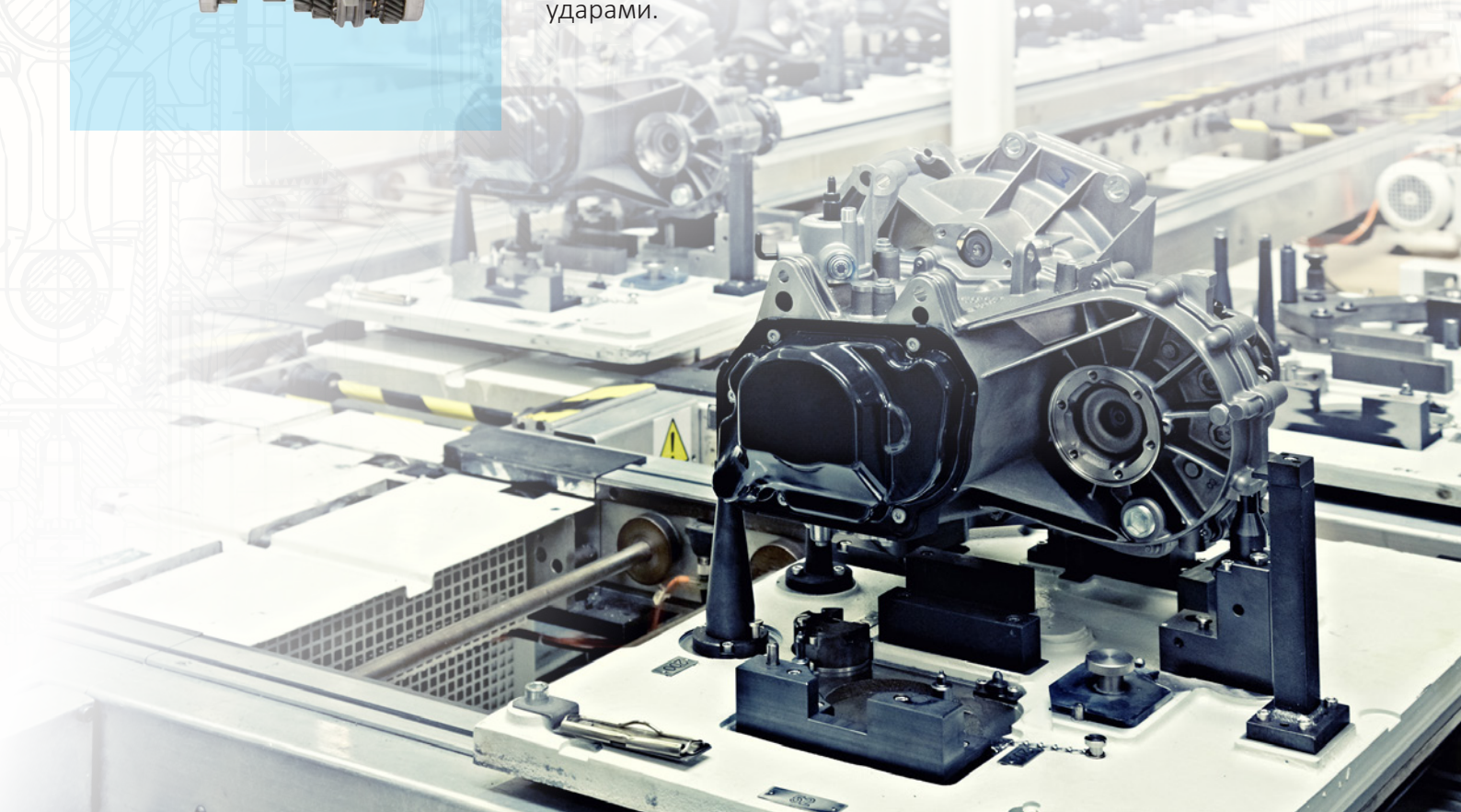
В современных транспортных средствах широко применяются так называемые автоматические коробки передач (АКП), с развитием технологий и техники АКП вытесняют механические коробки передач (МКП) в автомобилях.



А «Вариатор» (лат. *variātor* — «изменитель») или ***вариаторная коробка передач*** (CVT — continuously variable transmission), с которым мы познакомимся сегодня, — это один из видов автоматической коробки передач.



В МКП, где передаточное число меняется ступенчато при помощи ручки переключения передач водителем, и АКП, в которых передачи переключаются автоматически, существует такой недостаток как ступенчатое переключение передач. Переключение передач в таких коробках передач требует некоторого времени и сопровождается ударами.



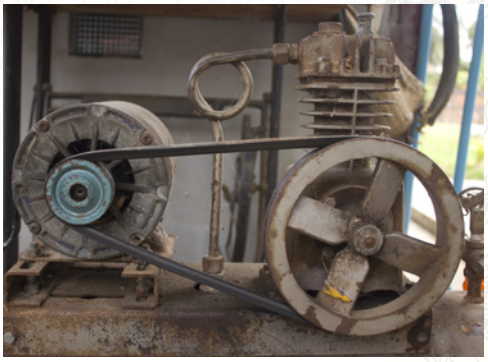
§2

Историческая справка

Вариаторы нашли широкое распространение относительно недавно, благодаря развитию новых технологий, материалов и систем управления процессами.

Патент на вариатор был выдан в конце XIX века, но если изучить «кодексы» Леонардо Да-Винчи, то там можно найти первые упоминания и чертежи механизмов вариатора!

В связи с тем, что механика стремительно развивалась в последние несколько столетий, а механические передачи были известны достаточно давно, то к началу XX века уже существовали зубчатые передачи (с. 13), цепные, ременные и передачи других типов.



Большинство из механических передач уже успешно применялись в различных областях.

Дальнейшее развитие и усовершенствование механические передачи получили при появлении автомобилей.

Транспортные средства требуют обязательного наличия механической передачи, которая связывает вал двигателя и колеса.

Зубчатые передачи позволяли вручную, ступенчато менять передаточное отношение, изменяя частоту вращения колес при постоянной частоте вращения вала двигателя.

Но необходимость в создании передачи, которая будет изменять передаточное отношение автоматически, без участия человека, привела к развитию и массовому внедрению в автомобильную промышленность новых видов механизмов, одним из которых является вариатор.

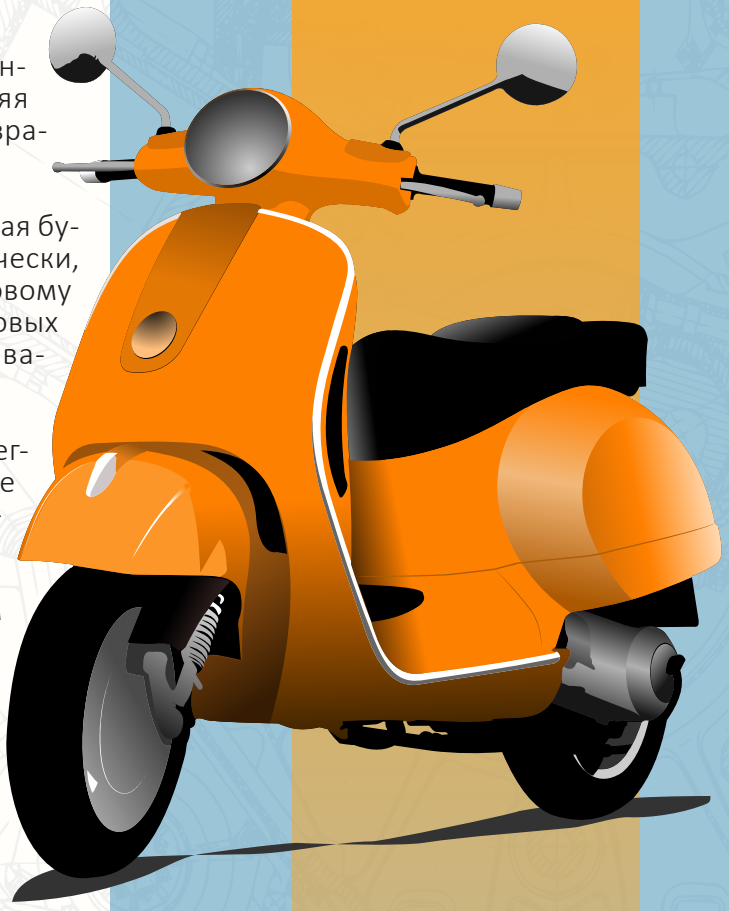
В начале XX века вариаторы применялись в легкой технике (скутеры, мотороллеры). В середине века, в 50-х, широкое распространение нашли в авиации (в электрогенераторах).

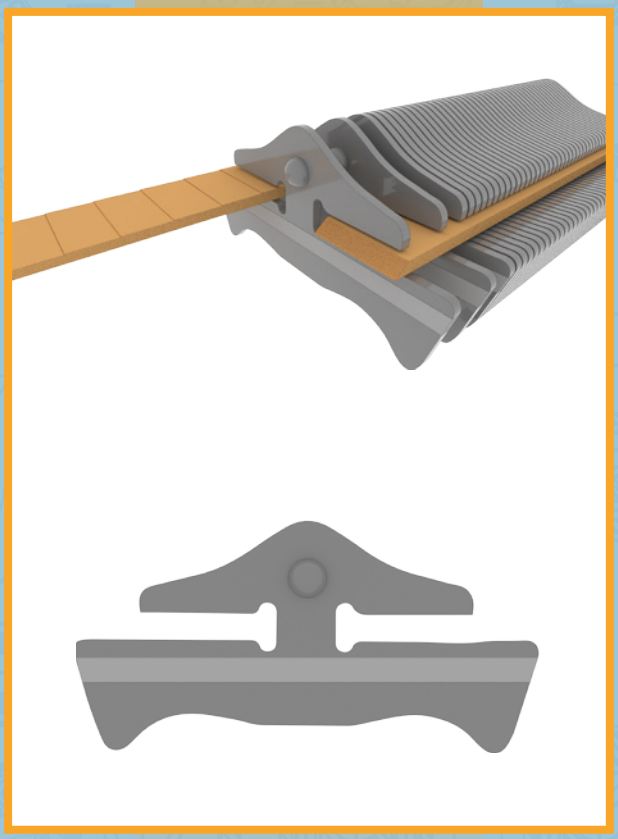
Первый серийный автомобиль с вариатором появился в 1958 году — DAF 600. На его создание инженера Хуберта Ван Доорна, основателя фабрики DAF, вдохновил ременной привод, использовавшийся в механизмах на заводе. Назвали данную технологию трансмиссии — Variomatic.

Несмотря на простоту механизма и невысокую себестоимость, производители изначально скептически отнеслись к новой технологии.

В 1986 году был разработан вариатор с металлическим ремнём, который до сих пор продолжает совершенствоваться.

Это существенно улучшило технические показатели вариаторов. Как по длительности ресурса ремня (150 000-200 000 км против 50 000 км), так и по применению в трансмиссии с более мощными моторами — до 200-300 л.с.).





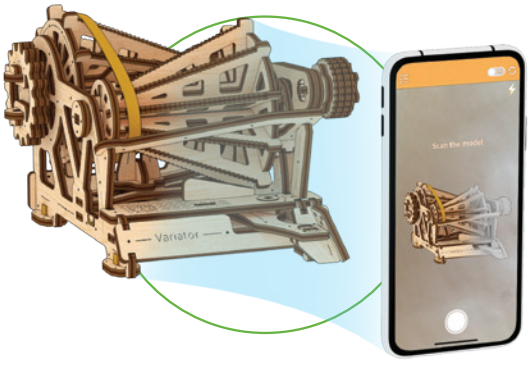
Металлический ремень вариатора

Уникальный AR-опыт: как механизм применяется в реальной жизни

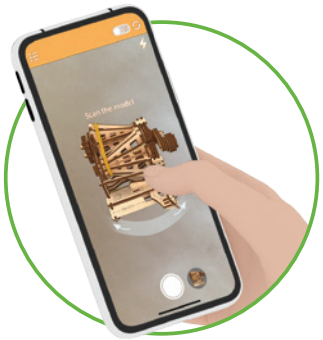
1 **Отсканируйте QR-код для загрузки приложения UGEARS AR**

2 **Откройте приложение**

3 **Совместите вид собранной модели с ее отображением на экране**



4 **Взаимодействуйте в дополненной реальности (AR)**



Каждая из механических моделей серии UGEARS STEM-lab представляет собой интерактивное учебное пособие по механизму.

Соберите ВАРИАТОР собственноручно и узнайте, как устроен этот механизм и какой принцип его работы.

С помощью специального приложения UGEARS AR окунитесь в мир дополненной реальности. Наведите смартфон или планшет на собранную модель, чтобы посмотреть, где этот механизм используется в реальной жизни. С моделью можно взаимодействовать на экране, рассмотреть механизм с разных ракурсов и увидеть, как используется ВАРИАТОР в приводе (трансмиссии) скутера или мотороллера.

Получите неограниченную поддержку!
Если в процессе сборки у Вас возникнут вопросы, команда Ugears всегда рядом и готова предоставить совет и инженерную поддержку. Именно для этого мы ввели службу поддержки покупателей, которая круглосуточно принимает заявки и отвечает на них в кратчайшие сроки.

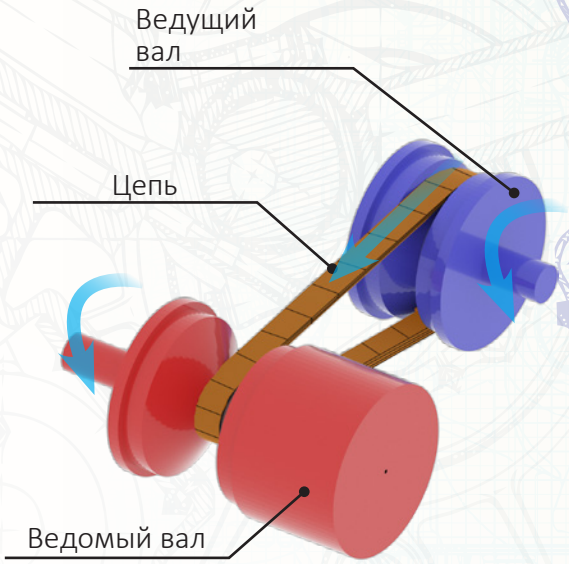
Customer support:
customerservice@ugearsmodels.com

§3

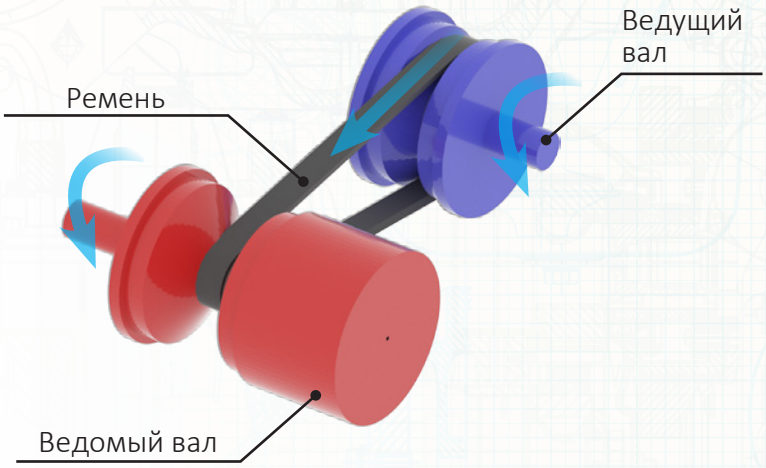
Что это за механизм и где он используется

Давайте рассмотрим более подробно принцип работы вариаторов.

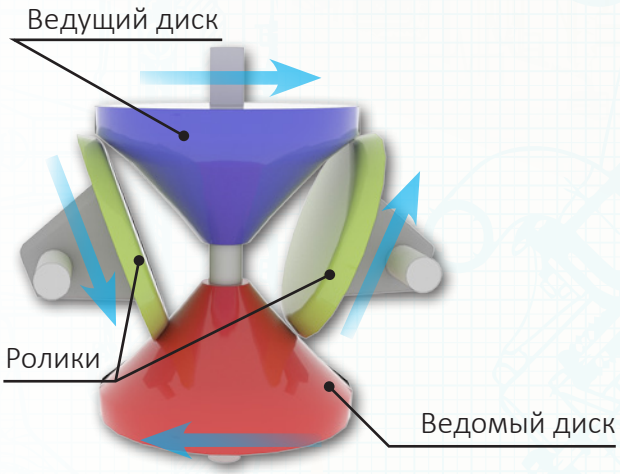
Вариаторы бывают различных типов: цепные, клиноременные, тороидальные.



Цепной вариатор

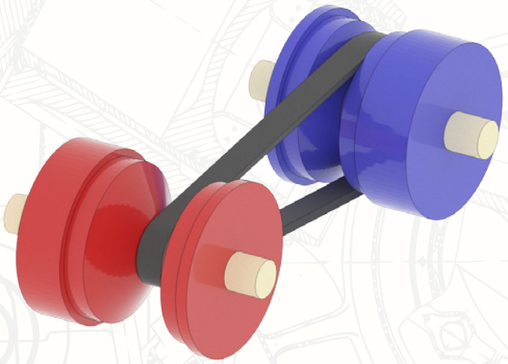


Клиноременный вариатор



Тороидальный вариатор

Современные автомобильные вариаторы — это специальные ременные передачи.
На практике в основном используются две типичные конструкции вариаторов:
- Фрикционный клиноременный вариатор
- Фрикционный конусный вариатор с ремнём

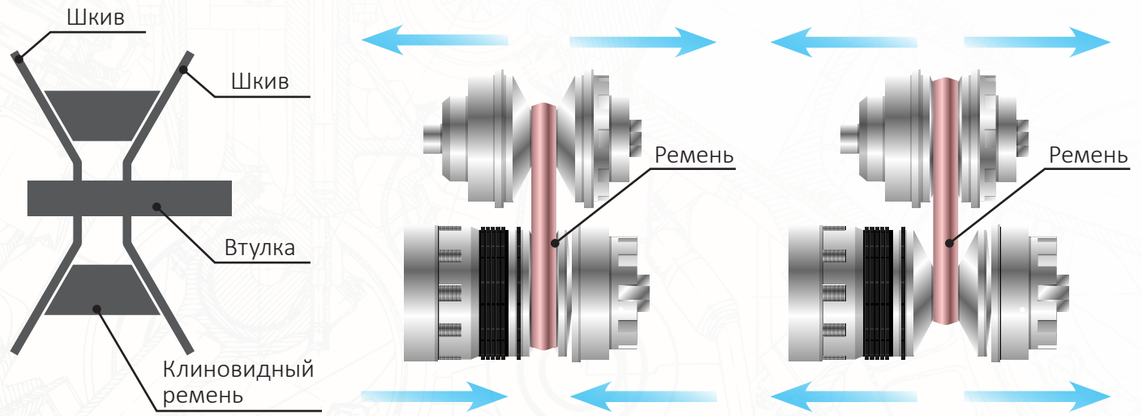


Фрикционный клиноременный вариатор

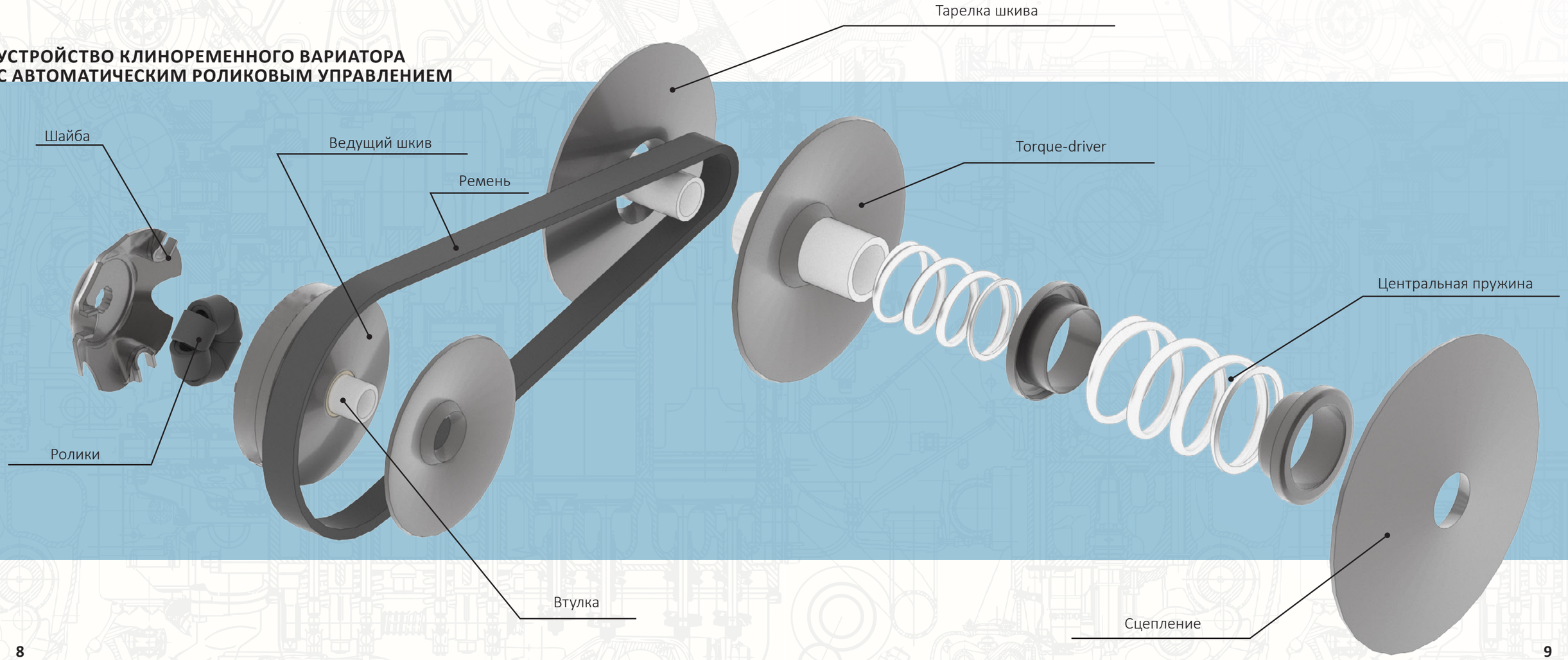
Фрикционный конусный вариатор с ремнём

Рассмотрим пример работы клиноременного вариатора как наиболее широко используемого в автомобильной промышленности.

Вариатор, работающий по принципу ременной передачи, оснащен ремнем, который в поперечном сечении имеет клиновую форму (форму трапеции), а его шкивы выполнены из двух частей (боковин).



УСТРОЙСТВО КЛИНОРЕМЕННОГО ВАРИАТОРА С АВТОМАТИЧЕСКИМ РОЛИКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ



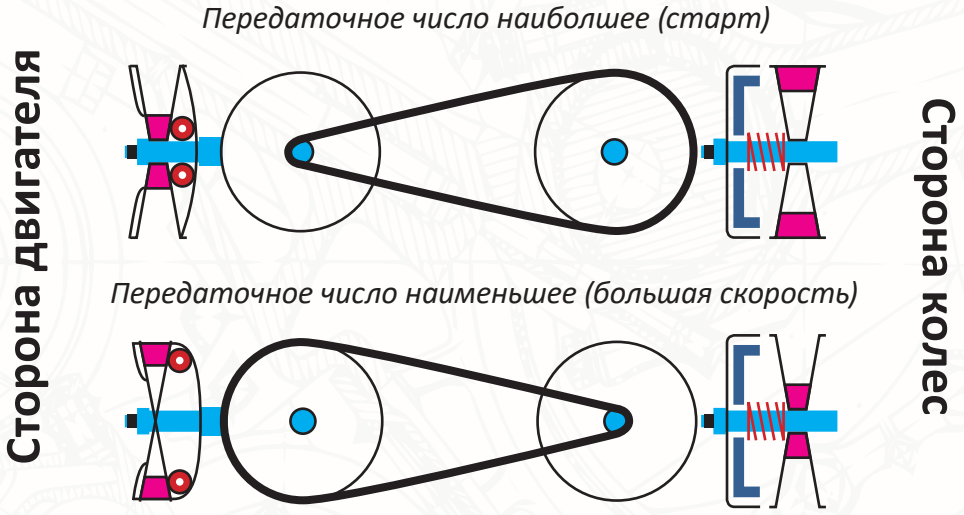
Две соседние боковины совместно формируют проем (паз) конусообразной формы. В этой конструкции ведущий шкив соединен с валом двигателя, а крутящий момент от ведомого вала передается на колеса автомобиля.

Расстояние между соседними боковинами изменяется при помощи внешней системы управления.

Одновременно система управления обеспечивает необходимое натяжение ремня. Это критически необходимо, поскольку усилие передается именно при помощи силы трения.

Таким образом, размер проема между боковинами шкива может меняться. При расширении проема между боковинами ремень будет смещаться ближе к оси вращения шкива и взаимодействовать с ним вдоль окружности малого диаметра.

Изменяя радиус огибания ремнем ведущего и ведомого шкива, можно плавно менять передатчно отношение

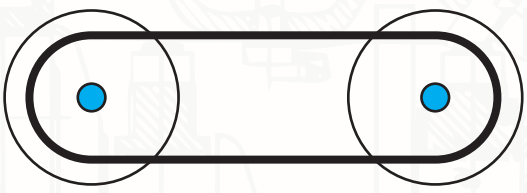


И наоборот, при сближении боковин ремень будет отдаляться от оси вращения и перемещаться на окружность большого диаметра.

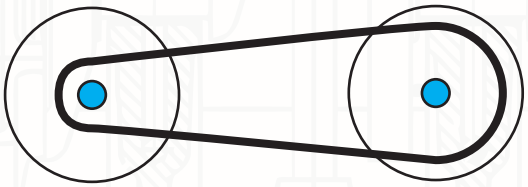
Иными словами, ременной вариатор можно назвать ременной передачей, со шкивами, диаметр которых может изменяться. Система управления при «увеличении» диаметра одного из шкивов обеспечивает одновременное «уменьшение» диаметра другого шкива. Это необходимо для поддержания необходимого натяжения ремня. Таким образом, для ременного вариатора изменяется эффективный диаметр, за счет смещения ремня.

Двигатель не запущен

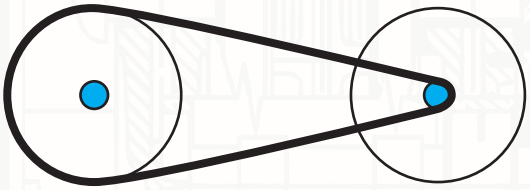
Средние обороты двигателя

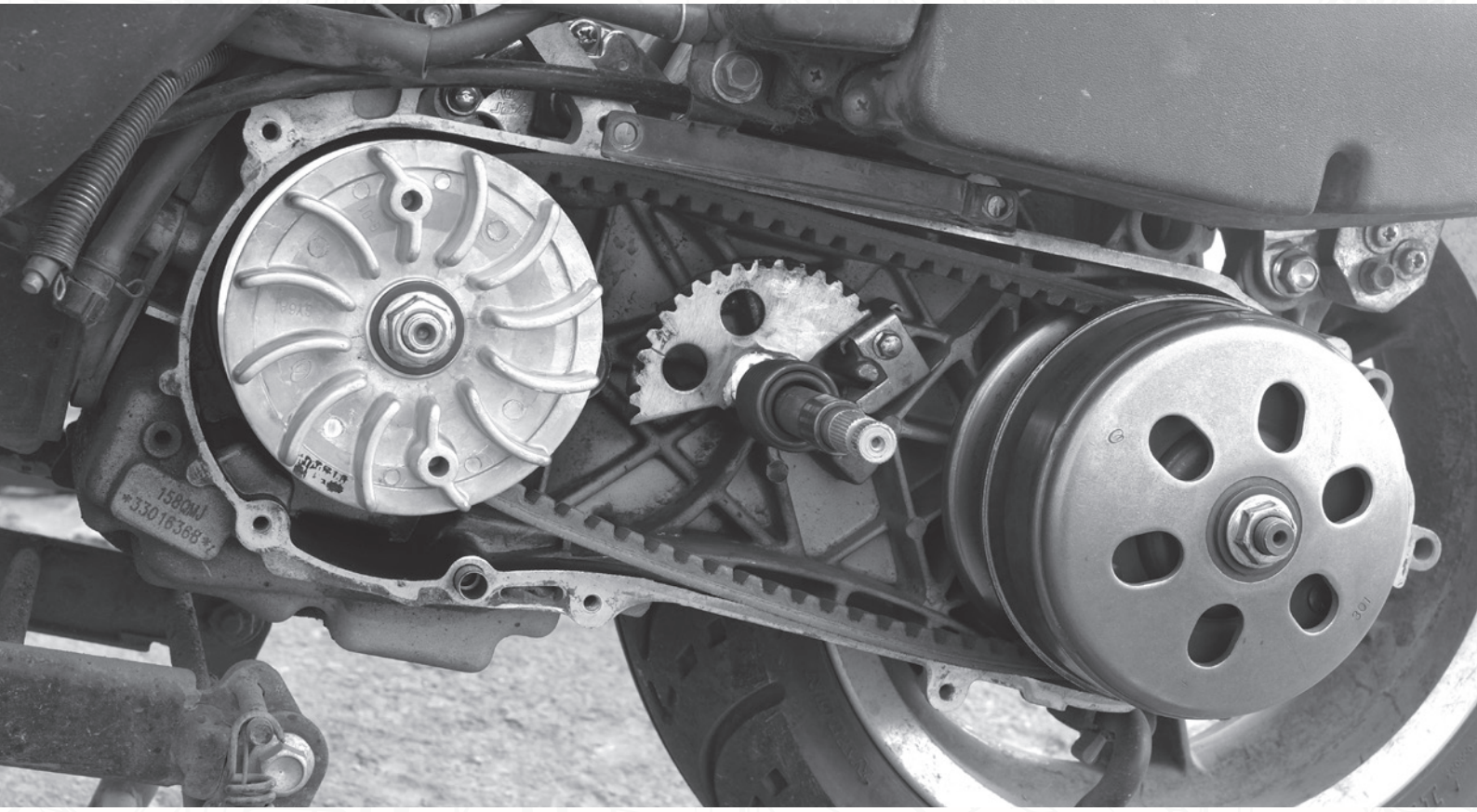


Малые обороты двигателя



Максимальные обороты двигателя





Как видим, изменение эффективного диаметра шкивов приведет к изменению передаточного отношения. Причем вариатор обеспечивает большую часть из функций механической коробки передач*. А именно — регулирование частоты вращения выходного вала (колес автомобиля), а также изменение (увеличение) момента силы (крутящего момента) на выходном валу. И главное: вариатор позволяет изменять передаточное отношение быстро и плавно, без необходимости переключения и без ударов! При этом процесс изменения передаточного отношения полностью автоматизирован.

Это упрощает управление транспортным средством (это фактор, который вместе с простотой и дешевизной делает популярным применение вариатора в скутерах).

*** Интересно!**

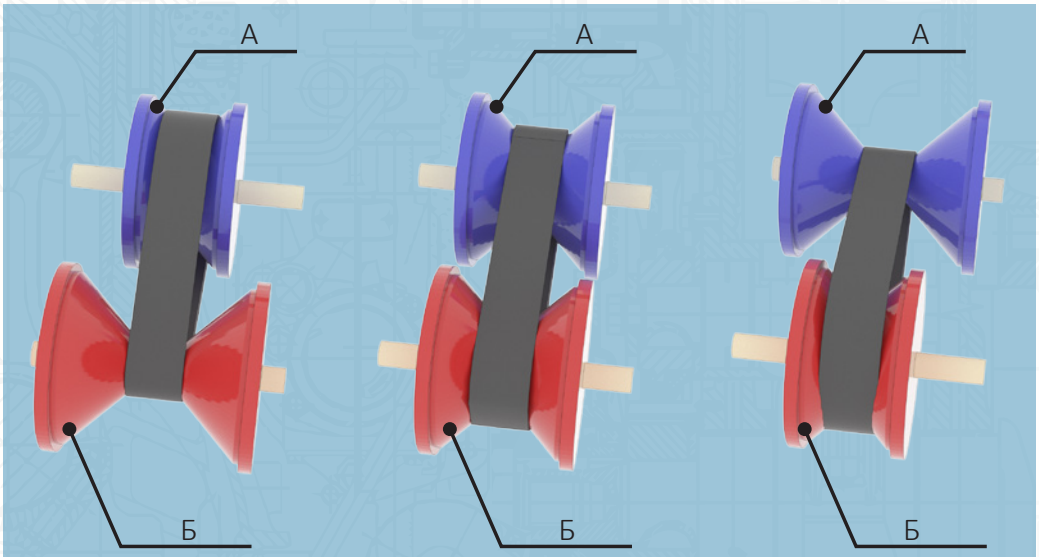
Посмотреть и понять основные принципы работы механической коробки передач поможет механический конструктор «Коробка передач» из серии UGEARS STEM Lab — модель, которая полностью повторяет принцип действия механической коробки передач.

§4

Физика и механика на примере STEM-модели «Вариатор»

Как мы уже выяснили, вариаторы широко применяются в автомобилях и различных механизмах. Они являются механическими передачами, передаточное отношение которых изменяется при помощи внешней системы управления.

Подавляющее количество вариаторов являются **специальными ременными передачами**. Это более сложные механические передачи, которые имеют дополнительную систему управления, позволяющую различными способами, например, изменением геометрии шкивов или путем перемещения ремня обеспечивать изменение передаточного отношения.



Для вариатора также может быть использована формула для определения передаточного отношения, но диаметры D_A и $D_Б$ в этой формуле будут не постоянными, а переменными:

$$i = \frac{n_A}{n_Б} = \frac{D_Б}{D_A}$$

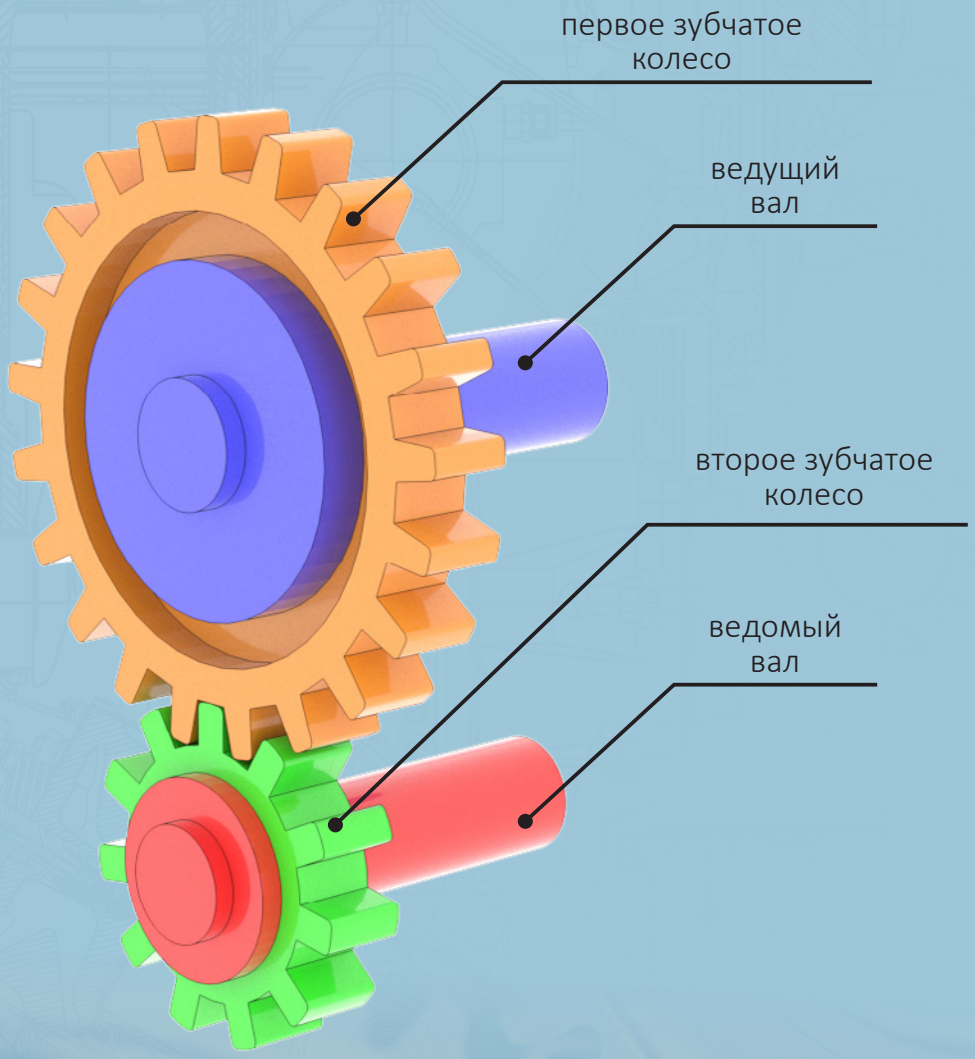
Рассмотрим простую ременную передачу. Она состоит из двух дисков (шкивов), которые могут вращаться. На рисунке показаны шкивы А и Б, диаметры которых D_A и $D_Б$.

При этом шкивы находятся на соответствующих валах — шкив А на ведущем и шкив Б на ведомом. Шкивы соединены механически при помощи специального гибкого ремня, который охватывает шкивы и находится в натянутом состоянии.

В данном случае усилие передается при помощи силы трения ремня о шкивы, и при повороте шкива А будет вращаться шкив Б. Данная передача может работать только при наличии натяжения ремня. А по выполняемым функциям она аналогична зубчатой передаче. Но в отличие от зубчатой передачи, позволяет передавать усилие при помощи ремня на большие расстояния.

Для рычагов, колес и других вращающихся частей механизмов широко используется такая величина как момент силы (крутящий момент) (с. 15).

Зубчатая передача решает задачи по изменению момента силы и скорости вращения. Моменты силы на входе передачи и на выходе не равны между собой. Поскольку звенья (зубчатые колеса) совершают вращательные движения, это приводит к тому, что на одном валу обеспечивается низкий момент силы и высокая скорость вращения, а на другом валу передачи получаем большой момент и низкую скорость вращения.



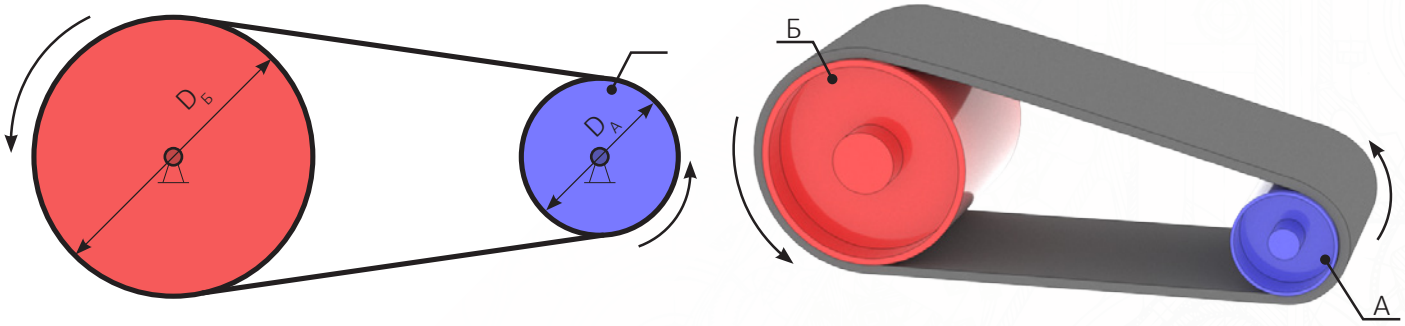
Ведущий вал, как правило, приводится во вращение двигателем и неподвижно соединен с первым зубчатым колесом, а ведомый вал неподвижно соединен со вторым зубчатым колесом и преодолевает внешнее сопротивление (например, обеспечивает вращение колес транспортного средства).

Важнейшим параметром механических передач является передаточное отношение. Передаточное отношение — это соотношение частот вращения ведущего вала и ведомого вала.

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

где частота вращения — это количество оборотов, которое совершает каждое из колес за минуту n_1 для первого колеса и n_2 — для второго). В соответствии с законом сохранения энергии, увеличению частоты вращения будет соответствовать уменьшение крутящего момента.

Одно из колес (большой шкив) вращается медленно, но к его валу приложен большой момент силы, меньший шкив имеет высокую частоту вращения, и при этом низкий момент на валу.



а) *б)*

Момент силы — это величина, равная произведению силы на плечо. В самом простом случае (см. рис.) момент силы, действующий на тело, равен произведению усилия в Ньютонах на расстояние от оси вращения до точки приложения силы в метрах. Согласно примеру, момент M находится по формуле:

$$D = F * L.$$

В рассмотренном примере плечом является расстояние от оси вращения до точки приложения силы (т.е. точка на поверхности шкива).

Передаточное отношение ременной передачи также показывает, во сколько раз передача изменяет (увеличивает или уменьшает) частоту вращения при соответствующем изменении момента силы.

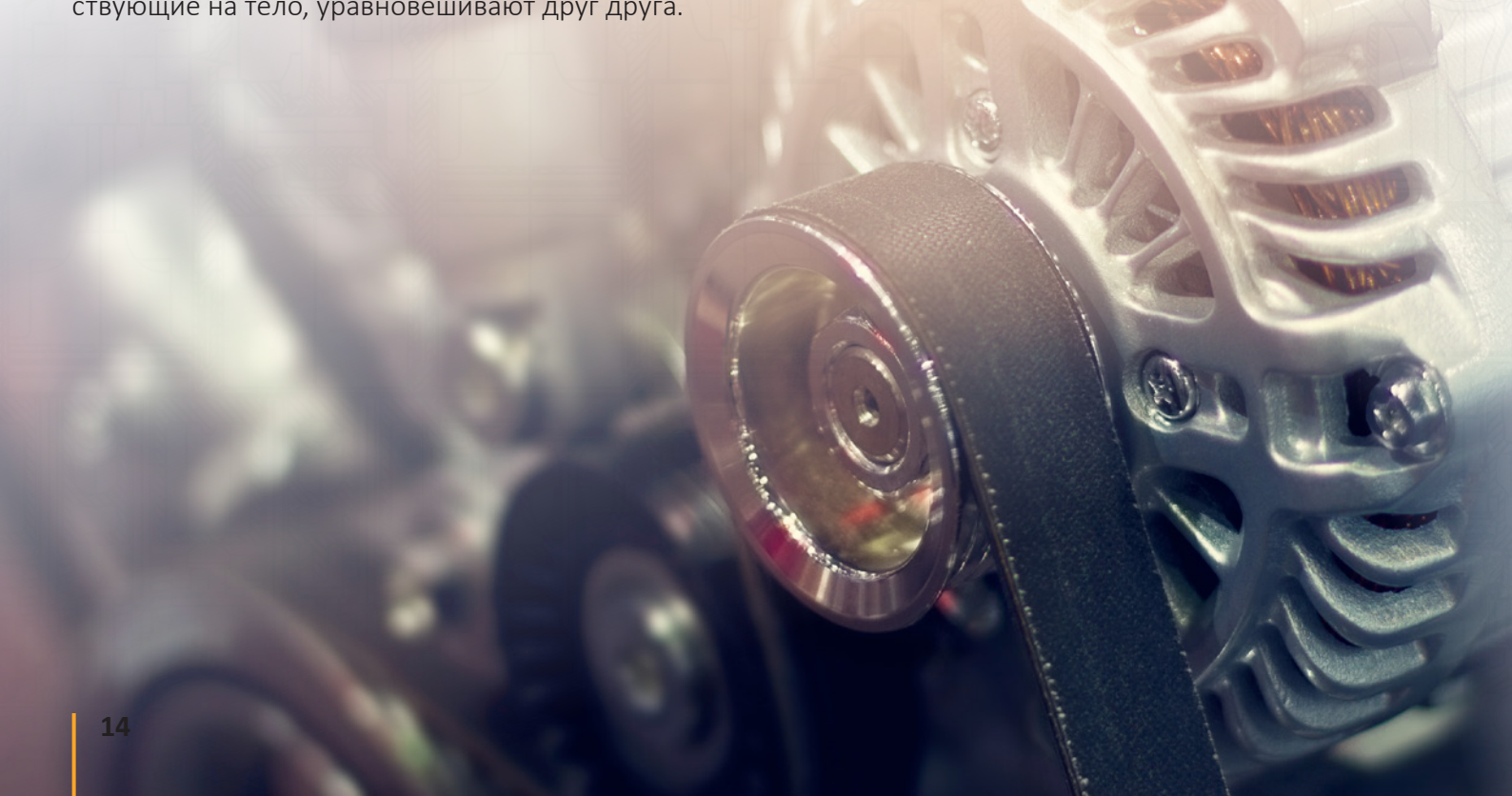
$$i = \frac{n_А}{n_Б} = \frac{D_Б}{D_А}$$

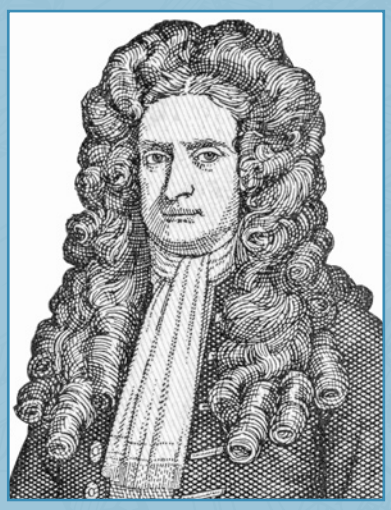
*Тут хотелось бы обратить внимание, что передаточное отношение показывает соотношение частот вращения шкивов, соответственно больший шкив будет вращаться с меньшей частотой, поэтому в данном случае передаточное отношение больше 1.

Как видим из описания и иллюстраций, одно и то же колесо, которое совершает вращательное движение, будет создавать разные усилия в зависимости от расстояния приложения силы до оси вращения колеса.

А для моментов сил, действующих на тело, используется следующая закономерность: для того, чтобы тело находилось в равновесии, сумма моментов всех сил, которые на него действуют, должна равняться нулю.

Согласно закону Ньютона, две одинаковые по значению, но противоположно направленные силы, действующие на тело, уравновешивают друг друга.





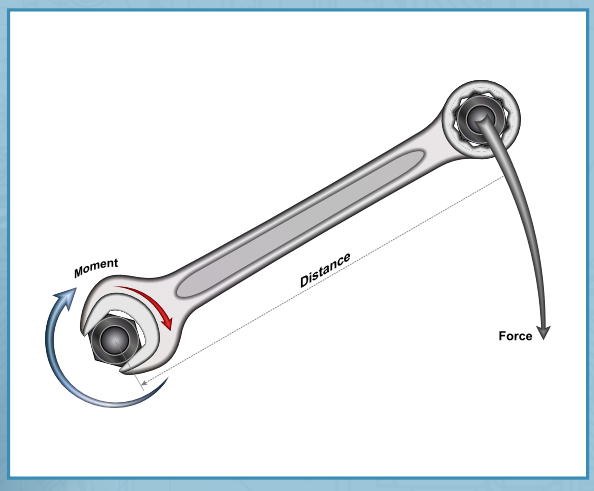
Ньютон (F) *— единица силы. Физическая величина, которая определяет, насколько одно тело влияет на другое. Например, мы часто говорим о том, какие мы сильные, но на самом деле имеем в виду, насколько сильно мы можем влиять на другие предметы. Сила измеряется в Ньютонах.*

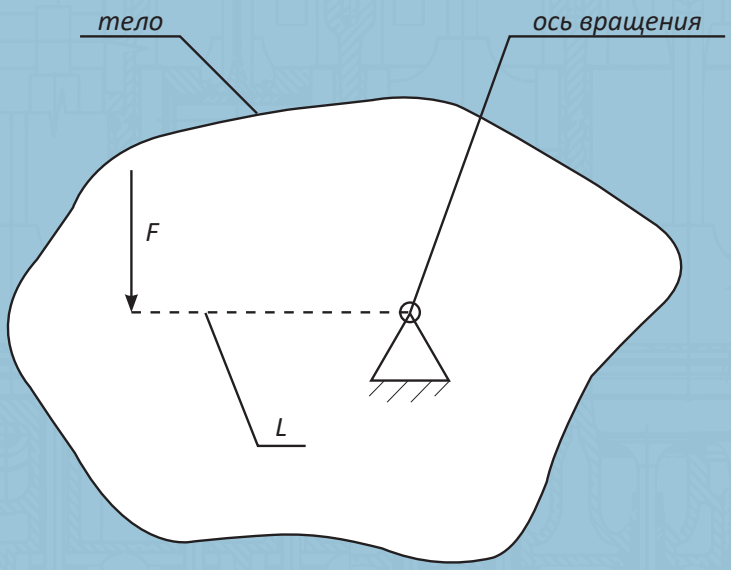
Крутящий момент *— это произведение (умножение) силы на плечо рычага, к которому она приложена. Если сила измеряется в Ньютонах, то плечо рычага измеряется в метрах или футах (например, длина гаечного ключа). Соответственно, 1Н * 1м = 1 Нм. 1 Нм равно силе в 1Н (Ньютон), которая прикладывается к рычагу длиной 1 метр.*

В двигателях внутреннего сгорания сила передается от топлива, которое воспламеняется, поршню, от поршня кривошипному механизму, от кривошипного механизма коленвалу. А вот уже коленвал через систему трансмиссии и приводов раскручивает колеса.

Понятно, что он не постоянен. Сильнее — когда на плечо действует большая сила, слабее — когда сила перестает действовать. То есть, когда мы давим на педаль газа то сила, действующая на плечо увеличивается, а соответственно увеличивается и момент.

Рычаг *— твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры. Хорошим примером рычага может быть гаечный ключ. Если мы попробуем открутить гайку, то один конец ключа установим на ее головку, а за другой будем тянуть, таким образом мы получим рычаг.*



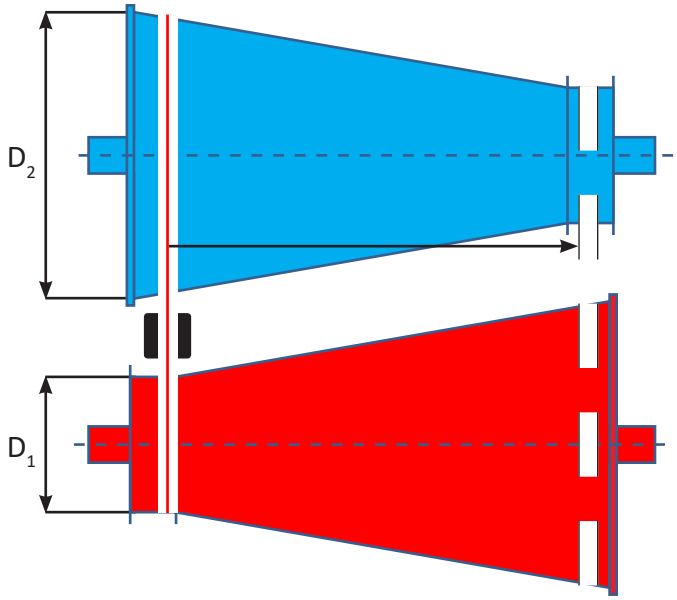


§5

Механический Вариатор UGEARS

Механический вариатор **UGEARS** выполнен по схеме **фрикционного конусного вариатора** с ремнем. В отличие от клиноременного вариатора (который мы рассмотрели ранее), конусный вариатор с ремнем обеспечивает те же функции, но геометрия его шкивов не изменяется.

Сами шкивы имеют форму конусов, а перемещаться может сам ремень, который изготовлен из эластичного материала (перемещение ремня происходит при помощи специального рычага, который смещает ремень по конусам). Таким образом, при смещении ремня в одну сторону он перемещается в область первого конуса с большим диаметром. В то же время на втором конусе он смещается в область с меньшим диаметром (см. рис.). Такая схема работы полностью эквивалентна схеме **клиноременного вариатора.**



Фрикционный конусный вариатор с ремнём

Рассмотрим более детально конструкцию Вариатора UGEARS**,** а также процесс изменения передаточного отношения в нем.

Вариатор имеет ведущий конус, который вращается вручную при помощи ручки (через дополнительную зубчатую передачу), и ведомый конус, которому передается вращение. На два конуса накинут ремень из эластичного материала, который передает механическую энергию за счет сил трения. В устройстве предусмотрен рычаг, который позволяет смещать ремень, тем самым достигается изменение передаточного отношения (см. рис.).

Два конуса являются одинаковыми, их оси вращения параллельны, но вершины конусов направлены в разные стороны. Таким образом, часть первого (ведущего) конуса с максимальным диаметром размещена напротив части второго (ведомого) конуса с минимальным диаметром. При этом максимальный диаметр конуса составляет 65 мм, а минимальный — 25 мм (соотношение этих величин равно 2,6). Напоминаем, что вариатор можно рассматривать как обычную ременную передачу с изменяемым диаметром шкивов. В данном случае значение диаметров шкивов (вместо которых используются конусы) изменяется в диапазоне от 25 мм до 65 мм.

Для вариатора будем использовать следующие обозначения:

n_A – *частота вращения ведущего конуса*

D_A – *текущее значение диаметра ведущего конуса*

$n_Б$ – *частота вращения ведомого конуса*

$D_Б$ – *текущее значение диаметра ведомого конуса*

Изменение передаточного отношения при помощи Вариатора UGEARS

В положении, рассмотренном на рис. 1, ремень установлен при помощи рычага в среднем положении (посредине конусов), в таком положении диаметры частей обоих конусов, охватываемых ремнем, равны. Найдем передаточное отношение:

$$i = \frac{n_A}{n_Б} = \frac{D_Б}{D_A}$$

Согласно приведенной формуле, поскольку диаметры равны, передаточное отношение равно 1.

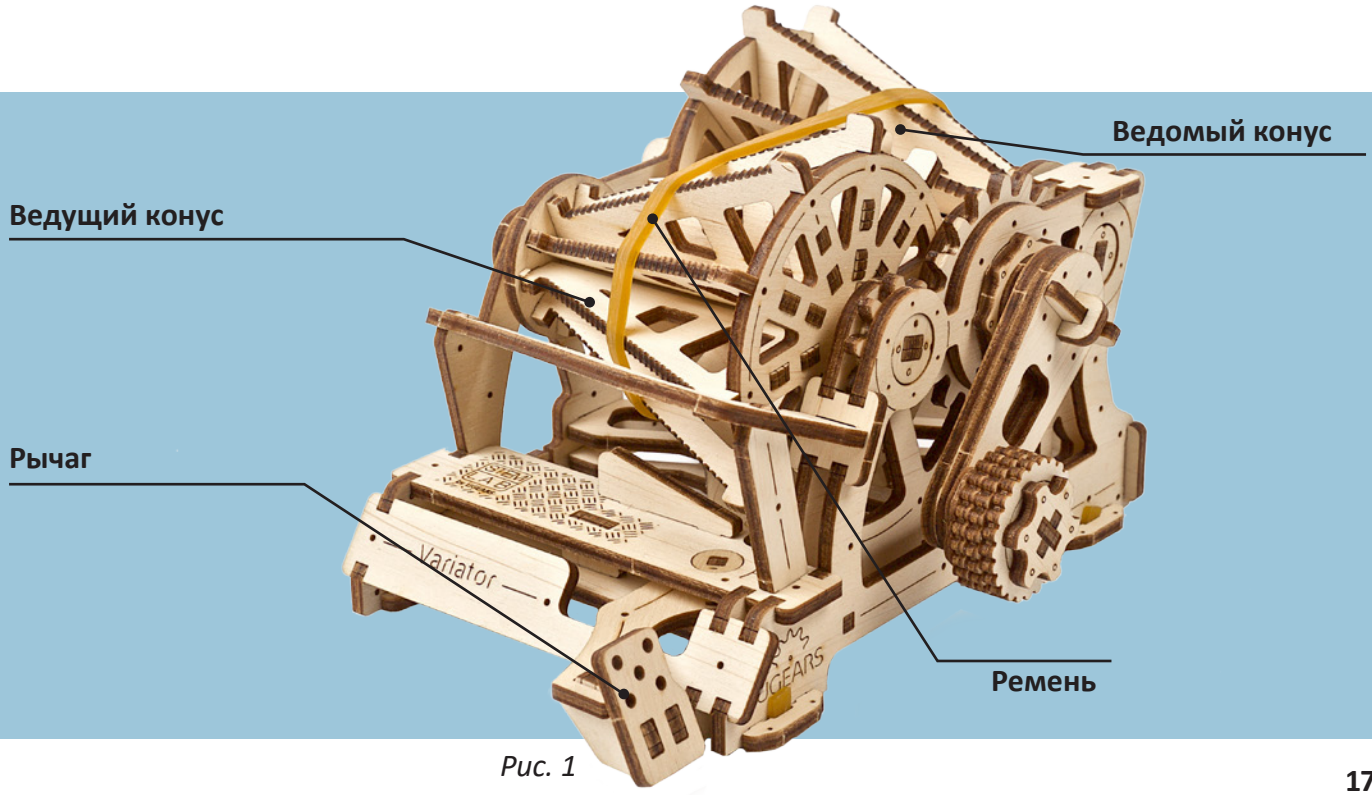


Рис. 1

Для случая, рассмотренного на рис. 2, ремень находится в крайнем правом положении, соответственно необходимо подставлять в формулу для ведущего конуса $D_А = 25$ *мм*, а для ведомого $D_Б = 65$ *мм*. Соответственно:

$$i = \frac{n_А}{n_Б} = \frac{D_Б}{D_А} = 2.6$$

Это означает, что в таком положении ремня передача будет являться редуктором.

Механические передачи разделяются на редукторы и мультипликаторы. Редукторы передают механическую энергию от ведущего вала к ведомому, при этом уменьшая частоту вращения, но увеличивая крутящий момент. Мультипликаторы передают механическую энергию от ведущего вала к ведомому, при этом увеличивая частоту вращения и уменьшая крутящий момент.

Она будет понижать частоту вращения ($n_А > n_Б$) и ведущий конус будет вращаться в 2.6 раза быстрее, чем ведомый. Иными словами, в то время, как ведущий конус сделает 2.6 оборота, ведомый совершит 1 оборот.

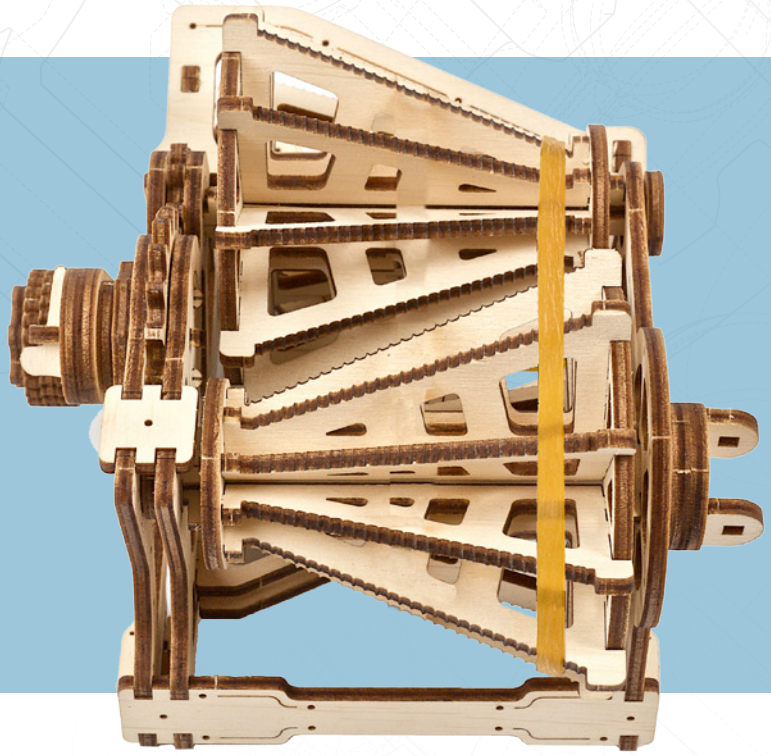


Рис. 2

Если разместить ремень в противоположном положении (ремень находится в крайнем левом положении согласно рис.), передача будет повышать частоту вращения при соответствующем изменении крутящего момента ($n_А < n_Б$).

В таком положении передаточное отношение будет равным 0.38, и одному обороту ведущего конуса будет соответствовать 2.6 оборота ведомого конуса.

Вы можете установить ремень в любое промежуточное положение при помощи рычага (не центральное и не крайнее), и после этого рассчитать передаточное отношение, измерив диаметры размещения ремня на конусах. Проверить правильность проведенных расчетов можно, сделав 1 оборот ведущего конуса и оценив количество оборотов, сделанное ведомым конусом.

§6 Практические задания

ТЕСТ

1. Чему равен момент силы?
☐ а) силе, деленной на плечо
☐ б) силе, умноженной на плечо
☐ в) значению переменной силы в данный момент времени

2. Что показывает передаточное отношение передачи?
☐ а) отношение частоты вращения ведущего вала и ведомого вала
☐ б) частоту вращения ведомого вала
☐ в) отношение диаметров ведущего шкива и ведомого

3. Какое из перечисленных передаточных отношений обеспечивает повышение частоты вращения на выходе?
☐ а) 2
☐ б) 1
☐ в) 0,5

4. Чем отличается вариатор от обычной ременной передачи?
☐ а) вариатор содержит ремень изменяемой длины
☐ б) вариатор позволяет ступенчато изменять передаточное отношение
☐ в) вариатор позволяет плавно изменять передаточное отношение

Поздравляем, Вы сделали это!

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