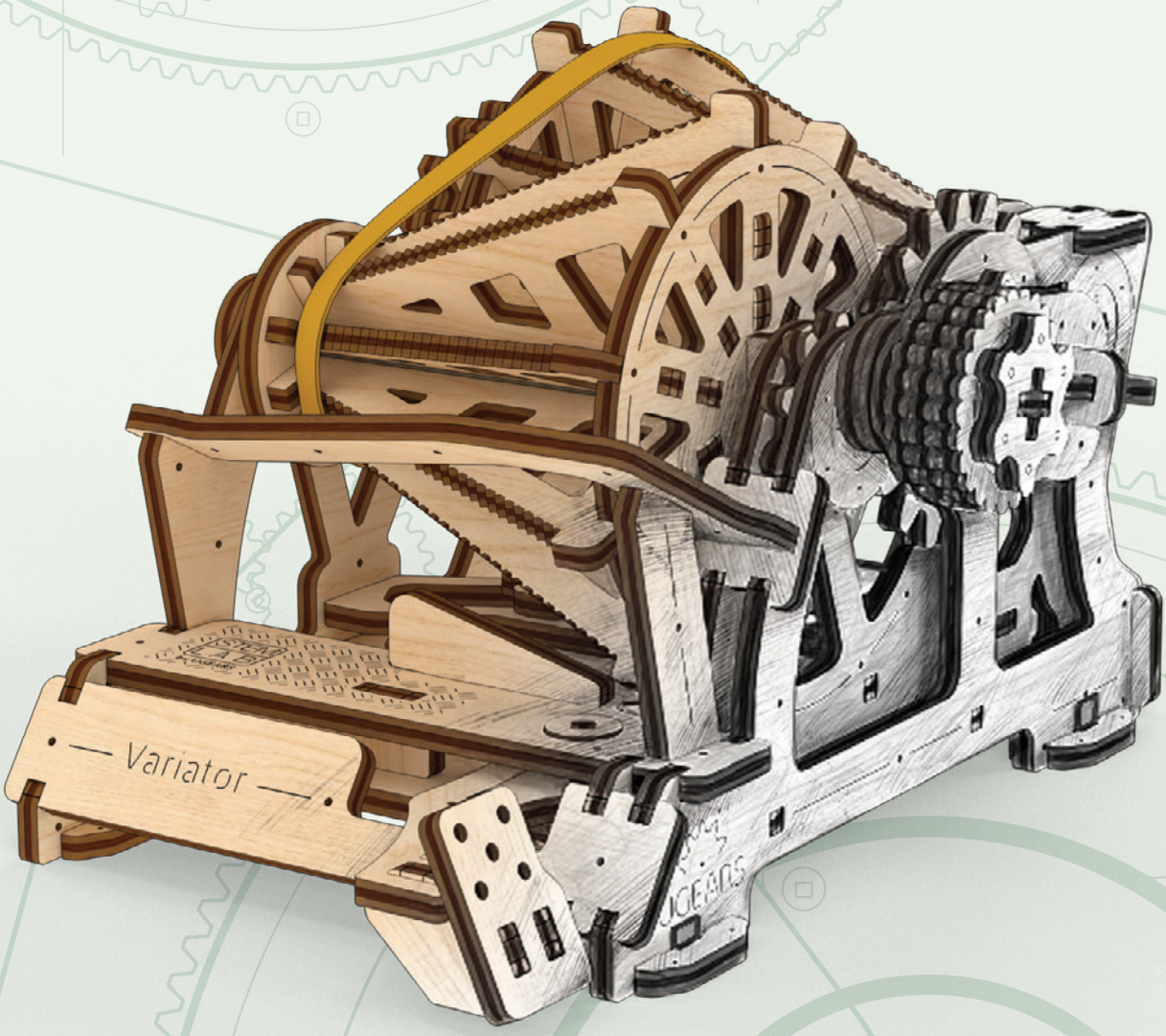
STEM LAB by UGEARS

МЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ

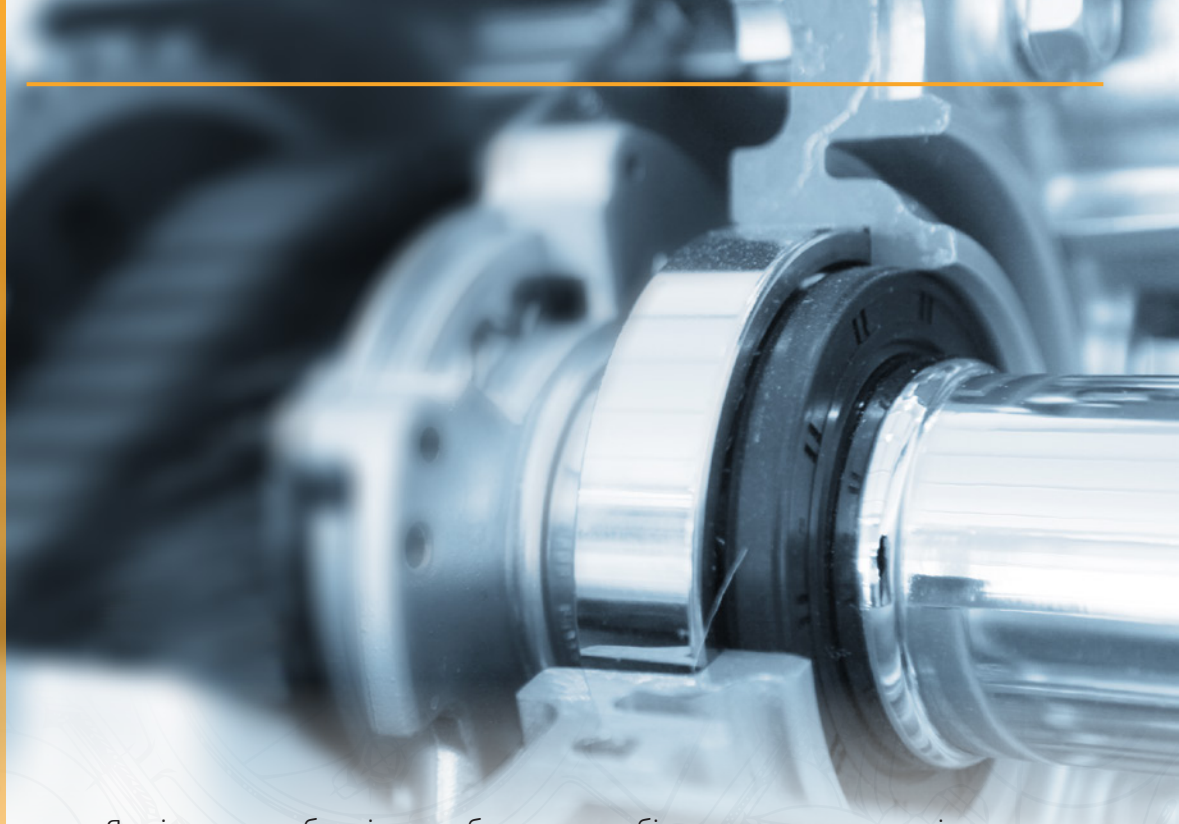
ВАРІАТОР



Довідник юного механіка

§1

Вступ



Як відомо, особливістю роботи автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння є необхідність використання коробки передач. Це пов'язано з тим, що двигун може ефективно працювати в обмеженому діапазоні частот обертання. Інженери і розробники намагаються досягти оптимального співвідношення продуктивності, зносостійкості, вартості та маси двигунів, а також, звісно, їх енергоефективності.

Оскільки двигуни внутрішнього згоряння дозволяють регулювати частоту обертання вихідного валу в досить вузькому діапазоні, то використання коробки передач забезпечує не тільки регулювання частоти обертання, але й підвищення моменту сили (крутного моменту, с.15), який передається на колеса автомобіля. Це забезпечує потрібну частоту обертання коліс транспортного засобу, без перевищення навантаження на двигун, економлячи при цьому ресурс двигуна та палива.

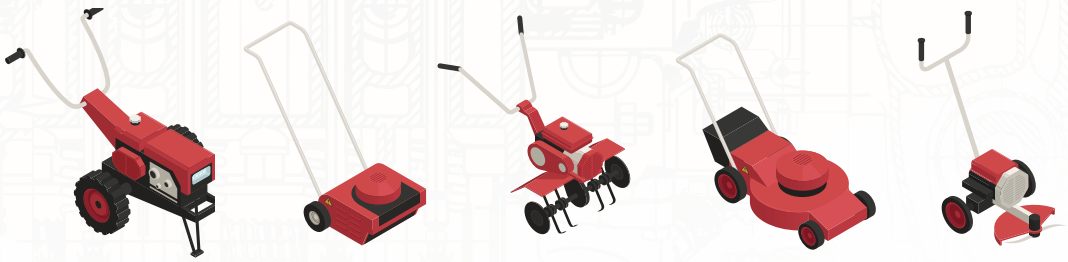
Крім того, за допомогою механічної передачі забезпечується реверс (задній хід), що досягається зміною напрямку обертання коліс автомобіля.

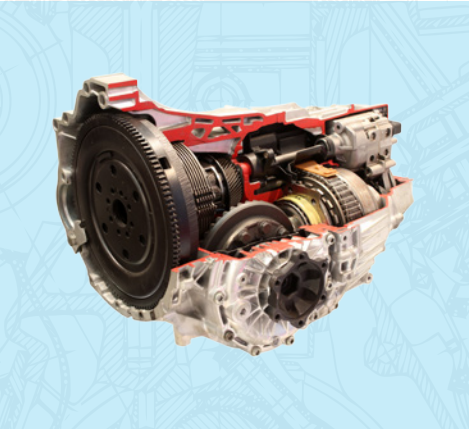
Кожна з пар шестерень забезпечує певне передавальне відношення. Як правило, зубчасті колеса об'єднані в групи по дві штуки, що дозволяє через рух групи шестерень в одну сторону (вперед) забезпечувати ввімкнення однієї передачі, а при русі в протилежному напрямку вмикається інша передача.

Варіатор через відсутність фіксованих передач плавно змінює відношення передачі, що з'єднує вал двигуна і приводні колеса автомобіля. Задній хід у трансмісіях із варіатором забезпечується спеціальним вузлом, який являє собою планетарний редуктор (якщо вам цікаво, що таке планетарні передачі, розгляньте STEM-модель «Курвіметр» https://ugears.ua/ru/stem-lab/curvimeter/).

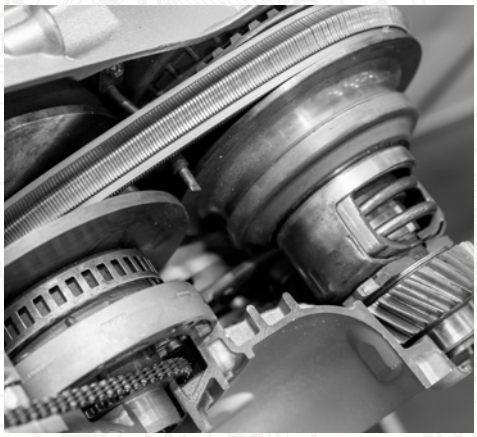
Варіатори застосовуються не тільки в автомобілях, але й у різних механізмах і дрібній моторній техніці: моторолерах, снігоходах і квадроциклах, верстатах, конвеєрах, газонокосарках тощо.

ugearsmodels.com/curvimeter.html

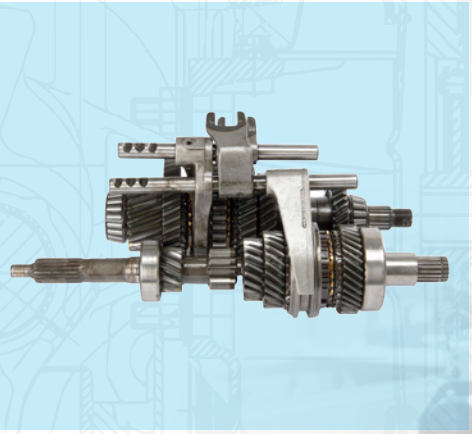




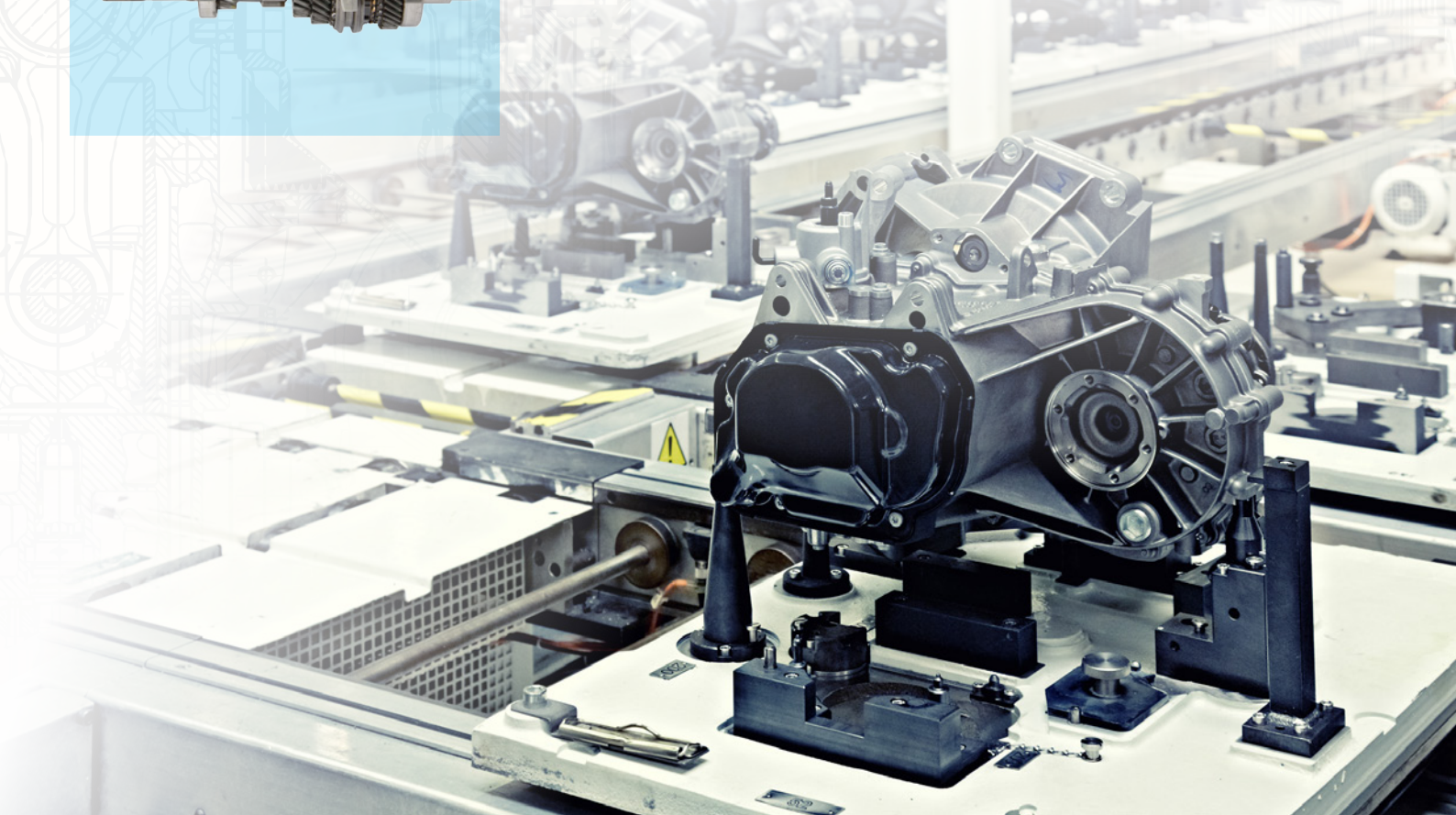
У сучасних транспортних засобах широко використовуються так звані автоматичні коробки передач (АКП), з розвитком технологій і техніки АКП витісняють механічні коробки передач (МКП) в автомобілях.



А «Варіатор» (лат. variātor – «змінювач») або варіаторна коробка передач (CVT — continuously variable transmission), з яким ми познайомимося сьогодні, – це один із видів автоматичної коробки передач.



У МКП, де передавальне число змінюється ступінчасто за допомогою ручки перемикання передач водієм, і в АКП, де передачі перемикаються автоматично, є такий недолік як ступінчасте перемикання передач, яке потребує певного часу й супроводжується ударами.



§2

Історична довідка

Варіатори стали широко поширеними відносно нещодавно, з розвитком нових технологій, матеріалів і систем управління процесами.

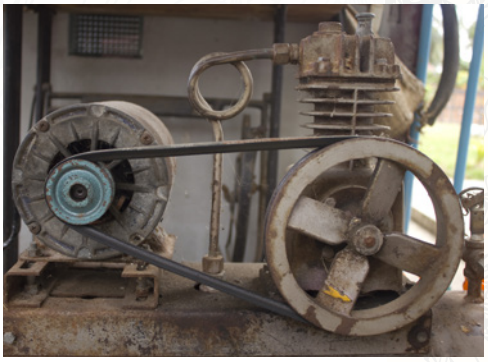
Патент на варіатор був виданий у кінці XIX століття, але в «кодексах» Леонардо Да-Вінчі можна знайти перші згадки та креслення механізмів варіатора!

У зв'язку з тим, що механіка стрімко розвивалася в останні кілька століть, а механічні передачі були відомі досить давно, то до початку XX століття вже існували зубчасті передачі (с.13) ланцюгові, ремінні та інші.

Більшість механічних передач вже успішно використовувалися в різних галузях. Подальший розвиток і вдосконалення вони отримали з появою автомобілів.

Транспортні засоби вимагають обов'язкової наявності механічної передачі, яка пов'язує вал двигуна і колеса.

Зубчасті передачі дозволяли вручну, поступово змінювати передавальне відношення, змінюючи частоту обертання коліс при постійній частоті обертання валу двигуна.



Але необхідність у створенні передачі, яка змінювала би передавальне відношення автоматично, без участі людини, призвела до розвитку і масового впровадження в автомобільну промисловість нових видів механізмів, одним із яких є варіатор.

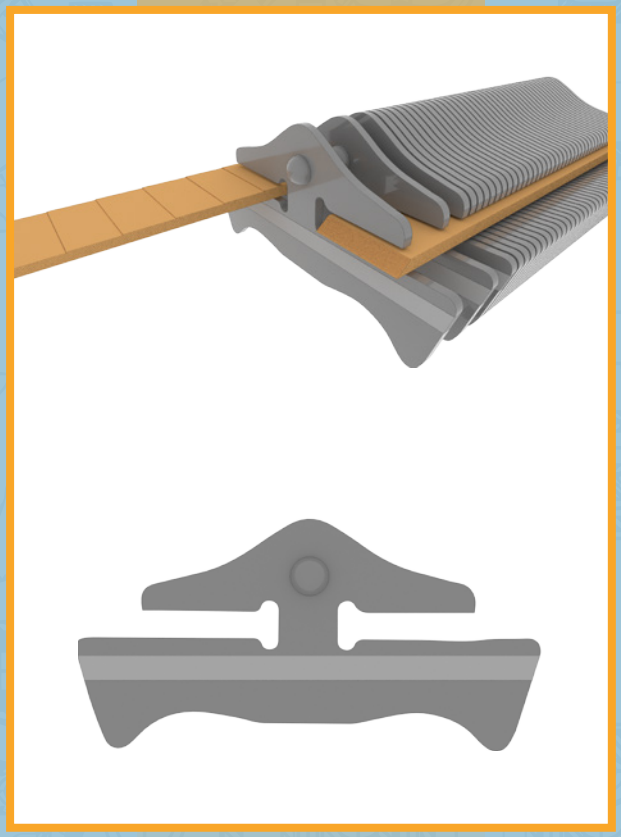
На початку XX століття варіатори застосовувалися в легкій техніці (скутери, моторолери). В середині століття, в 50-х, вони широко використовувалися в авіації (в електрогенераторах).

Перший серійний автомобіль з варіатором з'явився в 1958 році – DAF 600. На його створення інженера Хуберта Ван Доорна, засновника фабрики DAF, надихнув ремінний привід, який використовували в механізмах на заводі. Назвали цю технологію трансмісії – Variomatic.

Незважаючи на простоту механізму і невисоку собівартість, виробники спочатку скептично поставилися до нової технології.

У 1986 році був розроблений варіатор із металевим ременем, який і тепер продовжує вдосконалюватися.

Це істотно поліпшило технічні показники варіаторів. Такі, як тривалість ресурсу ременя (150 000-200 000 км проти 50 000 км) і застосування в трансмісії з більш потужними моторами – до 200-300 к.с.).



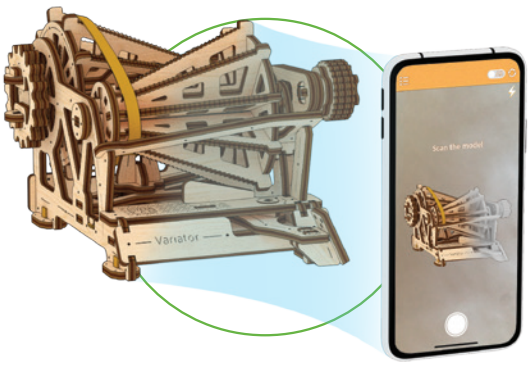
Металлический ремень вариатора

Унікальний AR-досвід: дізнайтеся, де механізм використовується в реальному житті.

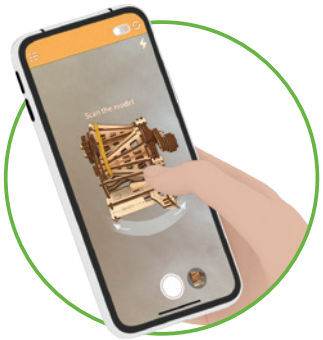
1 **Відскануйте QR, щоб завантажити додаток UGEARS AR**

2 **Відкрийте додаток**

3 **Наведіть на зібрану модель і сумістіть її зображення на екрані з образом моделі у додатку**



4 **Взаємодійте в AR**



Кожна механічна модель серії UGEARS STEM-лаб – це наочний навчальний посібник про те, як влаштований механізм і як він працює.

Складіть ВАРІАТОР власноруч та дізнайтеся, як влаштований цей механізм і який принцип його роботи.

За допомогою спеціального додатку UGEARS AR пориньте у світ доповненої реальності. Наведіть смартфон або планшет на зібрану модель, щоб подивитися, де цей механізм використовується у реальному житті. Ви зможете взаємодіяти з моделлю на екрані, роздивитися механізм із різних ракурсів і побачити, як працює ВАРІАТОР у приводі (трансмісії) скутера чи моторолера.

ANDROID APP ON Google play

Available on the iPhone App Store

Отримайте необмежену підтримку!
Якщо в процесі складання у Вас виникнуть запитання, команда Ugears завжди поруч і готова надати пораду та інженерну підтримку. Саме задля цього ми запровадили службу підтримки покупців, яка цілодобово приймає заявки і відповідає на них у найкоротші терміни.

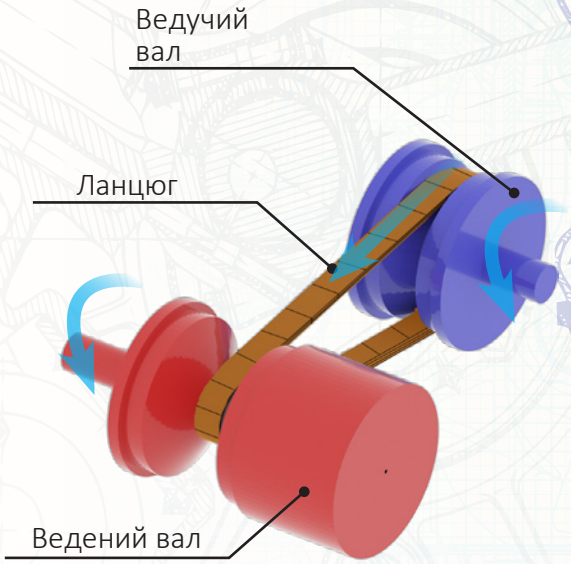
Служба підтримки UGEARS:
customerservice@ugearsmodels.com

§3

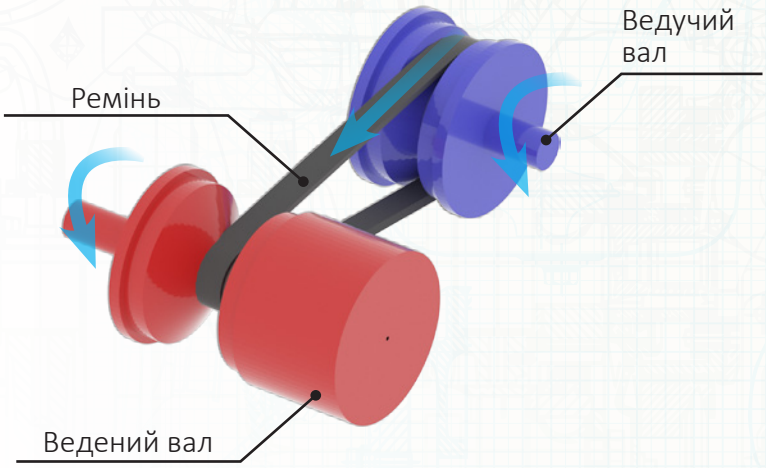
Що це за механізм і де він використовується

Давайте більш детально розглянемо принцип роботи варіатора.

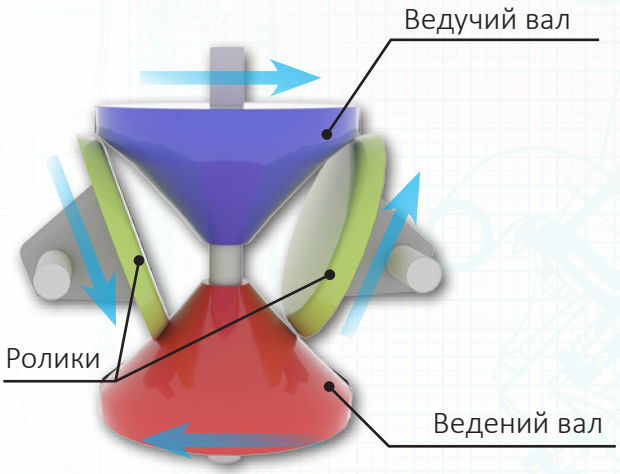
Варіатори бувають різних типів: клинореміннi, ланцюгові, тороїдальні.



Ланцюговий варіатор



Клинореміннi вариатор



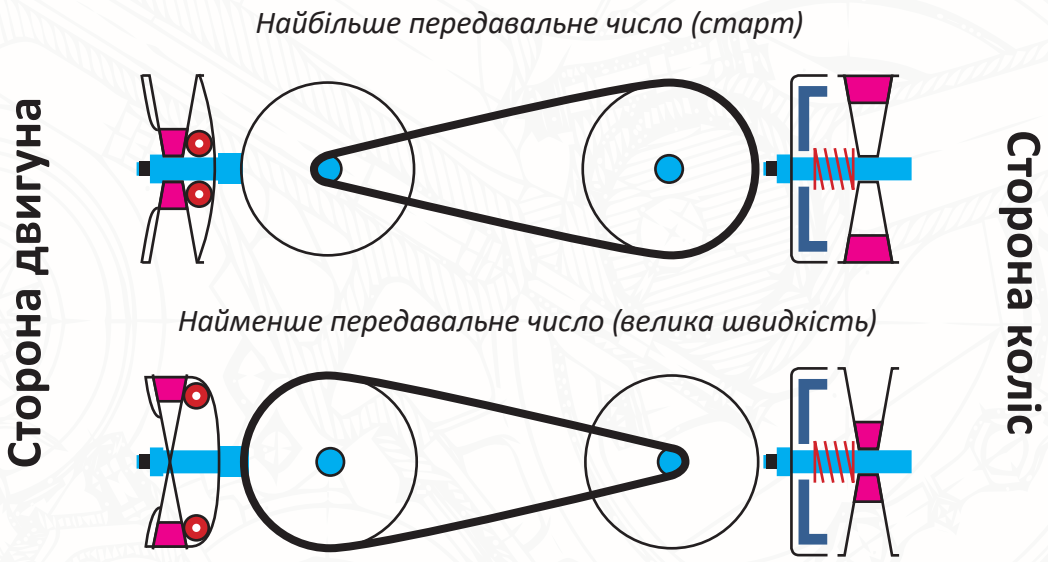
Тороїдальні вариатор

Дві сусідні боковини спільно формують отвір (паз) конусоподібної форми. У цій конструкції ведучій шків з'єднаний з валом двигуна, а крутний момент від веденого валу передається на колеса автомобіля.

Відстань між сусідніми боковинами змінюється за допомогою зовнішньої системи управління.

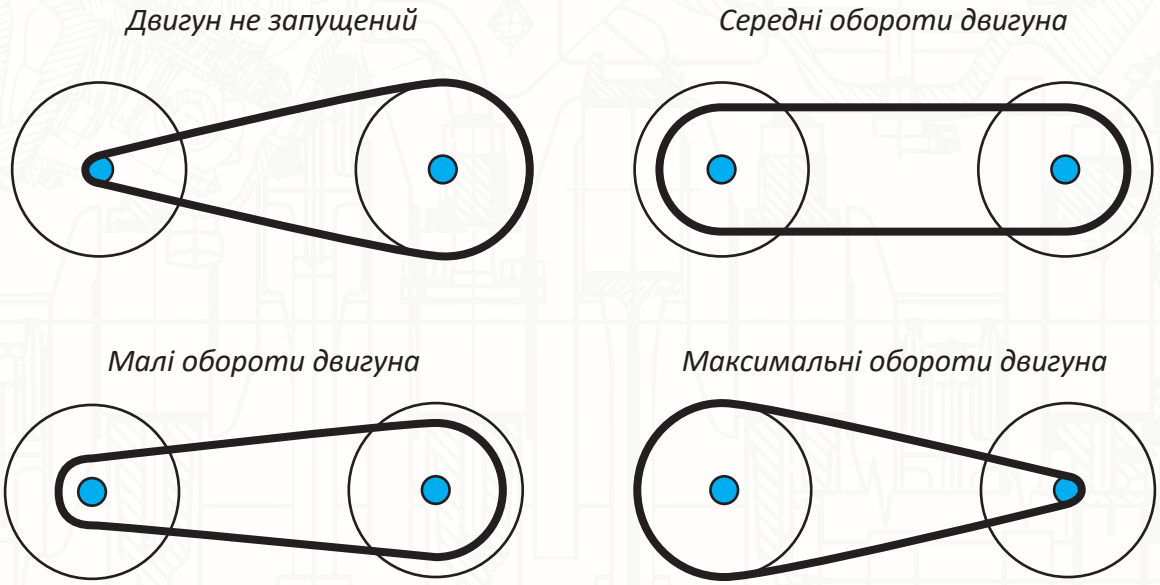
Одночасно система управління забезпечує необхідне натягнення ременя. Це критично необхідно, оскільки зусилля передається саме за допомогою сили тертя.

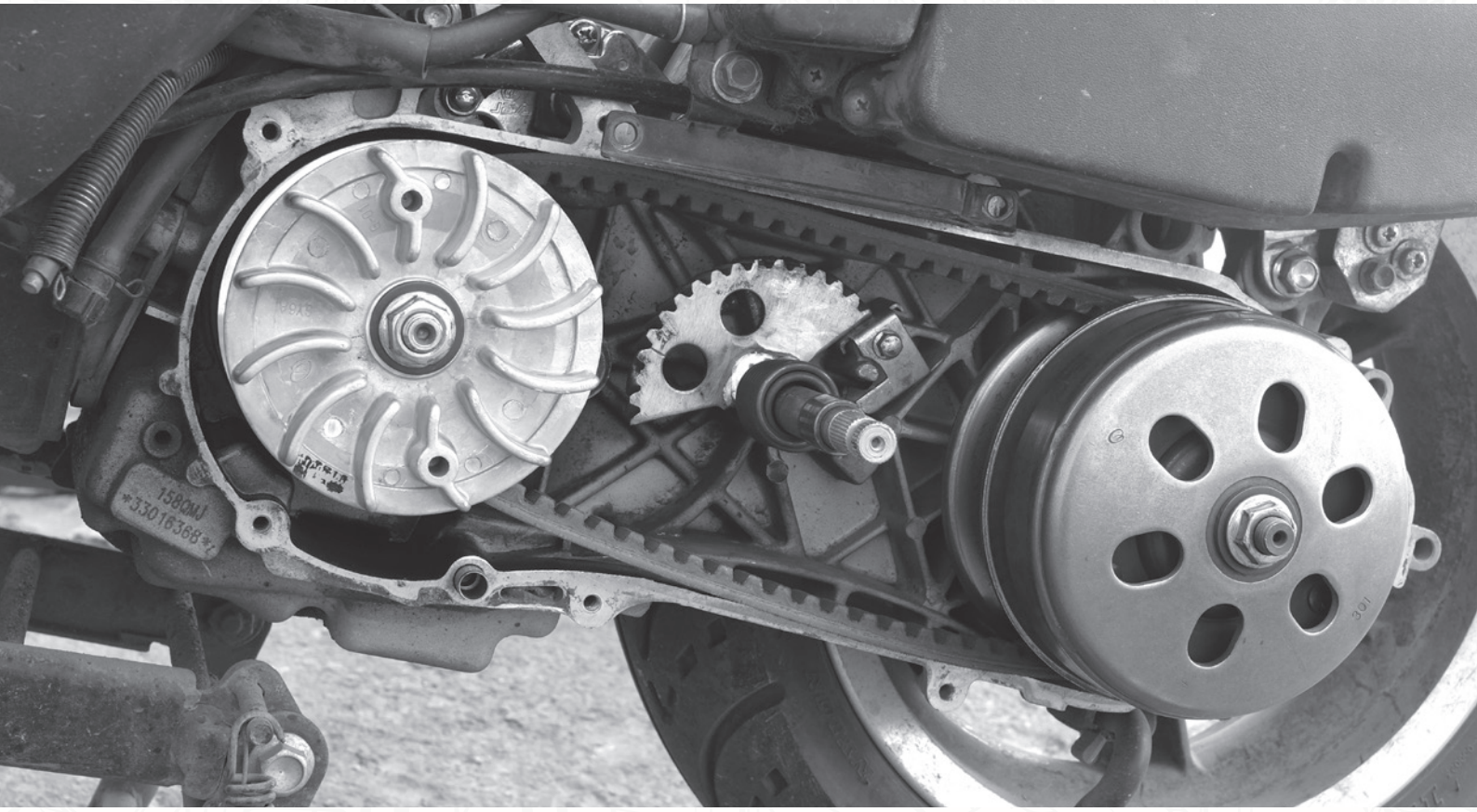
Змінюючи радіус огинання ременем ведучого і веденого шківа, можна плавно змінювати передавальне відношення



Тож розмір отвору між боковинами шківа може змінюватися. При розширенні отвору між боковинами ремінь буде зміщуватися ближче до осі обертання шківа і взаємодіяти з ним уздовж окружності малого діаметра. І навпаки, при зближенні боковин ремінь буде віддалятися від осі обертання і переміщатися на окружність великого діаметру.

Іншими словами, ремінний варіатор можна назвати ремінною передачею, зі шківами, діаметр яких може змінюватися. Система управління при «збільшенні» діаметра одного зі шківів забезпечує одночасне «зменшення» діаметра іншого шківа. Це необхідно для підтримки потрібного натягу ременя. Таким чином, для ремінного варіатора змінюється ефективний діаметр за рахунок зміщення ременя.



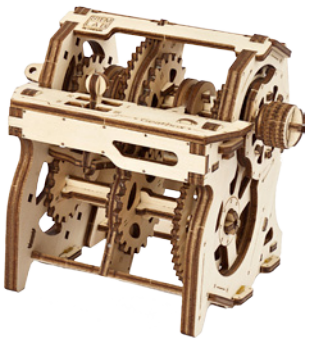


Як бачимо, зміна ефективного діаметра шківів призведе до зміни передавального відношення. Причому варіатор забезпечує більшу частину з функцій механічної коробки передач.* А саме – регулювання частоти обертання вихідного валу (коліс автомобіля), а також зміна (збільшення) моменту сили (крутного моменту) на вихідному валу. І головне: варіатор дозволяє змінювати передавальне відношення швидко і плавно, без необхідності перемикання і без ударів! При цьому процес зміни передавального відношення повністю автоматизований.

Це спрощує керування транспортним засобом (це фактор, який разом із простотою і дешевизною робить популярним використання варіатора в скутерах).

*** Цікаво!**

Подивитися і зрозуміти основні принципи роботи механічної коробки передач допоможе механічний конструктор «Коробка передач» з серії UGEARS STEM Lab – модель, яка повністю повторює принцип дії механічної коробки передач.

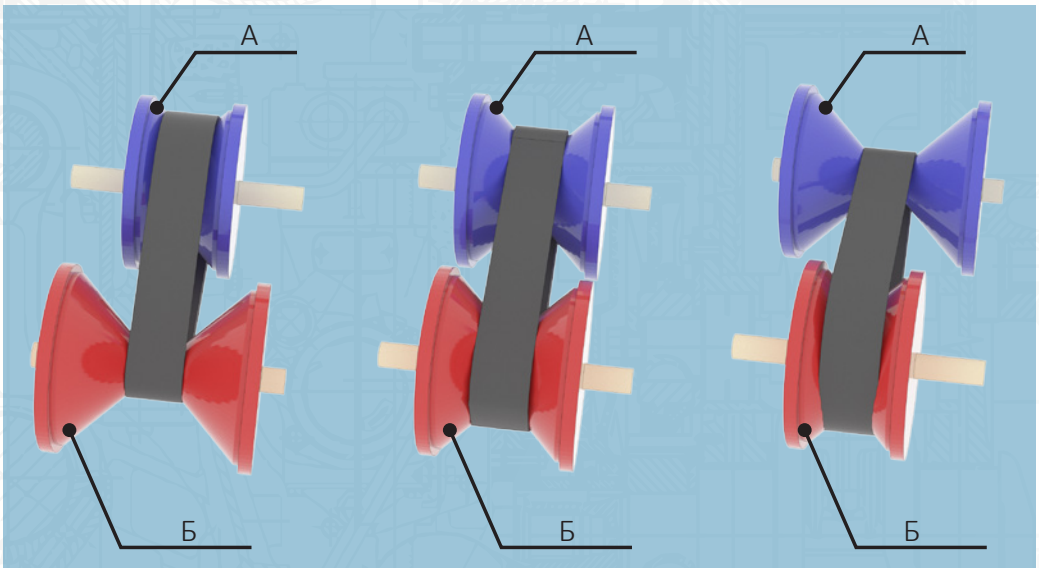


§4

Фізика і механіка на прикладі STEM-моделі «Варіатор»

Як ми вже з'ясували, варіатори широко застосовуються в автомобілях і різних механізмах. Вони є механічними передачами, передавальне відношення яких змінюється за допомогою зовнішньої системи управління.

Переважна кількість варіаторів є **спеціальними ремінними передачами**. Це більш складні механічні передачі, які мають додаткову систему управління, що дозволяє різними способами, наприклад, зміною геометрії шківів або шляхом переміщення ременя забезпечувати зміну передавального відношення.



Для варіатора також може бути використана формула для визначення передавального відношення, але діаметри $D_А$ і $D_Б$ в цій формулі будуть не постійними, а змінними:

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

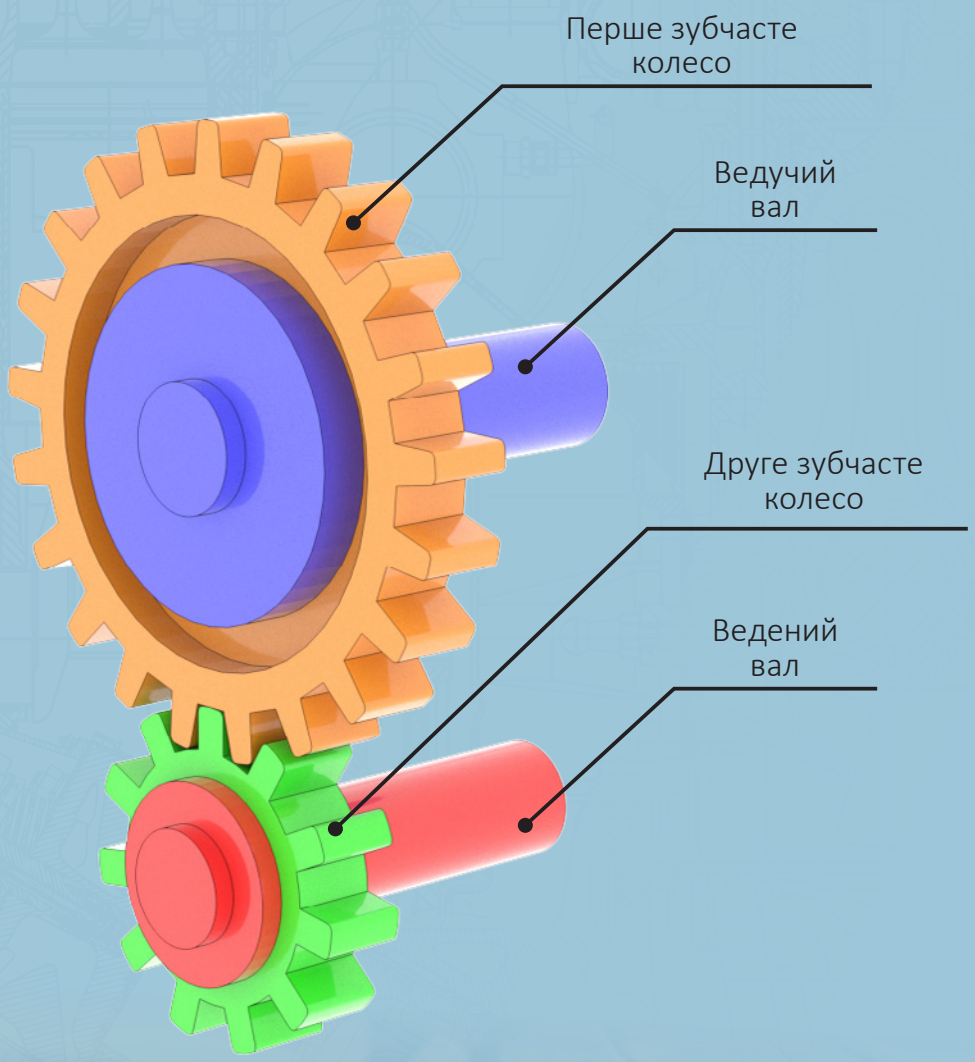
Розглянемо просту ремінну передачу. Вона складається з двох дисків (шківів), які можуть обертатися. На малюнку показані шківи А і Б, діаметри яких $D_А$ и $D_Б$.

При цьому шківи знаходяться на відповідних валах – шків А на ведучому і шків Б на веденому. Шківи з'єднані механічно за допомогою спеціального гнучкого ременя, який охоплює шківи і має бути натягнутим.

У даному випадку зусилля передається за допомогою сили тертя ременя об шківи, і при повороті шківа А буде обертатися шків Б. Така передача може працювати тільки при натягнутому ремені. За функціями вона аналогічна зубчастій передачі.

Але, на відміну від зубчастої передачі, дозволяє передавати зусилля за допомогою ременя на великі відстані.

Зубчаста передача змінює момент сили і швидкість обертання. Моменти сили на вході передачі відрізняється від моменту сили на виході. Оскільки ланки (зубчасті колеса) здійснюють обертальні рухи, це призводить до того, що на одному валу забезпечується низький момент сили і висока швидкість обертання, а на іншому валу передачі отримуємо великий момент і низьку швидкість обертання.



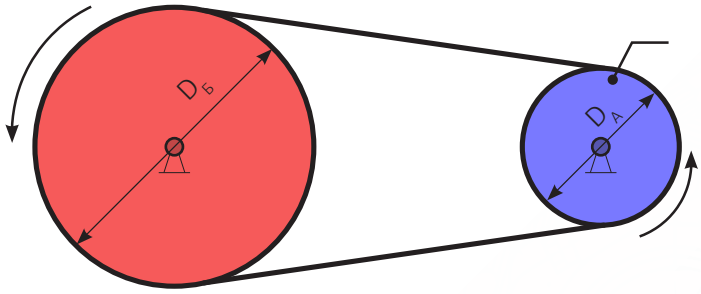
Ведучий вал, як правило, приводиться в рух двигуном і нерухомо з'єднаний із першим зубчастим колесом, а ведений вал нерухомо з'єднаний із другим зубчастим колесом і долає зовнішній опір (наприклад, забезпечує обертання коліс транспортного засобу).

Найважливішим параметром механічних передач є передавальне відношення. Передавальне відношення – це співвідношення частот обертання ведучого та веденого валів.

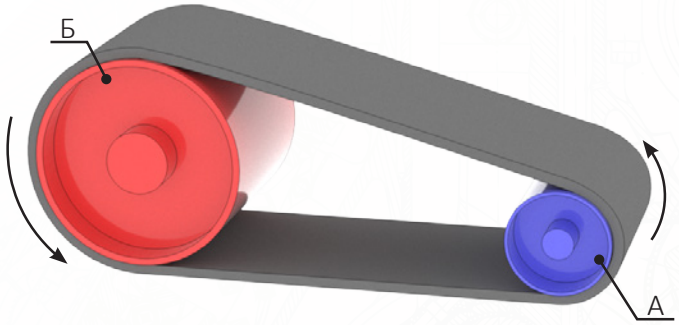
$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

де частота обертання – це кількість оборотів, яке робить кожне з коліс за хвилину (n_1 для першого колеса і n_2 – для другого). Відповідно до закону збереження енергії, збільшенню частоти обертання буде відповідати зменшення крутного моменту.

Одне з коліс (великий шків) обертається повільно, але до його валу прикладений великий момент сили, менший шків має високу частоту обертання і при цьому низький момент на валу.



а)



б)

Момент сили – це величина, що дорівнює добутку сили на плече. У найпростішому випадку (див. рис.). Момент сили, що діє на тіло, дорівнює добутку зусилля в Ньютонах на відстань від осі обертання до точки прикладання сили в метрах. Згідно з прикладом, момент М знаходиться за формулою:

$$D = F * L.$$

У цьому прикладі плечем є відстань від осі обертання до точки прикладання сили (тобто точка на поверхні шківа).

Передавальне відношення ремінної передачі також показує, у скільки разів передача змінює (збільшує або зменшує) частоту обертання при відповідній зміні моменту сили.

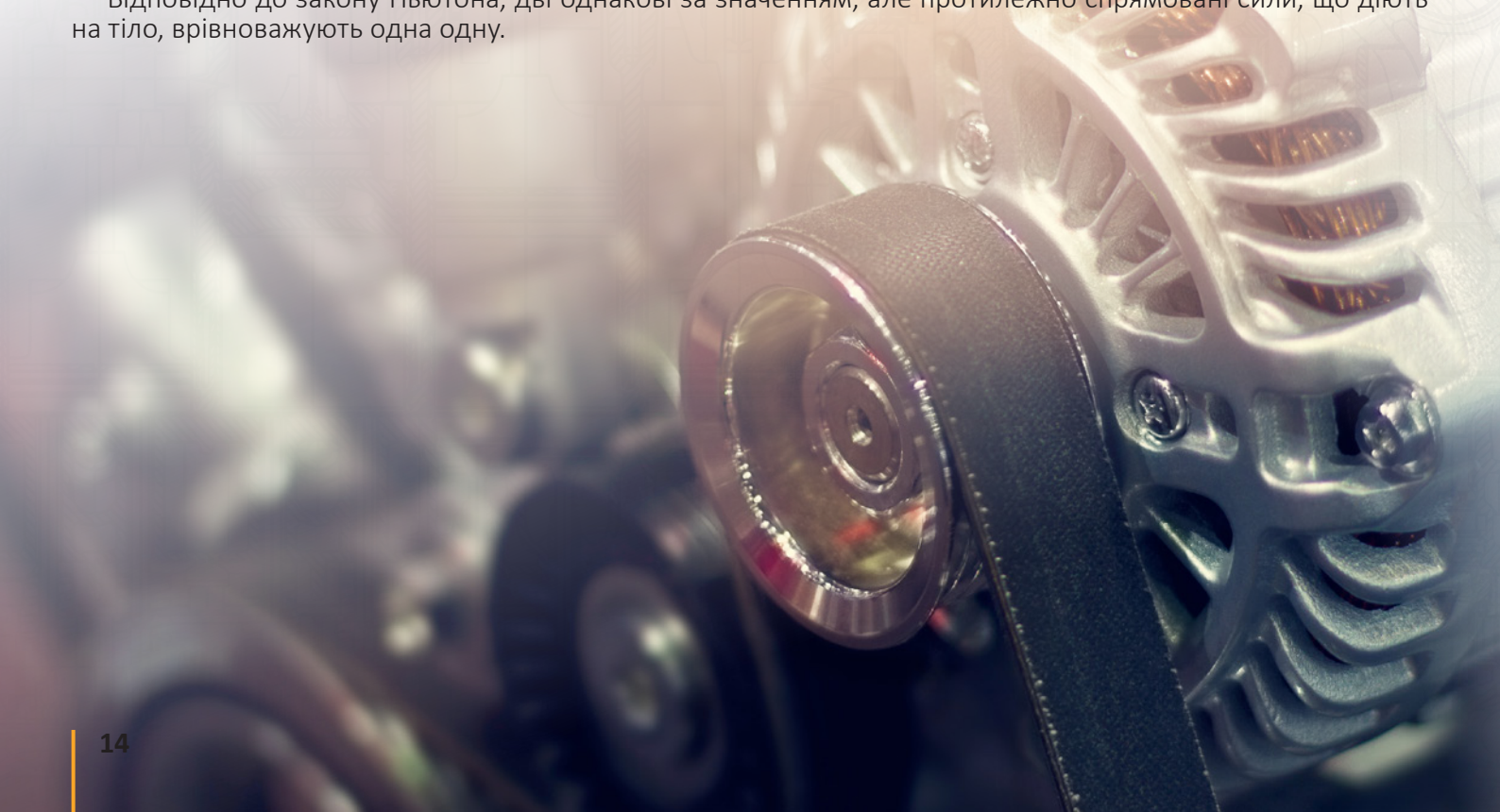
$$i = \frac{n_A}{n_Б} = \frac{D_Б}{D_A}$$

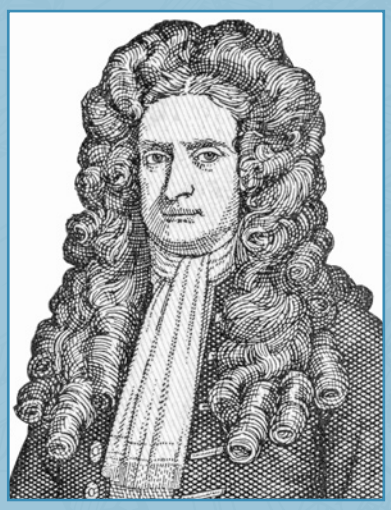
*Тут варто звернути увагу, що передавальне відношення показує співвідношення частот обертання шківів, відповідно більший шків буде обертатися з меншою частотою, тому в даному випадку передавальне відношення більше 1.

Як бачимо з опису та ілюстрацій, одне і те саме колесо, яке здійснює обертальний рух, буде створювати різні зусилля в залежності від відстані прикладання сили до осі обертання колеса.

А для моментів сил, що діють на тіло, використовується наступна закономірність: для того, щоб тіло знаходилося в рівновазі, сума моментів всіх сил, які на нього діють, повинна дорівнювати нулю.

Відповідно до закону Ньютона, дві однакові за значенням, але протилежно спрямовані сили, що діють на тіло, врівноважують одна одну.





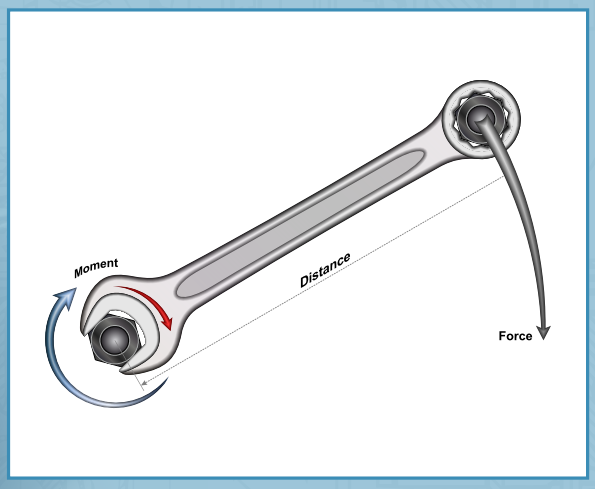
Ньютон (F) *– одиниця сили. Фізична величина, яка визначає, наскільки одне тіло впливає на інше. Наприклад, ми часто говоримо про те, які ми сильні, але насправді маємо на увазі, наскільки сильно ми можемо впливати на інші предмети. Сила вимірюється в Ньютонах.*

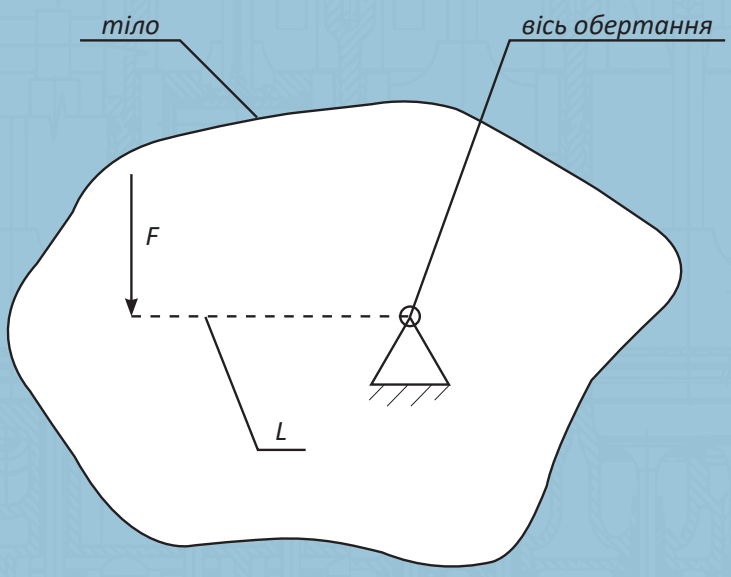
Крутний момент *– це добуток (множення) сили на плече важеля, до якого вона прикладена. Якщо сила вимірюється в Ньютонах, то плече важеля вимірюється в метрах або футах (наприклад, довжина гайкового ключа). Відповідно, 1Н * 1м = 1 Нм. 1 Нм дорівнює силі в 1Н (Ньютон), яка прикладається до важеля довжиною 1 метр.*

У двигунах внутрішнього згоряння сила передається від палива, яке запалюється, поршня, від поршня кривошипному механізму, від кривошипного механізму коленвалу. А ось вже колінвал через систему трансмісії і приводів розкручує колеса.

Зрозуміло, що крутний момент не постійний. Він більший, коли на плече діє велика сила, і менший, коли сила перестає діяти. Тобто коли ми тиснемо на педаль газу то сила, що діє на плече збільшується, а відповідно збільшується і момент.

Важіль *– тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої опори. Хорошим прикладом важеля може бути гайковий ключ. Якщо ми спробуємо відкрутити гайку, то один кінець ключа встановимо на її голівку, а за інший будемо тягнути, і так отримаємо важіль.*



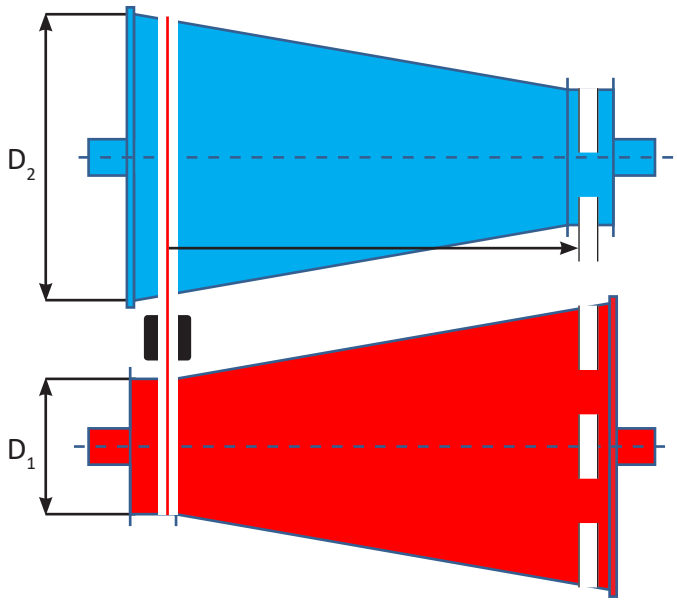


§5

Механічний Варіатор UGEARS

Механічний варіатор UGEARS вироблений за схемою фрикційного конусного варіатора з ременем. На відміну від клиноремінного варіатора (який ми розглянули раніше), конусний варіатор із ременем забезпечує ті ж функції, але геометрія його шківів не змінюється.

Самі шківи мають форму конусів, а переміщатися може сам ремінь, виготовлений із еластичного матеріалу (переміщення ременя відбувається за допомогою спеціального важеля, який зміщує ремінь по конусах). Так, при зміщенні ременя в одну сторону він переміщається в область першого конуса з великим діаметром. У той же час на другому конусі він зміщується в область з меншим діаметром (див. рис.). Така схема роботи повністю еквівалентна схемі **клиноремінного варіатора.**



Фрикційний конусний варіатор із ременем

Розглянемо більш детально конструкцію варіатора UGEARS, а також процес зміни передавального відношення в ньому.

Варіатор має ведучий конус, який обертається вручну за допомогою ручки (через додаткову зубчасту передачу), і ведений конус, якому передається обертання. На два конуса накинуто ремінь із еластичного матеріалу, який передає механічну енергію за рахунок сил тертя. У пристрої передбачений важіль, що дозволяє зміщувати ремінь, тим самим досягається зміна передавального відношення (див. рис.).

Два конуса є однаковими, їхні осі обертання паралельні, але вершини конусів спрямовані в різні боки. Так, частина першого (ведучого) конуса з максимальним діаметром розміщена навпроти частини другого (веденого) конуса з мінімальним діаметром.

При цьому максимальний діаметр конуса становить 65 мм, а мінімальний – 25 мм (співвідношення цих величин дорівнює 2,6). Нагадуємо, що варіатор можна розглядати як звичайну ремінну передачу зі змінним діаметром шківів. У цьому випадку значення діаметрів шківів (замість яких використовуються конуси) змінюється в діапазоні від 25 мм до 65 мм.

Для варіатора будемо використовувати такі позначення:

n_A – частота обертання ведучого конуса

D_A – поточне значення діаметру ведучого конуса

$n_Б$ – частота обертання веденого конуса

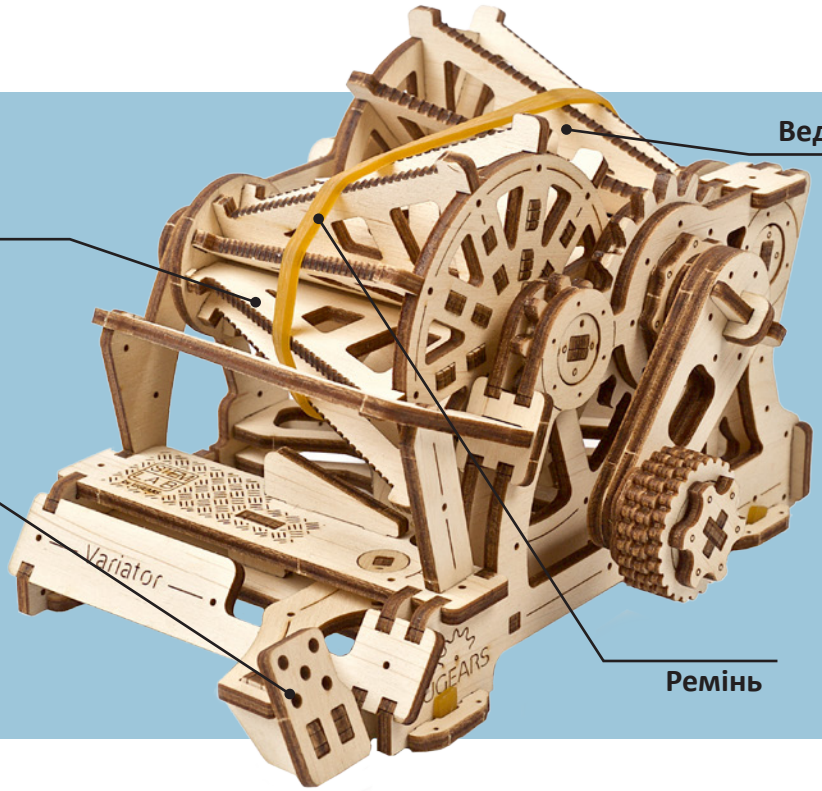
$D_Б$ – поточне значення діаметру веденого конуса

Зміна передавального відношення за допомогою варіатора UGEARS

На рис. ви бачите, що ремінь встановлений за допомогою важеля в середньому положенні (посередині конусів). В такому положенні діаметри частин обох конусів, які охоплюються ременем, рівні. Знайдемо передавальне відношення:

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

Згідно з наведеною формулою, оскільки діаметри рівні, передавальне відношення дорівнює 1.



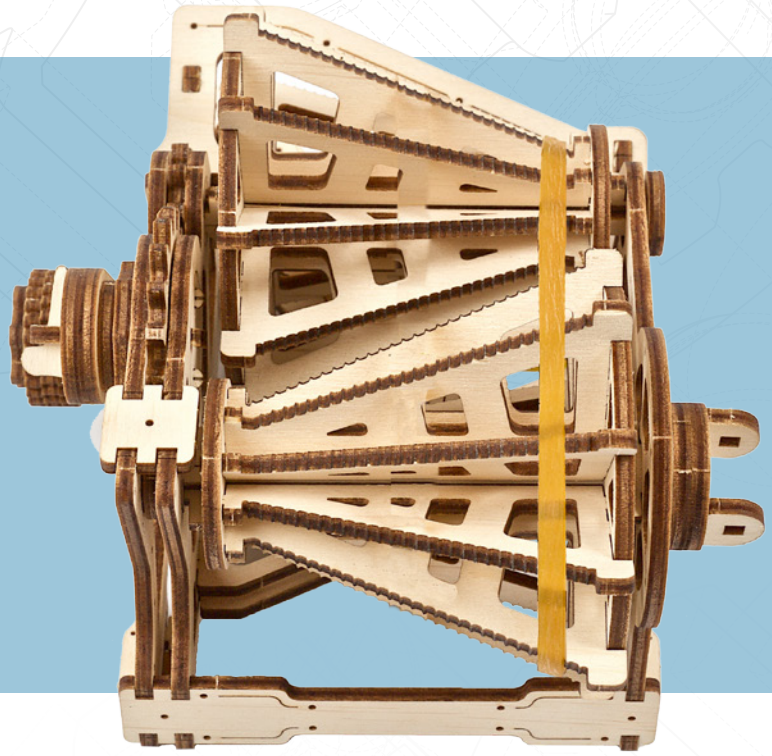
У цьому випадку ремінь знаходиться в крайньому правому положенні, відповідно необхідно підставляти в формулу для ведучого конуса $D_А = 25$ *мм*, а для веденого $D_Б = 65$ *мм*. Відповідно маємо::

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

Це означає, що в такому положенні ременя передача буде редуктором.

Механічні передачі поділяються на редуктори і мультиплікатори. Редуктори передають механічну енергію від ведучого валу до веденого, при цьому зменшуючи частоту обертання, але збільшуючи крутний момент. Мультиплікатори ж передають механічну енергію від ведучого валу до веденого, при цьому збільшуючи частоту обертання і зменшуючи крутний момент.

Передача буде знижувати частоту обертання $(n_А > n_Б)$ і ведучий конус буде обертатися в 2.6 разів швидше, ніж ведений. Тобто, тоді, коли ведучий конус зробить 2.6 обертів, ведений здійснить 1 оберт.



Рис

Якщо розмістити ремінь у протилежному положенні (ремінь знаходиться в крайньому лівому положенні згідно з рис.), передача буде підвищувати частоту обертання при відповідній зміні крутного моменту $(n_А < n_Б)$.

У такому положенні передавальне відношення буде рівним 0.38, і одному оберту провідного конуса буде відповідати 2.6 обертів веденого конуса.

Ви можете встановити ремінь у будь-яке проміжне положення за допомогою важеля (не центральне і не крайнє), і після цього розрахувати передавальне відношення, вимірявши діаметри розміщення ременя на конусах. Перевірити вірність проведених розрахунків можна, зробивши 1 оберт ведучого конуса і оцінивши кількість обертів, зроблених веденим конусом.

§6 Практичні завдання

ТЕСТ

1. Чому дорівнює момент сили?

☐ а) силі, поділеній на плече;
☐ б) силі, помноженій на плече;
☐ в) значенню змінної сили в даний момент часу.

2. Що показує передавальне відношення передачі?

☐ а) відношення частоти обертання ведучого і веденого валів;
☐ б) частоту обертання веденого валу;
☐ в) відношення діаметрів ведучого і веденого шківів.

3. Яке з перерахованих передавальних відношень забезпечує підвищення частоти обертання на виході?

☐ а) 2;
☐ б) 1;
☐ в) 0,5.

4. Чим відрізняється варіатор від звичайної ремінної передачі?

☐ **а) варіатор містить ремінь змінної довжини;**
☐ **б) варіатор дозволяє поступово змінювати передавальне відношення;**
☐ **в) варіатор дозволяє плавно змінювати передавальне відношення.**

Вітаємо, Ви це зробили!

Дякуємо, що подолали цей шлях із нами. Сподіваємося, що ця мандрівка в світ механіки була цікавою.