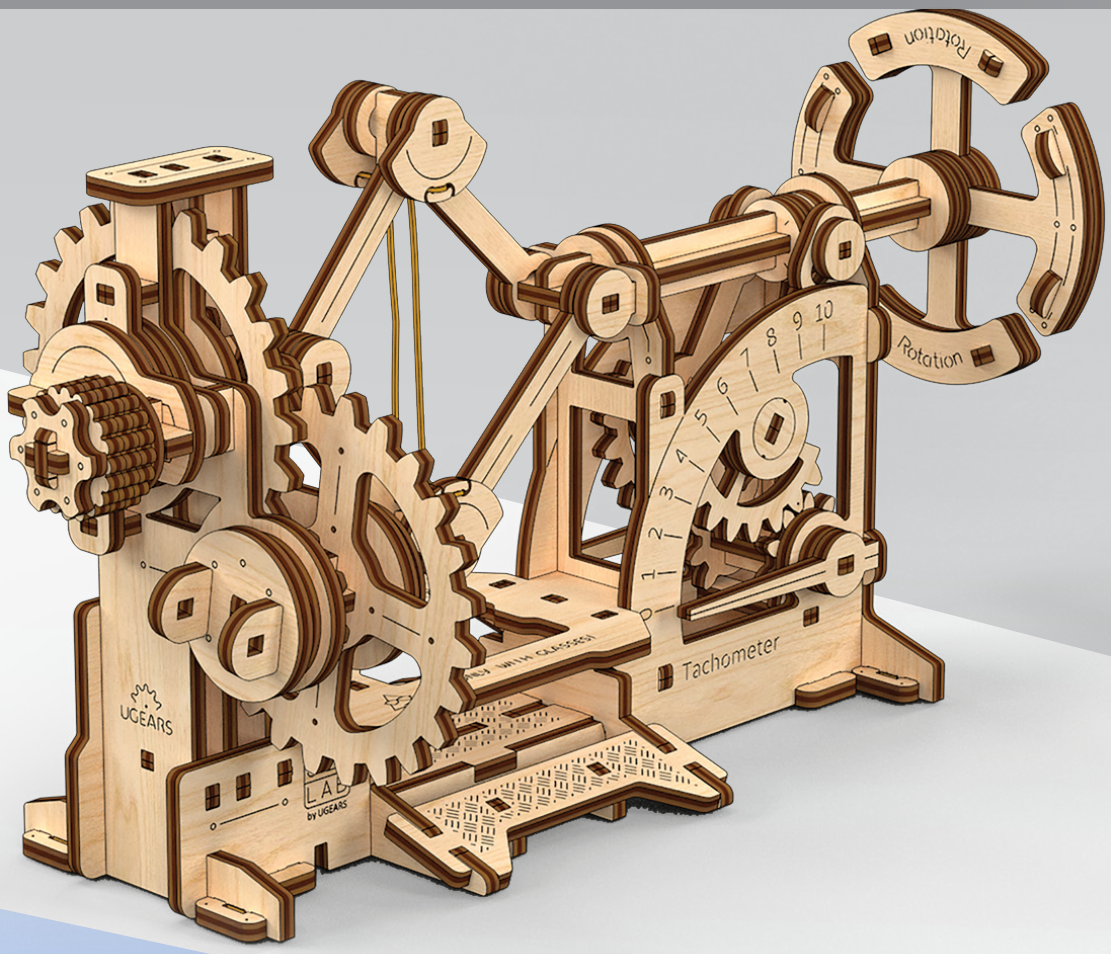
STEM LAB by UGEARS

МЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ

ТАХОМЕТР

Довідник юного механіка

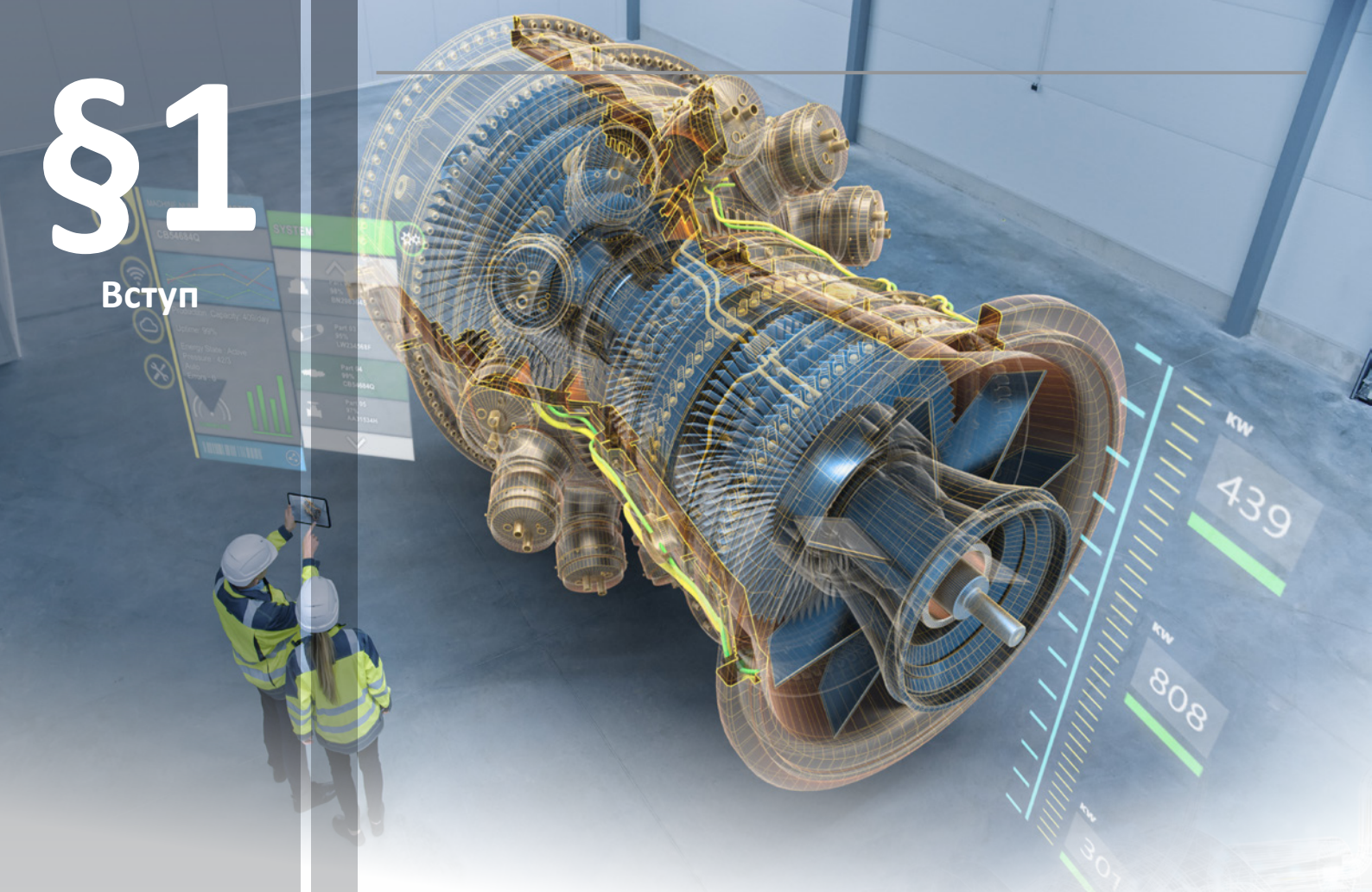


ANDROID APP ON Google play

Available on the iPhone App Store

§1

Вступ



Розвиток науки і техніки, а особливо механіки, тісно пов'язаний із винаходом і повсюдним впровадженням двигунів у виробництві та побуті. Важливу роль двигуни відіграють також у транспорті.

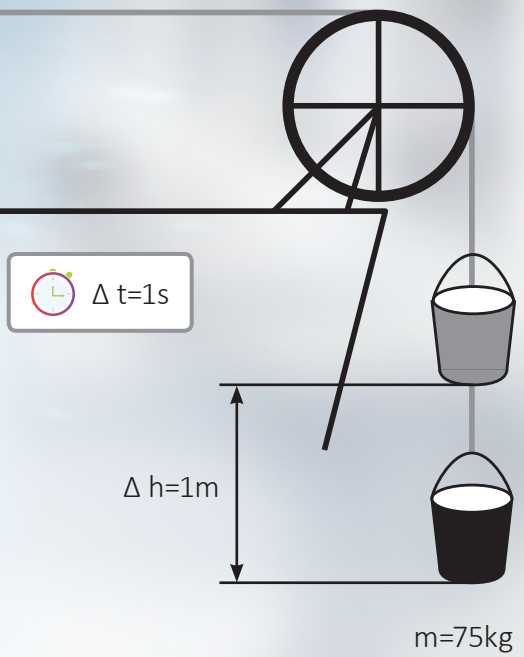
Починаючи з найперших етапів винаходу двигунів, які є основою практично будь-якого механізму або машини, виникала необхідність не лише створити простий і надійний механізм, а й ефективно керувати ним. Основним завданням керування є зміна частоти обертання валу, а також зміна крутного моменту, що безпосередньо визначають потужність двигуна.

Параметром, який вимірюється в процесі роботи, є частота обертання валу. Її необхідно знати і контролювати для ефективної роботи двигуна. Для вирішення цього завдання використовуються **ТАХОМЕТРИ**.

• *Потужність – робота, що здійснюється двигуном за одиницю часу. Одиниці виміру потужності: кінська сила (к.с.), ват (Вт), кіловат (кВт).*

У разі, якщо потужність вказується в кінських силах, можна легко розрахувати потужність у кіловатах. Для цього потрібно розділити потужність у к.с. на 1,35.

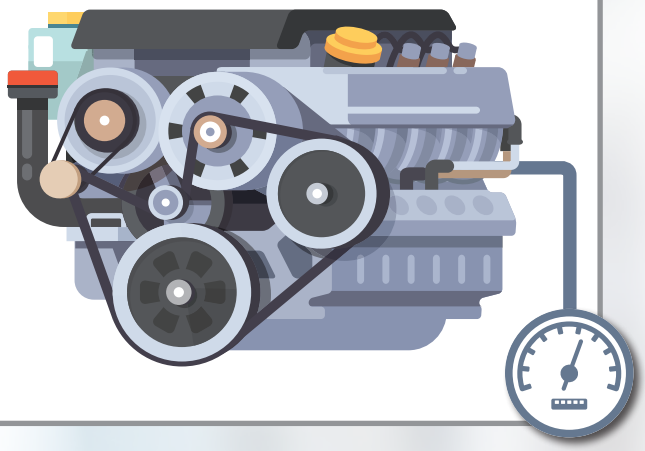
Історична довідка.
Починаючи з XVIII століття, одиницею вимірювання потужності була кінська сила.



Метрична кінська сила дорівнює підйому 75 кг за секунду на 1 метр.
Сучасною міжнародною одиницею вимірювання потужності є кіловат (кВт). При цьому кінську силу (к.с.) часто продовжують вказувати в технічних характеристиках автомобільних та інших двигунів..

• Крутний момент (момент сили) – це величина, що дорівнює добутку сили на відстань від осі обертання до точки прикладання цієї сили (крутний момент 1 Н*м відповідає силі 1 Ньютон, прикладається на відстані 1 метр від осі обертання). Одиниці виміру: Ньютонометр (позначення: Н*м).

• Частота обертання показує кількість обертів, що здійснюється валом двигуна за одиницю часу. Частота обертання вимірюється в обертах на хвилину, обертах на секунду (позначення: об/хв, об/сек).



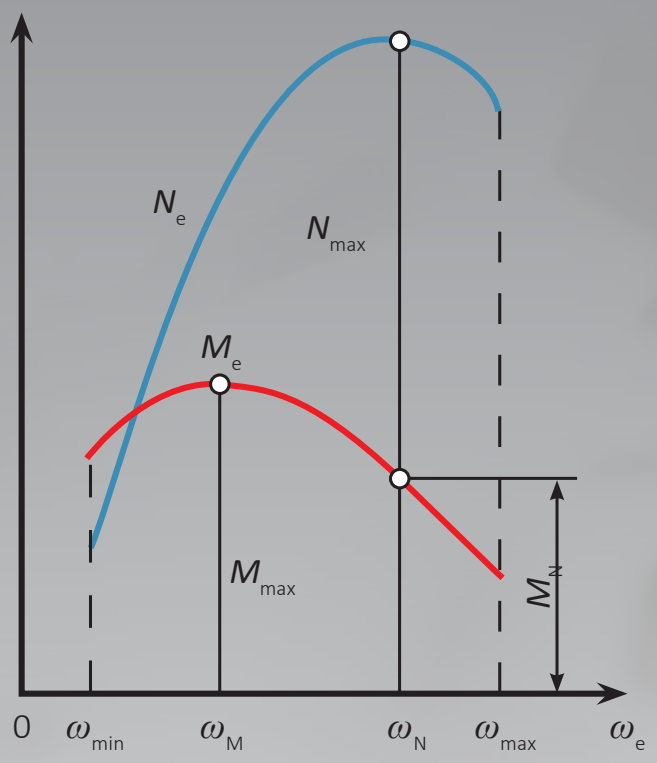


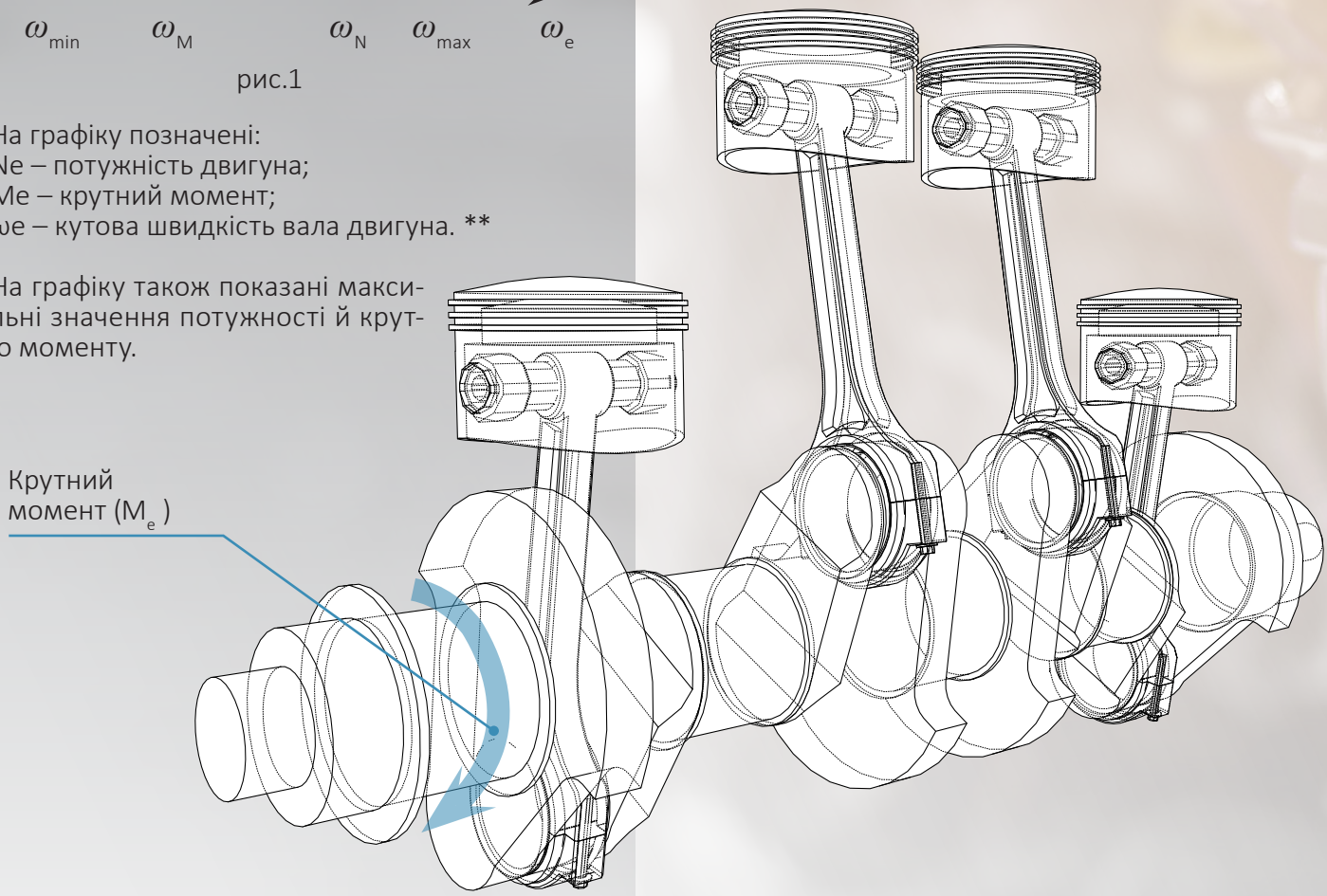
рис.1

На графіку позначені:
Ne – потужність двигуна;
Me – крутний момент;
ωe – кутова швидкість вала двигуна. **

На графіку також показані максимальні значення потужності й крутного моменту.

Потужність двигуна є його основним параметром. Для більшості автомобілів і стаціонарних механізмів вказується максимальна потужність двигуна, інші параметри використовуються рідше. Але потужність двигуна не є постійною та залежить від частоти обертання.

Для того, щоб зв'язати ці параметри, використовується характеристика двигуна. Характеристика двигуна – це залежність крутного моменту або потужності від числа обертів. Для двигунів, які випускаються серійно та використовуються в промисловості й на транспорті (електродвигуни, двигуни внутрішнього згоряння), механічні характеристики отримують у результаті дослідів. Типова характеристика двигуна внутрішнього згоряння представлена на Рис. 1.



ω – це кутова швидкість.

У технічних розрахунках, окрім частоти обертання, широко використовується інша величина – кутова швидкість. Кутова швидкість дорівнює куту, на який повертається вал за одиницю часу, вимірюється в радіанах на секунду (рад/сек). Кутова швидкість пропорційна частоті обертання і пов'язана з частотою обертання відповідно до залежності:

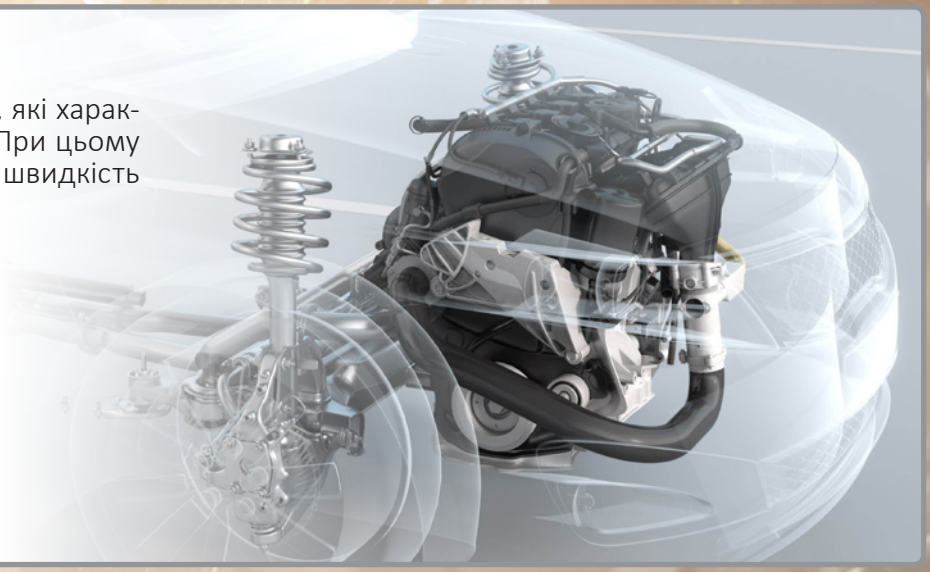
$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

где:
ω - кутова швидкість;
n - частота обертання в оборотах на хвилину.

Ми розглянули основні параметри, які характеризують роботу кожного двигуна. При цьому потужність, крутний момент і кутова швидкість пов'язані між собою формулою:

$$N=M\cdot\omega$$

где N – потужність двигуна;
M – крутний момент;
ω – кутова швидкість.



Отже, знаючи всього лише один параметр двигуна, можна розрахувати решту.

Виміряти крутний момент двигуна досить складно. Для цього потрібен спеціальний навантажувальний пристрій, який не дає можливості виміряти цей параметр у процесі роботи двигуна в складі механізму. Тому найоптимальнішим способом обчислення параметрів двигуна в поточний момент часу є вимірювання частоти обертання (кутової швидкості) вала. Після чого на підставі характеристики двигуна розраховується його потужність і крутний момент.

Цей метод обчислення потужності використовується не лише для двигунів, а й для інших механізмів без двигуна, наприклад, для вітрогенераторів або гідравлічних турбін, які виробляють електричну енергію.

І для вирішення цього завдання використовується **ТАХОМЕТР.**

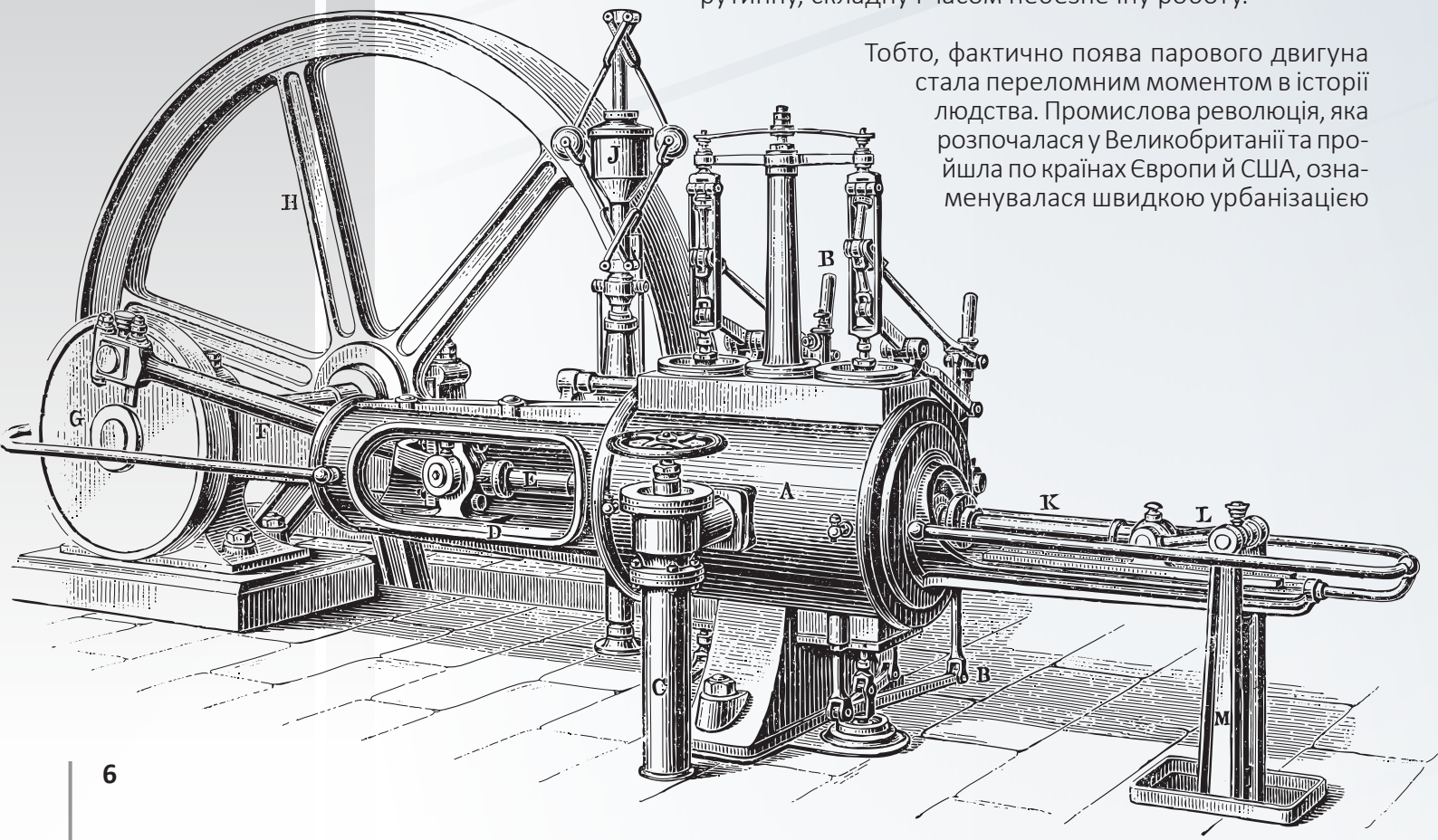
Тахометр – прилад, призначений для вимірювання частоти обертання (кількість обертів в одиницю часу) різних деталей, що обертаються, таких як ротори, вали, диски тощо, в різних агрегатах, машинах і механізмах.

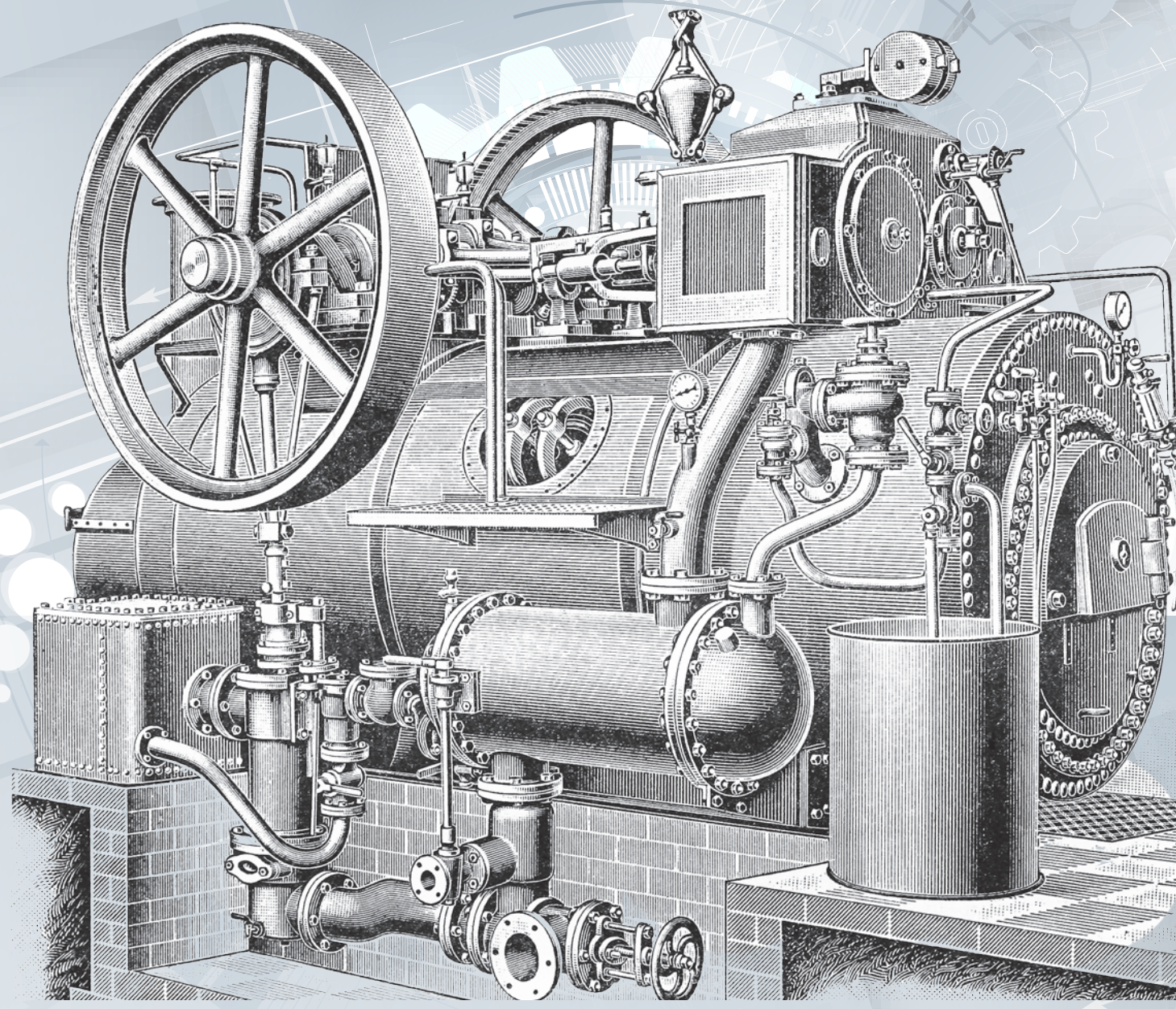
§2

Історична довідка

Із винаходом парового двигуна людство стало переходити від ручної праці до фабричної, що дуже пришвидшило виробничий процес – цей етап назвали Промисловою революцією. Почалася вона наприкінці XVIII століття у Великобританії, де наукові дослідження і нові винаходи дозволили значно прискорити перехід до механізованого виробництва із впровадженням усіляких модернізованих верстатів та інструментів. Це значно спростило працю людей, а в деяких сферах дало можливість людині припинити виконувати рутинну, складну і часом небезпечну роботу.

Тобто, фактично поява парового двигуна стала переломним моментом в історії людства. Промислова революція, яка розпочалася у Великобританії та пройшла по країнах Європи й США, ознаменувалася швидкою урбанізацією





та стрімким економічним зростанням, що дозволило усього за кілька десятків років перейти від аграрного суспільства до індустріального.

І чим потужнішими ставали двигуни, тим критичнішою була необхідність вимірювати частоту обертання валів у них. Але хто ж винайшов тахометр? Тут думки різняться.

Одні історики стверджують, що це був німецький інженер Дітріх Ульгорн, який ще в 1817 році придумав спеціальний пристрій, що вимірював відцентрову силу – це був перший прототип сучасного тахометра. А в 1902 році ще один німецький інженер – Отто Шулз – офіційно запатентував такий самий пристрій. Але також існує версія (і вона дуже часто зустрічається в технічній літературі), що батьком тахометра був американець Кертіс Віддер, який презентував світу свій винахід у 1903 році.

Так чи інакше, на початку своєї історії тахометр вважався коштовним доповненням до машини, а в наш час будь-який автомобіль обов’язково має бути облаштований цим приладом.

У середині 1930-х років з’явилися тахометри зі світловими індикаторами, а в 1950-х роках – електричні. Але цікаво, що їхня форма так і не змінилася за останнє сторіччя – люди переважно використовують класичні круглі тахометри, бо саме круглі прилади більш зручні для сприйняття людським оком і не відволікають водіїв від дороги.

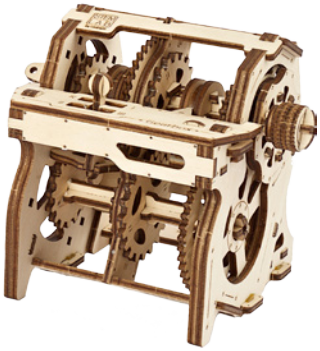
§3

Що це за механізм і де він застосовується

Спершу парові двигуни, а потім поршневі двигуни внутрішнього згоряння змінили промисловість і виробництво, створивши можливості для широкого поширення водного, наземного та повітряного транспорту.

Паровий двигун конструктивно простий і може працювати без системи регулювання, за рахунок принципу роботи власне двигуна. Він може ефективно функціонувати за будь-якої частоти обертання валу, при цьому дозволяючи створити високий крутний момент. Паровий двигун не потребує додаткових пристосувань, наприклад, таких, як коробка передач,зчеплення або інші допоміжні механізми, на відміну від поршневих двигунів внутрішнього згоряння. Але він має низьку ефективність і це призвело до того, що на зміну паровому двигуну прийшли двигуни внутрішнього згоряння.

*** Цікаво!**
Дізнатися, як працює і застосовується коробка передач, допоможе STEM-конструктор «Коробка передач» – механічна модель, яка повністю повторює принцип дії коробки передач!



У сучасному світі двигуни внутрішнього згоряння використовуються практично всюди в стаціонарних установках, а також в автомобілях, кораблях і, звісно ж, в літаках.

Вони мають високу ефективність, але вимагають наявності додаткових систем управління, що забезпечують їх правильну роботу.

Існують тахометри різних типів. У сучасних системах моніторингу та управління використовують лазерні та електромагнітні датчики, що вимірюють частоту обертання. На даний момент такий спосіб вимірювання є найкращим. Головна перевага цих приладів – можливість робити вимірювання безконтактно. Лазерні вимірювачі частоти обертання дозволяють встановити датчик на будь-якій відстані від обертового валу, що робить ці прилади універсальними.

Електромагнітні датчики також дозволяють вимірювати частоту обертання безконтактно, але вимагають для цього додаткових компонентів, які розміщуються на обертовому валі. Елементи магнітної системи (як правило, постійні магніти) взаємодіють із датчиком безконтактно, але відстань між датчиком частоти обертання та обертовим валом не може бути занадто великою.

Сучасні безконтактні системи вимірювання прості, компактні, надійні й легко вбудовуються в електронні системи управління.

Однак на етапі становлення будування двигунів електронних приладів просто не існувало. У ті далекі часи не було й електронних систем управління.

Тому вимірювати всі необхідні параметри, а також забезпечувати управління доводилося за допомогою механічних пристроїв. Для цього широко використовувалися різні механічні датчики, а також механічні регулятори (найпростіші механічні системи управління).

Механічні прилади дозволяють вимірювати частоту обертання лише контактним методом, але інженери зробили їх досить компактними та надійними.

§4

Фізика і механіка на прикладі STEM-моделі «Тахометр»

Відцентровий тахометр, його застосування у транспорті та в авіації.

Тахометр зазвичай складається з двох пов'язаних частин або модулів. Перша частина – це датчик (чутливий елемент), який безпосередньо вимірює частоту обертання. Друга частина приладу – механічний або електричний індикатор (стрілка), який дозволяє отримати показання приладу візуально або у вигляді електричного сигналу.

Одним із перших пристроїв для вимірювання частоти обертання, який набув широкого поширення, став відцентровий тахометр.

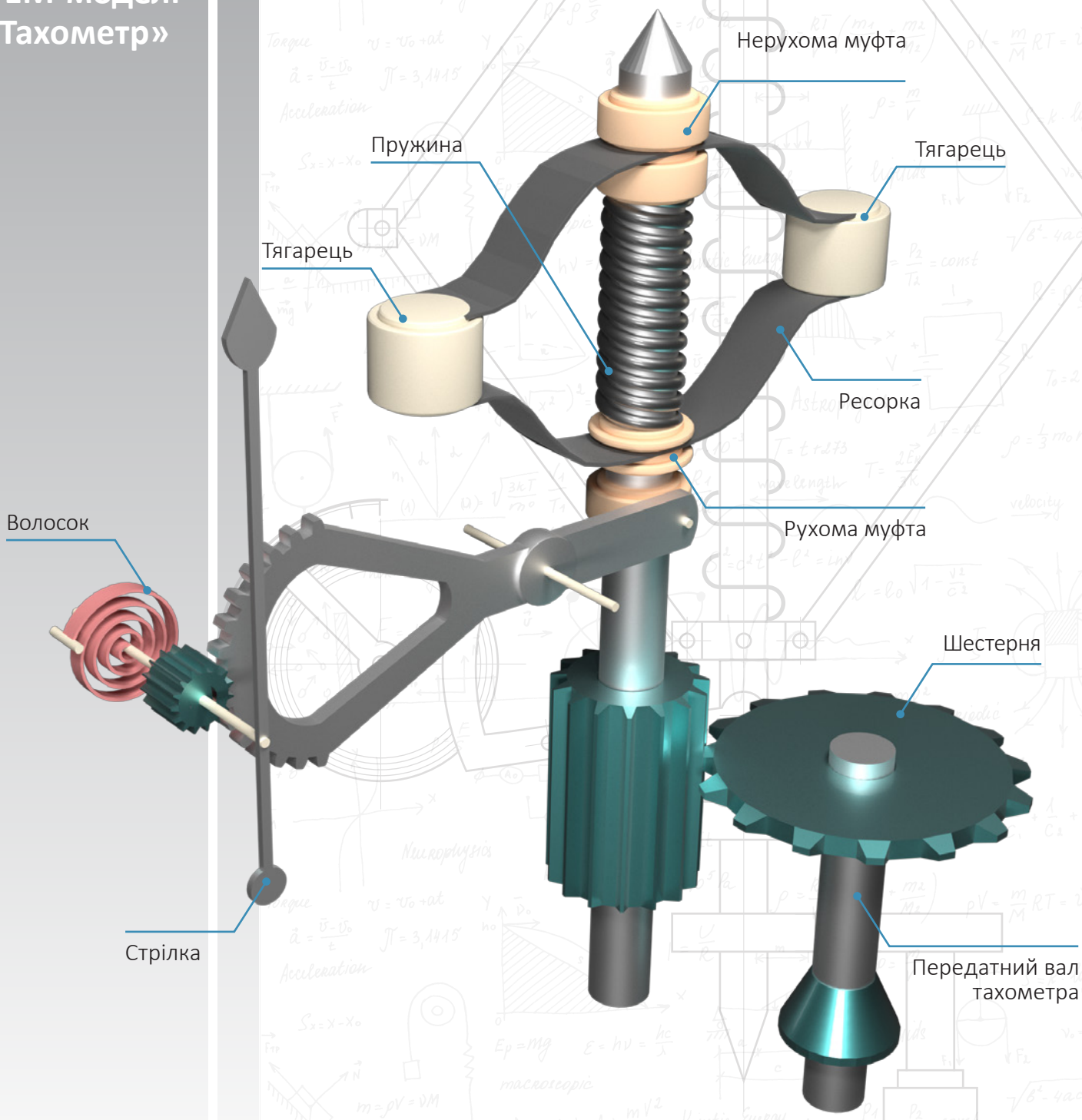


Схема відцентрового тахометра

ДЛЯ НАЙДОПИТЛИВІШИХ!

Щоб розглянути принцип роботи тахометра і показати, яким чином під дією відцентрової сили виникає зусилля, що приводить у рух індикаторну стрілку, розглянемо спочатку, що таке відцентрова сила і як вона виникає.

Якщо взяти тягарець, закріпити на нитці та почати обертати, то на нього буде діяти відцентрова сила. Відцентрова сила, згідно з визначенням, спрямована від центру до периферії (від осі, навколо якої відбувається обертання) і діє лише на об'єкти, які обертаються. Ця сила визначається за формулою:

$$F=m\cdot a_ц;$$

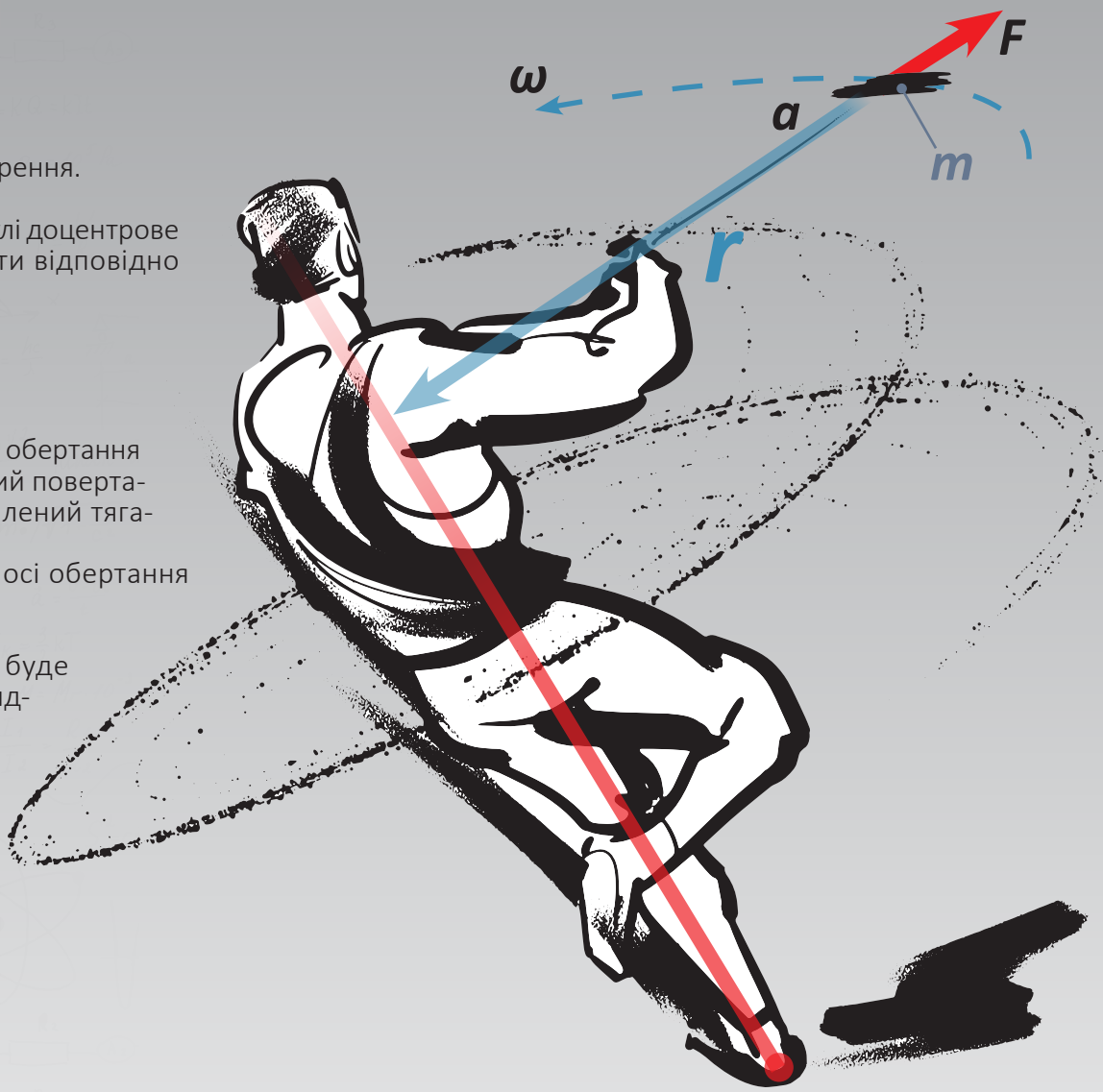
де m – маса тягарця;
$a_ц$ – доцентрове прискорення.

У наведеній вище формулі доцентрове прискорення можна знайти відповідно до залежності:

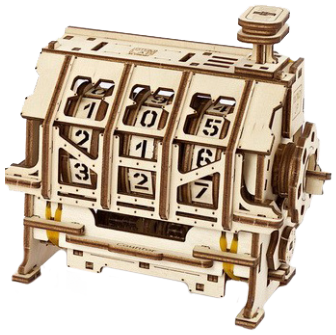
$$a_ц=\omega^2\cdot r;$$

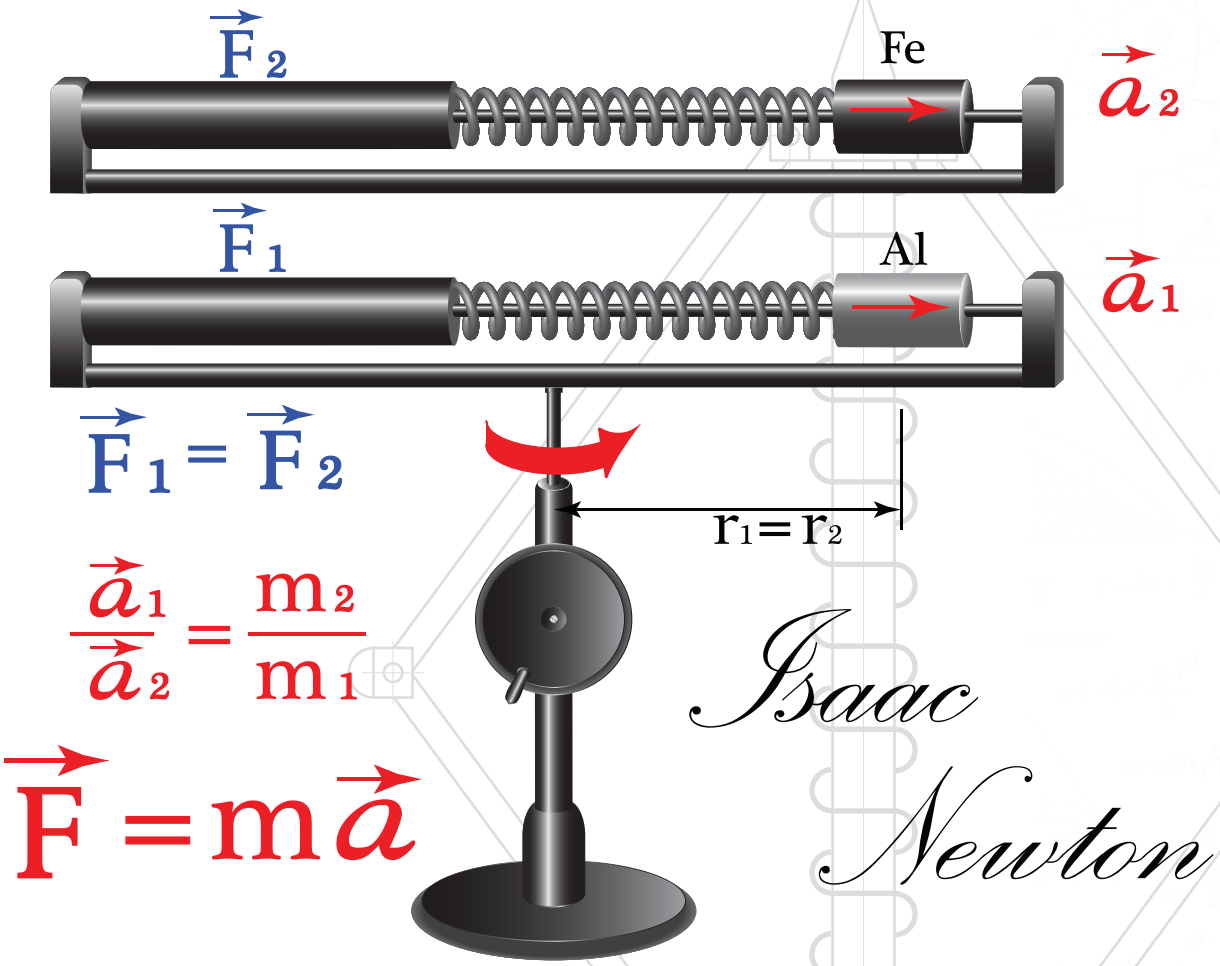
де ω – кутова швидкість обертання тягарця (показує кут, на який повертається нитка, на якій закріплений тягарець за одиницю часу);
r – радіус (відстань від осі обертання до центра мас тягарця).

Таким чином, зусилля буде пропорційним кутовій швидкості в другому ступені. Залежність відцентрової сили, що діє на будь-яке тіло, яке обертається, від кутової швидкості дозволяє використовувати це зусилля для вимірювання частоти обертання.



*** Цікаво!**
Дізнатися, як працюють одометри в автомобілях, ви можете на прикладі STEM-моделі «Лічильник» від UGEARS.





Принцип дії відцентрового тахометра заснований на впливі відцентрової сили на тягарці, розміщені на обертовому валі, які механічно пов'язані з індикаторною стрілкою тахометра.

Відцентровий тахометр (Рис. 2) містить вал 4, який обертається і на якому розміщені декілька елементів. Це тягарці 1 – джерело відцентрової сили (як правило, в тахометрі тягарці розміщені симетрично, при чому вони взаємодіють із пружиною). Відцентрова сила і сила пружності пружини 5 спільно впливають на розміщення рухомої муфти. Пружина при відсутності обертання переміщує муфту в крайнє верхнє положення.

Важелі 2 передають зусилля від тягарців до пружини. Система важеля також пов'язує вал, що обертається, з рухомою муфтою 3. Ця муфта має можливість обертатися разом із валом і одночасно переміщуватися уздовж нього. При цьому сумарне зусилля, що створюється відцентровими силами, стискає пружину, переміщуючи рухливу муфту. Відповідно, переміщення муфти є пропорційним частоті обертання валу.

За відсутності обертання муфта розміщена в крайньому верхньому положенні (як показано на Рис. 2). При обертанні валу з певною частотою під дією відцентрової сили відбувається стиснення пружини, таким чином відцентрова сила долає силу пружності пружини.

Зі збільшенням частоти обертання муфта буде зміщуватися вниз і це зміщення буде пропорційним частоті обертання. Таким чином, механічно з'єднавши через систему важелів (тросів) рухливу муфту з чутливим елементом вимірювального приладу (або стрілкою), сигнал про поточне число обертів у систему управління двигуна або механізму можна побачити візуально.

При цьому більше відхилення стрілки буде відповідати більшій відцентровій силі. Відповідно, стрілка тахометра буде показувати частоту обертання валу двигуна відповідно до шкали приладу.

Частоту обертання валу двигуна необхідно вимірювати не лише для автомобілів, але й для літаків.

Для літаків вирішення цього завдання є практично необхідним, оскільки дозволяє визначати і контролювати частоту обертання пропелера.

На невеликих літаках використовується пропелер, який приводиться в обертання за допомогою двигуна. У літаках можуть використовуватися поршневі двигуни внутрішнього згоряння спеціальної конструкції, наприклад, зіркоподібні двигуни (Рис. 3).

Проте літак, на відміну від автомобіля, не має коробки передач і зчеплення. Одночасно із запуском двигуна (на нерухомому літаку) пропелер починає обертатися. Але чому ж літак залишається нерухомим при обертовому гвинті?

Річ в обертах. Гвинт літака створює тягу (тягне зусилля), яка змушує літак рухатися злітно-посадковою смугою або летіти в повітрі. Тяга залежить від частоти обертання, але це складна залежність і підвищення частоти обертання в 2 рази не приведе до подвійного зростання тяги.

Тому після запуску авіаційного двигуна його вал обертається з низькою частотою (на холостих обертах) і при цьому пропелер створює невелику тягу. Це зусилля дуже мале і літак залишається нерухомим.

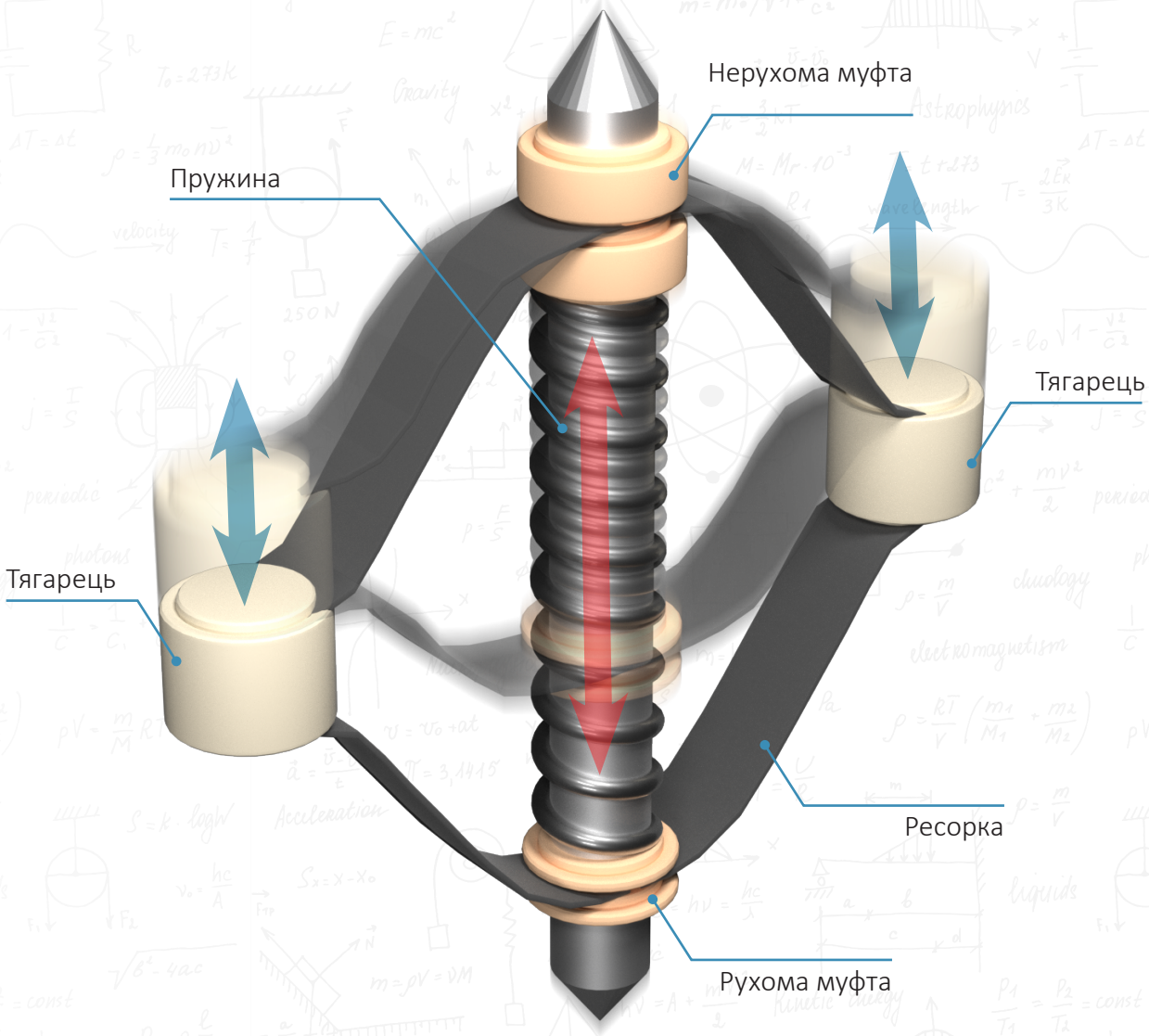


Рис.2

Але варто лише підвищити частоту обертання пропелера всього в кілька разів – і тяга значно зросте (Рис. 4).

Для регулювання тяги, створюваної двигуном літака, використовується важіль керування двигуном. Це важіль, положення якого визначає тягу літака і швидкість польоту.

Контролювати тягу можна побічно, знаючи частоту обертання валу двигуна (більшій частоті обертання буде відповідати велика тяга).

Відповідно, для регулювання тяги можна регулювати частоту обертання. На невеликих літаках тяга регулюється вручну, орієнтуючись на показання тахометра.

Рис.3

Літак нерухомий
(холості оберти двигуна)

Літак летить на високій швидкості
(максимальні оберти двигуна)

Рис.4

Параметри двигуна також залежать від подачі палива в двигун, вологості та щільності повітря, поточної швидкості літака і багатьох інших факторів. У сучасних літаках для підтримки постійної тяги та її точного регулювання використовується система керування, ключовим елементом якої є датчик числа обертів – тахометр.

У ранніх конструкціях використовувалися компактні відцентрові тахометри (які ми розглянули вище), які за допомогою додаткового механічного зв'язку з'єднувалися з валом двигуна. Механічний зв'язок дозволяв передати обертання від двигуна до валу тахометра, а його індикаторна стрілка показувала частоту обертання в поточний момент часу.

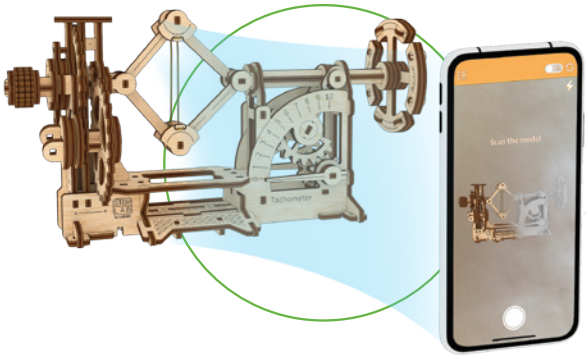
Це дозволяло поліпшити керованість літака при ручному регулюванні частоти обертання і тяги, створюваної пропелером.

Унікальний AR-досвід: як механізм застосовується 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-lab – це наочний навчальний посібник про те, як влаштований механізм і як він працює.

Складіть Тахометр власноруч і дізнайтеся, як влаштований цей механізм та 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 в реальному житті. Ви зможете взаємодіяти з моделлю на екрані, роздивитися механізм із різних ракурсів і побачити, як та для чого використовується ТАХОМЕТР у авіаційних приладах.

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.

Customer support:
customerservice@ugearsmodels.com

§5

Механіка відцентрового тахометра UGEARS

Тахометр UGEARS виконаний за схемою відцентрового тахометра традиційної компоновки (Рис. 5). У цій конструкції вал тахометра приводиться в обертання за допомогою спеціальної рукоятки.

Ця рукоятка через двоступеневу зубчасту передачу передає обертання до валу. На валу розміщені два тягарці, які з'єднуються з ним за допомогою важелів.

Тягарці також з'єднані між собою за допомогою пружного елемента. Важелі формують важільну систему, яка дозволяє використовувати відцентрову силу, створювану тягарцями для переміщення валу вздовж своєї осі.

Таким чином, віддалення тягарців від осі обертання валу під дією відцентрової сили призводить до відповідного зміщення валу вздовж його осі за допомогою системи важеля.

При відсутності обертання вал знаходиться в крайньому лівому положенні (Рис. 5). Але при обертанні валу тягарці створюють відцентрову силу. За допомогою важелів тягарці впливають на вал, переміщуючи його вправо уздовж осі (Рис. 6).

Для того, щоб перемістити вал, відцентровій силі необхідно подолати зусилля натягу пружного елемента.

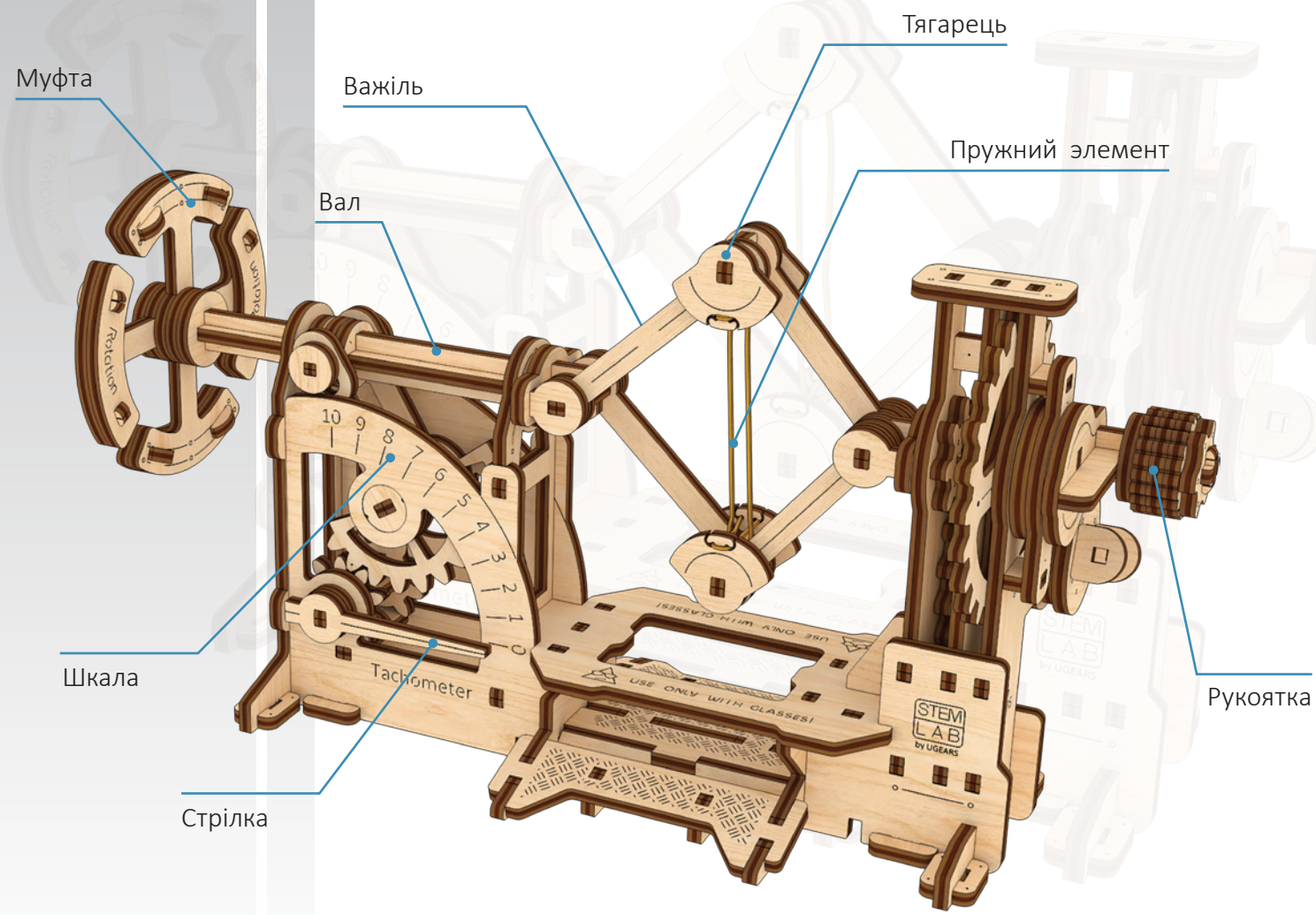


Рис.5

ДЛЯ НАЙДОПИТЛИВІШИХ!

Градуювання, вимірювання частоти обертання за допомогою механічного тахометра UGEARS

Особливістю конструкції є те, що для роботи приладу необхідно створити значну відцентрову силу.

На низьких обертах прилад не зможе подолати зусилля пружного елемента і перемістити вал. Із цією метою у конструкцію введена зубчата передача, що підвищує частоту обертання валу.

*** Цікаво!**
Дізнатися, як працює і застосовується коробка передач, допоможе STEM-конструктор «Коробка передач» – механічна модель, яка повністю повторює принцип дії коробки передач!

Пружний елемент підкорюється закону Гука. Закон Гука говорить, що деформація в пружному тілі пропорційна силі, яка прикладена до цього тіла (закон відкрив англійський вчений Роберт Гук у 1660 році).

У нашому випадку, згідно з цим законом, зусилля, що створюється пружним елементом, буде пропорційним його розтягуванню.

При цьому більшій частоті обертання буде відповідати велика відцентрова сила. Ця сила подолає більше зусилля натягу, що призведе до більшого переміщення валу тахометра.

За відсутності відцентрової сили вал повертається у вихідне положення під дією пружного елемента.

Вал тахометра за допомогою муфти з'єднаний зі стрілкою тахометра. Конструкція муфти виконана таким чином, що вона пов'язана з валом, але при обертанні валу муфта не обертається.

Муфта буде переміщатися поздовжньо разом із валом, відповідно переміщення валу вздовж своєї осі на певну відстань призводить до переміщення муфти на тій самій відстані.

Таким чином, переміщення валу призводить до відповідного повороту стрілки тахометра. Це дає можливість на підставі поточних показань стрілки визначати частоту обертання валу тахометра.

Вище ми розглянули, що відцентрова сила залежить від частоти обертання нелінійно, а це дещо обмежує точність відцентрового тахометра.

Вище ми розглянули, що відцентрова сила залежить від частоти обертання нелінійно, а це дещо обмежує точність відцентрового тахометра.

Відтак виникає необхідність здійснювати правильне градуювання приладу. При градуюванні приладів, таких як відцентровий тахометр, його вал приводиться в обертання за допомогою рушія, а частота обертання відома заздалегідь і може змінюватися.

Також двигун може містити ще один точний тахометр,

що дозволяє нам точно знати і регулювати частоту обертання валу двигуна.

Встановлюючи відому частоту обертання, визначають показання стрілки приладу, а на його шкалі ставиться позначка. Далі встановлюють іншу частоту обертання, а на шкалі приладу відзначається друга позначка. Потім процес повторюється. У результаті отримують певну кількість позначок, навпроти кожної з якої вписується цифра, що показує частоту обертання валу. Значення частоти обертання для кожної риски вже відомі.

Для приблизного градуювання тахометра UGEARS необхідно використовувати секундомір. За допомогою рукоятки потрібно, обертаючи вал з певною частотою, отримати приблизні показання стрілки тахометра «2».

Одночасно за допомогою секундоміра визначається час, за який відбувається 1 оберт. Наприклад, секундомір показав час 1,5 секунди, відповідно можемо знайти частоту обертання. В цьому випадку частота обертання становитиме 0,67 об/сек або 40 об/хв. Щоб підвищити точність, можна заміряти час, за який здійснюється 10 оборотів. Тепер ми знаємо, що частоті обертання 40 об/хв відповідає показання стрілки приладу «2». Також нам відомо, що показання «0» відповідає відсутності обертання валу.

Далі вимірювання повторюються, але тепер необхідно забезпечити показання стрілки тахометра «4». Провівши серію дослідів, можна виконати градуювання тахометра. В результаті можна буде встановити відповідність показань приладу і поточної частоти обертання. При чому достатньо зробити лише 3-4 досліди, щоб отримати одну крайню і 2-3 проміжних позначки на шкалі. Значення частоти обертання для всіх інших позначок можна визначити «на око». Надалі, здійснюючи обертання валу з довільною частотою, можна дізнатися цю частоту, просто глянувши на «оновлену» шкалу приладу.

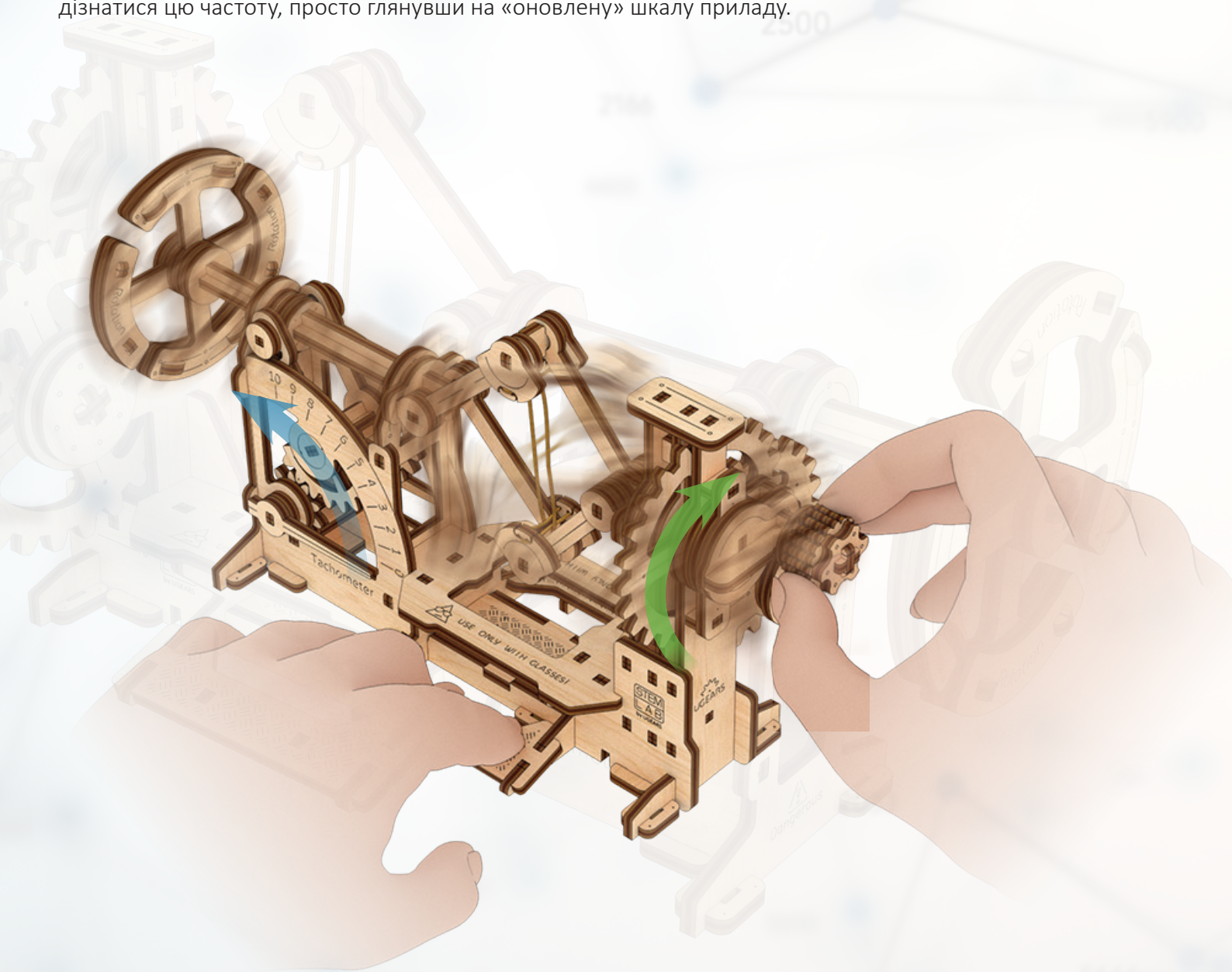


Рис.6

§6

Практичні завдання

ТЕСТ

1. Кутова швидкість валу – це:

☐ а) число обертів валу за одиницю часу;
☐ б) кут повороту валу за одиницю часу;
☐ в) час, за який вал здійснює один оберт.

2. Щоб визначити потужність двигуна, потрібно:

☐ а) помножити крутний момент на частоту обертання;
☐ б) помножити крутний момент на кутову швидкість;
☐ в) розділити крутний момент на кутову швидкість.

3. Потужність автомобільного двигуна – 100 кінських сил. Яка його потужність у кіловатах?

☐ а) 135 кВт;
☐ б) 200 кВт;
☐ в) 74 кВт.

4. Частота обертання пропелера (валу двигуна) становить 6000 об/хв. За якийсь час вал двигуна робить 1 оборот?

☐ а) 0,01 секунди;
☐ б) 0,06 секунди;
☐ в) 0,1 секунди.

Вітаємо, Ви це зробили!

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

Відповіді: 1.б, 2.б, 3.в, 4в.