

Хурсенко Світлана Миколаївна

кандидат фізико-математичних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-6307-2042

e-mail: svitlana.khursenko@snau.edu.ua

У статті розглянуті основні фізичні засади прояву сил в різних сферах життя. Зроблено акцент на взаємодії фізики і техніки, наведені приклади прояву сил в техніці, побуті і житті. Стаття може знадобитися студентам фізичних та інженерних спеціальностей у вивченні додаткового матеріалу з фізики, і буде цікава широкому колу читачів, які цікавляться фізикою і технікою.

Ключові слова: сила, складання і розкладання сил, пара сил, рівнодійна сил, прості механізми.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.7>

Постановка проблеми. Сила є одним з фундаментальних понять механіки. Поняття сили виникло з життя, хоча між побутовим і фізичним поняттями сили є і схожість і відмінність. Слово «сила» в українській мові є багатозначним і нерідко використовується (сама чи в поєднаннях, в науці і повсякденних ситуаціях) в сенсах, відмінних від фізичного трактування терміна. Кажуть про силачів, про сильний удар по м'ячу на футбольному полі, про надзвичайну силу китів, про силу волі, про м'язову силу тощо. У найбільш звичному повсякденному вживанні сила – механічний вплив на що-небудь, без конкретизації. У фізиці сила – векторна величина, що є мірою впливу на дане тіло з боку інших тіл або полів. У механіці поняття сили є більш обмеженим, ніж у фізиці в цілому, де поряд з механічними поняттями сили широко використовуються й інші, наприклад сила струму, електричної сила, сила звуку, сила світла та ін. В механіці сила є кількісною мірою взаємодії тіл, причиною деформацій тіл і прискорень, що їм надаються.

Аналіз публікацій по темі дослідження. Суперечки навколо визначення сили не закінчений досі. Це обумовлено труднощами об'єднання в одному визначенні сил, різних за своєю природою і характером прояву. Загальноприйняте визначення сили відсутнє; в сучасних підручниках фізики сила зазвичай розглядається як причина прискорення [1-3]. Кінець ХХ століття охарактеризувався суперечками про те, чи потрібне взагалі в науці поняття сили і чи існують сили в принципі – чи це лише термін, введений для зручності. Одні науковці [4] аргументували, що сили по суті визначають причинно-наслідкові зв'язки і тому не можуть бути відкинуті. Натомість інші автори [5] заперечували це, оскільки в Стандартній моделі й інших фізичних теоріях сила трактується лише як обмін моментом імпульсу, поняття сили тому зводиться до більш простої «взаємодії» між частинками. Ця взаємодія описується в термінах обміну додатковими частинками (фотонами, глюонами, бозонами і, можливо, гравітонами). До того ж у роботі [6] зазначається, що принцип еквівалентності Ейнштейна по суті знищує поняття сили, в загальній теорії відносності зовнішні сили (F з рівняння $F = ma$) відсутні.

Мета даної роботи, таким чином, полягає в узгодженні між поняттями сили, що вивчається студентами в курсі загальної фізики, та сучасною технікою, що має сприяти кращому розумінню наукових ідей, що лежать в основі і принципів роботи технічних пристроїв.

Виклад основного змісту дослідження. Сила – фізична величина, що характеризує взаємодію тіл, в результаті

якої вони або змінюють напрямок руху, або величину швидкості, або деформуються [7]. На практиці найчастіше спостерігається прояв всіх трьох сутностей. У техніці сили є рушійними, які здійснюють роботу. Джерелом сили, як правило, є деякий технічний пристрій – двигун. Для здійснення роботи цю силу необхідно перетворювати, змінювати її напрямок, розкладати на складові або складати з іншими силами. Додавання і розкладання сил проводиться за правилом паралелограма сил, згідно з яким рівнодійна двох сил, що діють на тіло під кутом одна до одної, зображується діагоналлю паралелограма, побудованого на векторах, що зображують сили. І навпаки, щоб розкласти силу за двома напрямками, треба через кінець вектора сили провести лінії, паралельні цим напрямкам.

Наприклад, при розкладанні сили в 1 Н за двома напрямками, розташованим під однаковими кутами α до напрямку сили (рис. 1), замість однієї сили отримаємо дві.

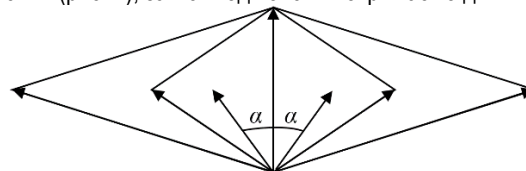


Рис. 1. Приклад розкладання сили в 1 Н на більші за величиною сили

Як видно з рисунка, при збільшенні кута α сила в 1 Н перетворюється на дві все більші й більші сили. У граничному випадку ($\alpha = 90^\circ$) сила в 1 Н розкладається на дві нескінченно великі сили. Таким чином, з однієї сили в 1 Н можна зробити дві сили по 10 Н, по 100 Н, і взагалі дві будь-які за величиною сили; для цього необхідно лише відповідним чином вибрати кут α . Іншими словами, теоретично з будь-якої як завгодно малої за величиною сили можна зробити дві як завгодно великі сили.

Чи так це насправді, допоможе розібратися наступний приклад [8]. Розглянемо світлофор масою 15 кг підвішений в точці B до середини троса ABC (довжина троса 20 м), прикріпленого кінцями до стовпів у точках A і C , які знаходяться на одній горизонталі (рис. 2). Відхилення точки підвісу світлофора від горизонталі BK становить 0,1 м. Нехтуючи вагою троса визначимо його натяг. Оскільки під дією ваги світлофора \vec{P} трос розтягується, можна побудувати паралелограм сил. Легко здогадатися, що заштриховані трикутники на рис. 2 подібні. З подібності трикутників випливає, що натяг

троса $T = 750$ Н, що в 50 разів більше ваги самого світлофора. Зрозуміло, що, чим меншим буде провис BK , тим більшим буде натяг троса. Отже жоден трос, дріт, мотузку не можна натягнути строго горизонтально – завжди буде деякий провис. Навіть якщо на тросі нічого не висить, він має власну вагу, яку можна вважати прикладеною посередині. Для того, щоб трос зайняв строго горизонтальне положення, потрібно докласти нескінченно великі сили. Навіть якщо такі сили були доступні, жоден трос не витримував би нескінченно великого натягу – він розірвався би перш, ніж став горизонтальним.

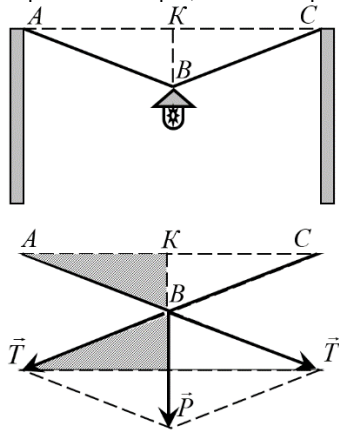


Рис. 2. Сила натягу троса \vec{T} набагато більша ваги світлофора \vec{P}

Неможливість натягнути дріт строго горизонтально – шкідливе явище. Наприклад, при будівництві високовольтної лінії для передачі електроенергії на великі відстані економічно і енергозатратно вигідніше поставити якомога менше опор. Однак, при збільшенні відстані між опорами збільшується провис проводів, при цьому зростає ймовірність їх схлестування під дією вітру, що може привести до аварії. Або ж, наприклад, використовуючи паралелограм сил можна одразу побачити, що нижню частину стріли підйомного крана треба кріпити на упор, а верхню – на виривання (рис. 3).

У разі, коли на тіло діють дві паралельні (рис. 4, а) або антипаралельні (рис. 4, б) сили \vec{P} і \vec{Q} , рівнодійна сила \vec{R} дорівнює їх сумі (у разі двох паралельних сил) або різниці (коли сили антипаралельні), а точка прикладання рівнодійної ділить відстань між лініями дії сил \vec{P} і \vec{Q} у відношенні $P:a = Q:b = R:l$ ($l = a + b$). При зменшенні сили \vec{P} (або, навпаки, збільшенні сили \vec{Q}) рівнодійна зменшується, оскільки $\vec{R} = \vec{P} - \vec{Q}$, а точка її прикладання відсувається все далі і далі від сил \vec{P} і \vec{Q} . Дотримуючись математичної логіки, у граничному випадку ($\vec{P} = \vec{Q}$) значення рівнодійної сили наближається до нуля, а точка її прикладання зміщується у нескінченність.

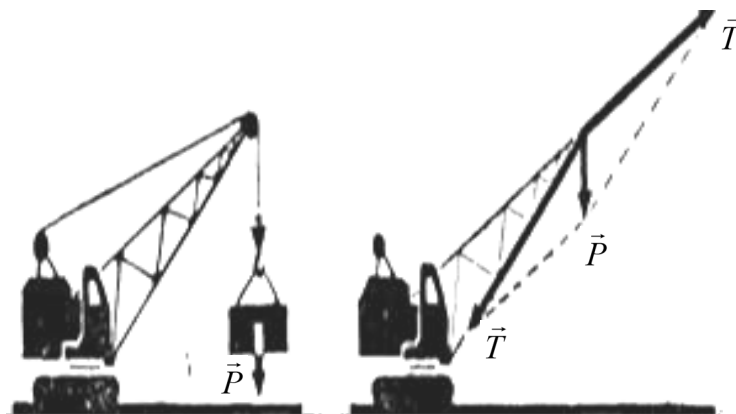


Рис. 3. Визначення діючих на стрілу підйомного крана сил

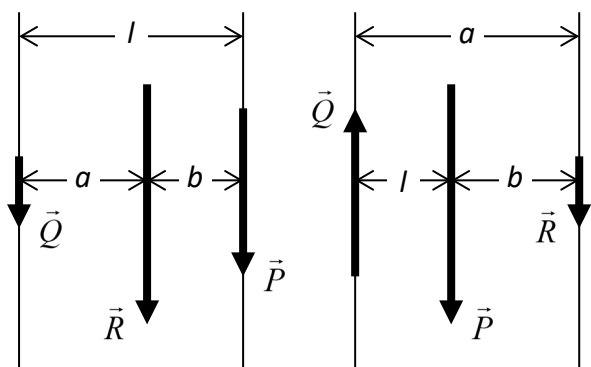


Рис. 4. Паралельні і антипаралельні сили

Фізично це означає, що коли на тіло діють дві рівні антипаралельні сили, прикладені до різних точок тіла (такі сили

називаються парою), тіло обертається. Наприклад, закручуючи гайку, угвинчуючи або вигвинчуючи шуруп, ми докладаємо пару сил (рис. 5). У випадку двох нерівних антипаралельних сил, їх можна звести до однієї – рівнодійної сили, під дією якої тіло буде переміщатися, рухатися. Як тільки сили \vec{P} і \vec{Q} вирівнюються, рівнодійна зникає, утворюється пара сил, яка буде обертати тіло. Таким чином, граничний перехід від двох антипаралельних сил до пари сил – це перехід від переміщення до обертання, від одного виду механічного руху до іншого.

Дія пари сил на тіло вимірюється моментом \vec{M} , який визначається добутком однієї з сил \vec{P} , що утворюють пару, на плече l (відстань між лініями дії сил): $M = P \cdot l$. Пара сил обертає тіло (плоску однорідну фігуру) навколо його центра ваги, для визначення розташування якого зазвичай підвішують фігуру послідовно за дві різні точки і проводять через точки підвісу вертикальні лінії: їх перетин співпадає з центром ваги.

Якщо плоска фігура може бути представлена як сума або різниця найпростіших геометричних фігур, – трикутників, прямокутників тощо, – центр ваги такої фігури можна легко обчислити математично за допомогою так званого методу площ.

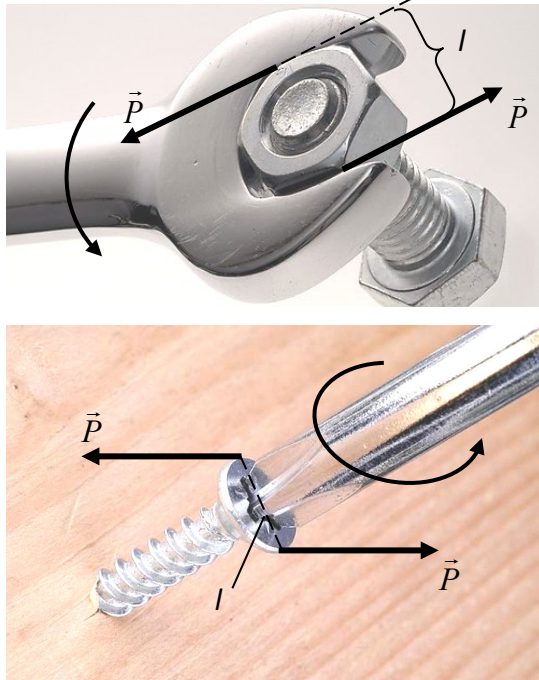


Рис. 5. Приклади дії пари сил

Наведені вище приклади показані для сил, розташованих в одній площині. Реально, в житті, науці й техніці частіше необхідно мати справу з силами, розташованими в просторі. На прикладі складання просторово-розподілених сил (рис. 6.) видно, що завдання зводиться до зведення будь-якої пари сил до однієї площини і знаходження їх рівнодійної.

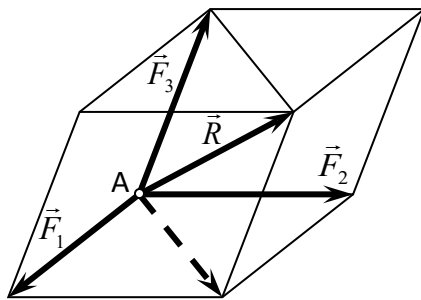


Рис. 6. Знаходження рівнодійної \vec{R} трьох сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 і \vec{F}_3 , розподілених в просторі

Для збільшення сили або зміни її напрямку в техніці використовують механізми, які полегшують людям роботу [9-10]. До механізмів прикладається сила, яку вони передають тілам, переміщаючи їх і виконуючи роботу. Прийнято виділяти вісім найпростіших механізмів, з яких чотири є різновидом двох основних:

Похила площина – простий механізм у вигляді площини, встановленої під гострим кутом до горизонтальної поверхні. Різновид похилій площині – *клин* – дозволяє збіль-

шити тиск за рахунок концентрації сили на малій площі. Використовується у списі, лопаті, кулі тощо. Інший різновид похилій площині – *звинт* – використовується в шурупах і для підйому води (Архімедів винт), у якості свердла в дрилі та ін.

Важіль – описаний Архімедом – використовується, зокрема, для підйому важких предметів, у якості вимикачів і спускових гачків (шатун-кривошип – використовується в ткацькому верстаті, паровій машині, двигунах внутрішнього згоряння). Різновид важеля – *воріт* – використовується для підйому води в колодязях і для пасової передачі та ін.

Блок – колесо з жолобом, вздовж якого пропускають мотузку, трос або ланцюг. Застосовується для зміни величини або напрямку сили.

Колесо – використовується на транспорті та в зубчастих передачах.

Поршень – дозволяє використовувати енергію нагрітих газів або пари. Застосовується, зокрема, у вогнепальній зброї, двигуни внутрішнього згоряння і паровій машині.

Як вже зазначалось, у технічних пристроях джерелом сили є двигун. На сьогодні існує досить велика кількість двигунів, які зазвичай класифікуються за родом енергії, що приводить цей двигун у дію (парові, електричні, пневматичні, гідравлічні або водяні, м'язові тощо) або за принципом роботи (внутрішнього згоряння, реактивні та ін.). Однак завжди слід враховувати, що частину сили, яка розвивається двигуном, необхідно направити на забезпечення роботи самого двигуна. Наприклад, у двигуні внутрішнього згоряння необхідно здійснювати його охолодження за допомогою водяного насоса і вентилятора радіатора, виробляти електроенергію для роботи системи запалювання за допомогою генератора, обертати насос системи мастила тощо. Для цього використовуються механізми передачі зусиль і механізми розподілу сили, в основі яких лежать найпростіші механізми. На рис. 7 показаний стенд, який демонструє різні механізми передачі сил, найбільш часто використовувані в технічних пристроях.

При виконанні будь-якої роботи часто виникає ситуація, коли сили одного двигуна виявляється недостатньо для виконання роботи. Наприклад, для перенесення якоїсь важкої речі необхідна стороння допомога, в результаті якої використовується додавання двох або більше сил, що в загальному випадку розвиваються різними двигунами. В техніці використовують принцип зчеплення, наприклад, кількох тракторів, що рухаються «цугом». Однак в обох випадках виникає проблема синхронізації як руху, так і сил. Легко уявити, як буде змінюватися рівнодійна трьох сил, показана на рис. 6, якщо хоч одна з сил буде змінюватися за величиною або напрямком, або найчастіше за обома параметрами. Тому в техніці для виконання роботи, що вимагає великих, а точніше величезних зусиль просто виготовляють єдиний механізм з одним або декількома двигунами, здатними розвинути необхідну силу, замість того, щоб складати силу декількох механізмів. Наприклад, транспортний літак Ан-225 «Мрія» (рис. 8, а) надвеликої вантажопідйомності (253,8 тонн) є найбільшим у світі літаком (довжина – 84 м, висота – 18 м, розмах крила – 88 м), що здатен розвивати максимальну швидкість 850 км/год та дальність польоту 15,400 км. Основним призначенням важкого транспортного літака було перевезення різних компонентів ракети-носія і космічного корабля від місця виробництва та збирання до місця старту.

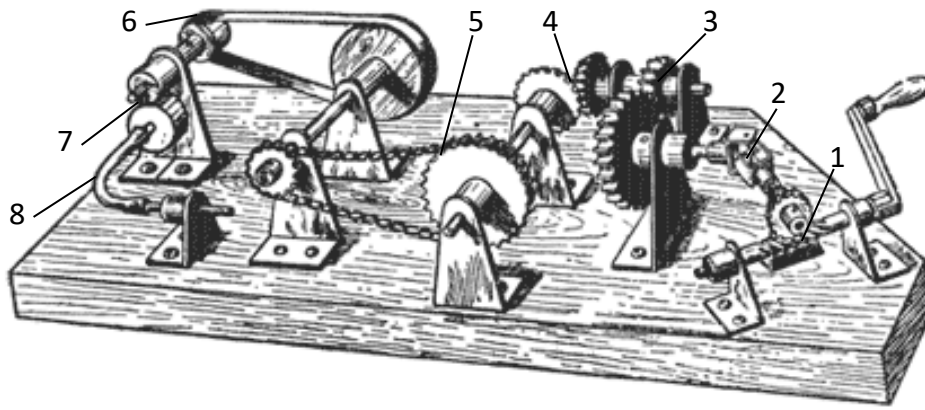


Рис. 7. Механізми передачі зусиль, які використовуються в техніці: 1 – черв'ячна; 2 – карданна; 3 – зубчаста пряма; 4 – зубчаста кутова; 5 – ланцюгова; 6 – ремінна; 7 – фрикційна; 8 – тросова

На рис. 8, б представлений найбільший у світі за розмірами (габаритні розміри 20,6×9,75×8,17 м; маса – 360 тонн) і вантажопідйомністю (450 тон) кар'єрний самоскид БелАЗ-75710, який має сумарну віддачу дизельних агрегатів 4660 кінських сил. При цьому самоскид може розвивати швидкість до 64 км/год.

Найбільшим навантажувачем у світі визнана 262-тонна модель LeTourneau L-2350 (рис. 8, в). Потужність (2300 кінських сил) і розміри цієї машини (довжина корпусу – 20,3 м, ширина – 6,5 м, ківш обсягом 40,5 м³ за раз піднімає 75 тонн гірської породи, висота підйому – 13,7 м) вражають. При цьому навантажувач здатен розвивати швидкість до 15 км/год.



а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Приклади механізмів, здатних розвинути велику за значенням силу

Ціла лінійка двигунів, представлених на рис. 8, г, була розроблена для кораблів. Судно місткістю по 8-10 тисяч тонн, що рухається за рахунок роботи єдиного такого двигуна, спокійно розвиває швидкість понад 46 км/год. Діаметр циліндра цього суднового двигуна – 0,96 м, хід поршня – 2,5 м, робочий об'єм циліндра дизеля – 1820 л, робочий об'єм – 25480 л. Потужність цього дизельного двигуна досягає 108920 кінських сил. Цей 14-циліндровий двигун важить 2300 тонн, має довжину близько 26 м, а висоту – 13 м. Основними матеріалами

для його будівництва стали чавун і сталь.

Висновки. Наведені приклади показують, що в техніці використовують різні види сил. Для розкладання сил використовують різного роду коробки зміни передач, механізми передач за допомогою ременів, ланцюгів тощо. У той же час в техніці процес складання сил від різних джерел існує, але виявляється більш складним, оскільки виникає необхідність чіткої синхронізації руху джерел сил.

Список використаної літератури.

1. Бутиков Е.Н. Кондратьев А.С. Физика: Кн.1. Механика. – М.: Физматлит, 2008. – 352 с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики: Кн.1. Механика. – М.: Астрель, 2002. – 336 с.
3. Ricardo Lopes Coelho. On the Concept of Force: How Understanding its History can Improve Physics Teaching // Sci & Educ. – 2010. – Vol. 19. – P. 91-113.
4. John Bigelow, Brian Ellis, and Robert Pargetter. Forces // Philosophy of Science 55, No. 4. – 1988. – P. 614-630.
5. Макс Джеммер. Concepts of Force. – Mineola, NY: Dover Publications Inc., 1999.
6. Arthur Stinner. The story of force: from Aristotle to Einstein // Physics education. – 1994. – Vol. 29, No. 2. – P. 77-85.
7. Вакуленко М., Вакуленко О. Фізичний тлумачний словник. – К.: Київський університет, 2008. – 767 с.
8. Блумфилд Л. Как все работает. Законы физики в нашей жизни. – М.: АСТ Corpus, 2016. – 704 с.
9. Балдаев Р., Раджендран В., Паланичами П. Мир физики и техники. – М.: Техносфера, 2006. – 579 с.
10. Кірієнко О.А., Гузенко Ю.М. Теорія механізмів і машин. Деталі машин. Розрахунки механічних передач: Навчальний посібник. – Київ: Київський політехнічний інститут, 2016. – 188 с.

Khursenko S.M., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Physics in technology: use of forces

Force is one of the fundamental concepts of mechanics. In physics, force is a vector quantity that is a measure of the effect on a given body from other bodies or fields. In mechanics, force is a quantitative measure of the interaction of bodies, the cause of deformations of bodies and the accelerations that are provided to them. The disputes surrounding the definition of force are still ongoing. This is due to the difficulties of uniting in one definition of forces that are different in their nature and character. In technology, forces are the driving forces that do some work. To carry out work, these forces must be transformed, changed their direction, decomposed into components or added to other forces. For the decomposition of forces, various kinds of gearboxes, transmission mechanisms using belts, chains, and the like are used. To increase force or change its direction in technology, mechanisms are used that make it easier for people to work. It is customary to distinguish eight simple mechanisms, among which there is an inclined plane, a wedge, a screw, a lever, a gate, a block, a wheel and a piston. The source of force in technical devices, as a rule, is the engine. Today there are a fairly large number of engines, which are usually classified according to the type of energy that drives this engine (steam, electric, pneumatic, hydraulic or water, muscle, etc.) or according to the principle of operation (internal combustion, jet, etc.). When doing any work, a situation often arises when the power of one engine is not enough to perform this work. In this case, it is sometimes more expedient to manufacture a single mechanism with one or more engines capable of developing the required force, instead of adding the force of several separate mechanisms, since in the latter case it becomes necessary to accurately synchronize the movement of the sources of forces. This article may be needed by students of physics and engineering specialties when studying additional material on physics, and will also be of interest to a wide range of readers interested in physics and technology.

Keywords: force, addition and decomposition of forces, a pair of forces, resultant forces, simple mechanisms.

Дата надходження до редакції: 07.05.2021