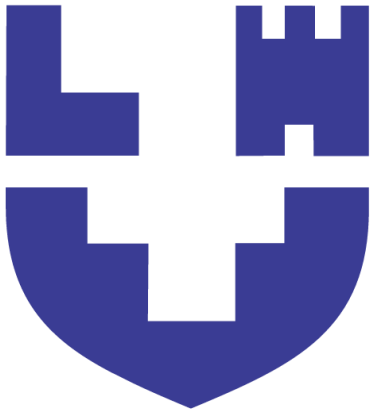
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Lutsk National Technical University



Fedosov Serhii & Yashchynskiy Leonid

ENGINEER'S PHYSICAL HANDBOOK

Tutorial

for applicants of the first (bachelor's) level of higher education
technical and natural sciences
full-time and part-time forms of study

Lutsk 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

Федосов С. А., Ящинський Л. В.

ФІЗИЧНИЙ ДОВІДНИК ІНЖЕНЕРА

Навчальний посібник

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
технічних і природничих спеціальностей
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2026

UDC 53.081
F 50

Recommended for publication by the Academic Council of the Robotics and Artificial Intelligence Faculty (Minutes No. 1 dated 14/05/2026)

Considered and approved at the meeting of the Electronics, Physics and SMART Systems Department (Minutes No. 1 dated 12/05/2026)

Reviewers:

Pasternak Y. M. – Dr. Phys. & Math. Sc., Professor, Professor of the Department of Computer Science and Cybersecurity, Lesia Ukrainka Volyn National University;

Nykyruy L. I. – Cand. Sc. (Phys. & Math.), Professor, Head of the Department of Physics and Astronomy, Vasyl Stefanyk Carpathian National University;

Luniov S. V. – Dr. Phys. & Math. Sc., Professor, Professor of the Department of Physics and Higher Mathematics, Lutsk National Technical University.

F 50 Fedosov Serhii & Yashchynskiy Leonid. **Engineer's Physical Handbook : Tutorial** for applicants of the first (bachelor's) level of higher education technical and natural sciences full-time and part-time forms of study. Lutsk : LNTU, 2026. 94 p.

The tutorial «Engineer's Physical Handbook» is a component of a set of working materials written in English and Ukrainian, created to ensure high-quality training of specialists in the fields of knowledge E Natural Sciences, Mathematics and Statistics, G Engineering, Production and Building, J Transport and Services, etc. The tutorial discusses various systems of units which serves as the yardstick for every measurement, to be able to express the values of physical quantities. The sections of the book contain a set of materials necessary for the organization of full-fledged classroom and independent work of students. The material of the handbook is necessary in the training of specialists and is recommended as a basic one when studying the academic disciplines «Physics», «Physical Processes in Automobiles», «Fluid Mechanics», «Strength of Materials", «Electrical Engineering», «Actuators» and other special courses.

The educational publication is compiled in accordance with the current training programs for higher education applicants in the specialties G11 Machinery Engineering (by specialization), J8 Motor Vehicle Transport and is recommended for applicants of physical and technical educational programs of full-time and part-time forms of study at LNTU.

UDC 53.081
© Fedosov S., Yashchynskiy L., 2026
© LNTU, 2026

УДК 53.081
Ф 50

Рекомендовано до друку вченою радою факультету робототехніки та штучного інтелекту (протокол № 1 від « 14 » 05 2026 р.)

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електроніки, фізики та СМАРТ-систем (протокол № 1 від « 12 » 05 2026 р.)

Рецензенти:

Пастернак Я. М. – д-р фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та кібербезпеки, Волинський національний університет імені Лесі Українки;

Никируй Л. І. – канд. фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри фізики та астрономії, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Луньов С. В. – д-р фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри фізики та вищої математики, Луцький національний технічний університет.

Ф 50 Федосов С. А., Ящинський Л. В. **Фізичний довідник інженера : навчальний посібник** для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти технічних і природничих спеціальностей денної та заочної форм навчання. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 94 с.

Навчальний посібник «Фізичний довідник інженера» – складова комплексу робочих матеріалів написаних на англійській і українській мовах, створених для забезпечення якісної підготовки фахівців галузей знань E Природничі науки, математика та статистика, G Інженерія, виробництво та будівництво, J Транспорт та послуги тощо. У навчальному посібнику розглянуто різні системи одиниць, які служать еталоном для кожного вимірювання, щоб мати змогу виражати значення фізичних величин. Розділи книги містять набір матеріалів необхідних для організації повноцінної аудиторної та самостійної роботи здобувачів освіти. Матеріал довідника є необхідним у підготовці фахівців і рекомендовано як базовий при вивченні навчальних дисциплін «Фізика», «Фізичні процеси в автомобілях», «Механіка рідин», «Опір матеріалів», «Електрична інженерія», «Приводи» та інших спецкурсів.

Навчальне видання складене відповідно до діючих програм підготовки здобувачів вищої освіти спеціальностей G11 Машинобудування (за спеціалізаціями), J8 Автомобільний транспорт й рекомендовано для здобувачів фізико-технічних освітніх програм денної та заочної форм навчання ЛНТУ.

УДК 53.081
© Федосов С. А., Ящинський Л. В., 2026
© ЛНТУ, 2026

CONTENTS **ЗМІСТ**

INTRODUCTION	ВСТУП	8
Chapter 1	Розділ 1	
QUANTITIES AND UNITS	ВЕЛИЧИНИ І ОДИНИЦІ	9
1.1 SI units	Одиниці системи СІ	10
Base SI units	Основні одиниці СІ	
Definitions of the base Sl units	Визначення основних одиниць СІ	
Decimal multiples and fractions of Sl units	Десяткові кратні та частинні одиниць СІ	
1.2 Legal units	Дозволені одиниці	13
1.3 Systems of units not to be used	Невикористовувані системи одиниць	14
The physical system of units	Фізична система одиниць	
The technical system of units	Технічна система одиниць	
1.4 Quantities and units	Величини і одиниці	15
Length, area, volume	Довжина, площа, об’єм	
Angle	Кут	
Mass	Маса	
Time quantities	Величини часу	
Force, energy, power	Сила, енергія, потужність	
Viscosimetric quantities	Віскозиметричні величини	
Temperature and heat	Температура і теплота	
Electrical quantities	Електричні величини	
Magnetic quantities	Магнітні величини	
Photometric quantities and units	Фотометричні величини і одиниці	
Quantities used in atom physics and other fields	Величини атомної фізики і інших галузей	
Chapter 2	Розділ 2	
CONVERSION OF UNITS	ПЕРЕТВОРЕННЯ ОДИНИЦЬ	29
2.1 Units of length	Одиниці довжини	31
Other British and American units of length	Інші британські і американські одиниці довжини	
Astronomical units	Астрономічні одиниці	
Do not use	Не використовувати	
2.2 Units of area	Одиниці площі	33
Paper sizes	Розміри паперу	
2.3 Units of volume	Одиниці об’єму	34
Other units of volume	Інші одиниці об’єму	
Great Britain (UK)	Велика Британія (ОК)	
United States (US)	Сполучені Штати (США)	

	Volume of ships	Об’єм суден	
2.4	Units of angle	Одиниці кута	36
2.5	Velocities	Швидкості	36
2.6	Fuel consumption	Витрата палива	37
2.7	Units of mass	Одиниці маси	37
	Avoirdupois system	Система евердьюпойс	
	Troy system and Apothecaries' system	Тройська система і аптекарська система	
	Mass per unit length	Маса на одиницю довжини	
	Density	Густина	
2.8	Units of force	Одиниці сили	41
2.9	Units of pressure and stress	Одиниці тиску і напруження	42
2.10	Units of energy	Одиниці енергії	43
2.11	Units of power	Одиниці потужності	44
2.12	Units of temperature	Одиниці температури	46
	Temperature points	Температурні точки	
	Temperature difference	Різниця температур	
2.13	Units of viscosity	Одиниці в’язкості	48
	Legal units of kinematic viscosity *v*	Допустимі одиниці кінематичної в’язкості *v*	
	British and American units	Британські і американські одиниці	
	Do not use	Не використовуйте	
	Conventional units	Умовні одиниці	
2.14	Units of time	Одиниці часу	49
	Clock times	Час за годинником	
Chapter 3		Розділ 3	
SYMBOLS AND UNITS		СИМВОЛИ І ОДИНИЦІ	52
3.1	Mechanics	Механіка	54
	The spectrum of mechanics	Спектр механіки	
	Mechanics symbols and units	Символи і одиниці механіки	
	Relationships between quantities, numbers	Зв’язки між величинами, числами	
3.2	Vibration and oscillation	Вібрація і коливання	58
	Types	Типи	
	Vibrations and oscillations symbols and units	Символи і одиниці вібрацій і коливань	
3.3	Fluid mechanics	Механіка рідин	62
	Main branches	Основні галузі	
	Fluid mechanics symbols and units	Символи і одиниці механіки рідин	
3.4	Strength of materials	Міцність матеріалів	66
	Definition	Визначення	
	Strength of materials symbols and units	Символи і одиниці опору матеріалів	

3.5	Acoustics	Акустика	69
	Definition	Визначення	
	Acoustics symbols and units	Символи і одиниці акустики	
3.6	Heat	Теплота	73
	Heat symbols and units	Символи і одиниці теплоти	
3.7	Electrical engineering	Електрична інженерія	75
	Subfields	Підгалузі	
	Electrical engineering symbols and units	Символи і одиниці електричної інженерії	
3.8	Actuators	Приводи	82
	Types of actuators	Типи приводів	
	Actuators symbols and units	Символи і одиниці приводів	
3.9	Technical optics	Технічна оптика	87
	Optical science	Оптична наука	
	Optical engineering	Оптична інженерія	
	Technical optics symbols and units	Символи і одиниці технічної оптики	
REFERENCES		СПИСОК ДЖЕРЕЛ	91

INTRODUCTION

In order to be able to express the values of physical quantities, a system of units is required which serves as the yardstick for every measurement. The value of the physical quantity is taken as the product of numerical value and unit. Such a system of units is the SI system, which was established in 1960 by the 11th General Conference on Weights and Measures (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM). It has since then been adopted by over 50 countries. International responsibility lies with the International Bureau of Weights and Measures (BIPM, Bureau International des Poids et Mesures) in Sèvres near Paris. Further units which are to this day commonly used (e.g., liter, metric ton, hour, degree Celsius) are in many countries likewise permitted by law and are mentioned here as such. Units permitted in other countries (e.g., inch, ounce, degree Fahrenheit) or obsolete units are discussed in a separate section.

The Engineer's Physical Handbook is organized into three chapters:

Chapter 1: Quantities and Units

Chapter 2: Conversion of Units

Chapter 3: Symbols and Units

We recommend that readers first study the information in the «Engineer's Physical Handbook» before taking moving to the courses «Physics», «Physical Processes…», «Physical foundations…», «Fluid Mechanics», «Strength of Materials», «Electrical Engineering», «Actuators», etc., or simultaneously with taking these courses.

In this book, each chapter is presented in a clear and coherent fashion without heavy reliance on the original literature.

ВСТУП

Для того, щоб мати змогу виражати значення фізичних величин, потрібна система одиниць, яка служить еталоном для кожного вимірювання. Значення фізичної величини приймається як добуток числового значення на одиницю вимірювання. Такою системою одиниць є система СІ, яка була встановлена в 1960 році 11-ю Генеральною конференцією з мір і ваг (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM). З того часу її прийняли понад 50 країн. Міжнародну відповідальність несе Міжнародне бюро мір і ваг (BIPM, Bureau International des Poids et Mesures) у Севрі поблизу Парижа. Інші одиниці вимірювання, які й донині широко використовуються (наприклад, літр, метрична тонна, година, градус Цельсія), також дозволені законом у багатьох країнах і згадуються також тут. Одиниці вимірювання, дозволені в інших країнах (наприклад, дюйм, унція, градус Фаренгейта), або застарілі одиниці обговорюються в окремому розділі.

Фізичний довідник інженера складається з трьох розділів:

Розділ 1: Величини і одиниці

Розділ 2: Перетворення одиниць

Розділ 3: Символи і одиниці

Рекомендуємо читачам спочатку вивчити інформацію «Фізичного довідника інженера», перш ніж опановувати курси «Фізика», «Фізичні процеси…», «Фізичні основи…», «Гідромеханіка», «Опір матеріалів», «Електротехніка», «Приводи» та ін., або одночасно з опануванням цих курсів.

У цій книзі, кожен розділ представлений у зрозумілій і послідовній манері без значної відмінності від оригінальної літератури.

1

Quantities and units

1.1 SI units
Base SI units
Definitions of the base Sl units

Decimal multiples and fractions of Sl units

1.2 Legal units

1.3 Systems of units not to be used
The physical system of units
The technical system of units

1.4 Quantities and units
Length, area, volume
Angle
Mass
Time quantities
Force, energy, power
Viscosimetric quantities
Temperature and heat
Electrical quantities
Magnetic quantities
Photometric quantities and units

Quantities used in atom physics and other fields

Величини і одиниці

1.1 Одиниці системи СІ
Основні одиниці СІ
Визначення основних одиниць СІ
Десяткові кратні та частинні одиниць СІ

1.2 Дозволені одиниці

1.3 Невикористовувані системи одиниць
Фізична система одиниць
Технічна система одиниць

1.4 Величини і одиниці
Довжина, площа, об'єм
Кут
Маса
Величини часу
Сила, енергія, потужність
Віскозиметричні величини
Температура і тепло
Електричні величини
Магнітні величини
Фотометричні величини і одиниці
Величини атомної фізики та інших галузей

Chapter 1
Quantities and units

1.1 SI units

SI denotes «Système International d'Unités» (International System of Units). The system is laid down in ISO 31 and ISO 80000 (ISO: International Organization for Standardization) and for Germany in DIN 1301 (DIN: Deutsches Institut für Normung – German Institute for Standardization).

SI units comprise the seven base SI units and coherent units derived from these base Sl units using a numerical factor of 1.

Base SI units

Table 1.1 – Base SI units.

Base quantity and symbols		Base SI unit	
		Name	Symbol
Length	*l*	meter	m
Mass	*m*	kilogram	kg
Time	*t*	second	s
Electric current	*I*	ampere	A
Thermodynamic temperature	*T*	kelvin	K
Amount of substance	*n*	mole	mol
Luminous intensity	*I*	candela	cd

All other quantities and units are derived from the base quantities and base units. The international unit of force is thus obtained by applying Newton's Law:

Розділ 1
Величини і одиниці

1.1 Одиниці системи СІ

СІ означає «Système International d'Unités» (Міжнародна система одиниць). Система викладена в ISO 31 і ISO 80000 (ISO: Міжнародна організація зі стандартизації), а для Німеччини – у DIN 1301 (DIN: Deutsches Institut für Normung – Німецький інститут стандартизації).

СІ включає сім основних одиниць СІ і когерентні одиниці, похідні від цих основних одиниць СІ з використанням числового коефіцієнта 1.

Основні одиниці СІ

Таблиця 1.1 – Основні одиниці СІ.

Основна величина і символи		Основна одиниця СІ	
		Назва	Символ
Довжина	*l*	метр	м
Маса	*m*	кілограм	кг
Час	*t*	секунда	с
Електричний струм	*I*	ампер	А
Термодинамічна температура	*T*	кельвін	К
Кількість речовини	*n*	моль	моль
Сила світла	*I*	кандела	кд

Усі інші величини і одиниці вимірювання походять від основних величин і основних одиниць. Міжнародна одиниця сили, таким чином, отримується шляхом застосування закону Ньютона:

force = mass × acceleration

$$F = m \cdot a$$

where $m = 1$ kg and $a = 1$ m/s^2, thus $F = 1$ kg · 1 m/s^2 = 1 kg · m/s^2 = 1 N (newton).

Definitions of the base SI units

In 2018 a fundamental change was made to the SI at the 26th General Conference, this change being adopted on 20 May 2019: Seven «defining constants» now form the foundation of the SI and therefore provide the basis for the definition of the base units and all further SI units.

1 *meter* is defined as the distance which light travels in a vacuum in 1/299,792,458 seconds (17th CGPM, 1983[1]). The meter is therefore defined using the speed of light in a vacuum, $c = 299{,}792{,}458$ m/s, and no longer by the wavelength of the radiation emitted by the krypton nuclide ^{86}Kr. The meter was originally defined as the forty-millionth part of a terrestrial meridian (standard meter, Paris, 1875).

1 *kilogram* is linked with the action, a quantity in theoretical physics with the unit kg · m^2 · s^{-1}. Together with the definitions of the second and the meter this leads to a definition of the kilogram as a function of the Planck constant *h*.

1 *second* is defined as the duration of 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of atoms of the ^{133}Cs nuclide (13th CGPM, 1967[1]).

1 *ampere* is the current corresponding to the flow of $1/(1.602176634 \cdot 10^{-19})$ elementary charges (electrons) per second.

1 *kelvin* is equal to the change of thermodynamic temperature that results in a

сила = маса × прискорення,

де $m = 1$ кг і $a = 1$ м/с^2, таким чином $F = 1$ кг · 1 м/с^2 = 1 кг · м/с^2 = 1 Н (ньютон).

Визначення основних одиниць СІ

У 2018 році на 26-й Генеральній конференції до СІ було внесено фундаментальну зміну, яку було прийнято 20 травня 2019 року: Сім «визначальних констант» тепер складають основу СІ і, отже, забезпечують основу для визначення основних одиниць і всіх подальших одиниць СІ.

1 *метр* визначається як відстань, яку світло проходить у вакуумі за 1/299 792 458 секунди (17-та CGPM, 1983). Тому метр визначається за допомогою швидкості світла у вакуумі, $c = 299\,792\,458$ м/с, а не за довжиною хвилі випромінювання, що випромінюється криптоновим нуклідом ^{86}Kr. Спочатку метр визначався як сорокамільйонна частина земного меридіана (стандартний метр, Париж, 1875).

1 *кілограм* пов'язаний з дією, величина в теоретичній фізиці з одиницею кг · м^2 · с$^{-1}$. Разом з визначеннями секунди і метра це призводить до визначення кілограма через сталу Планка *h*.

1 *секунда* визначається як тривалість 9 192 631 770 періодів випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атомів нукліда ^{133}Cs (13-та CGPM, 1967[1]).

1 *ампер* – це сила струму, що відповідає потоку $1/(1{,}602176634 \cdot 10^{-19})$ елементарних зарядів (електронів) за секунду.

1 *кельвін* дорівнює зміні термодина-

change of thermal energy (kT) by $1.380649 \cdot 10^{-23}$ J.

1 *mole* is the amount of substance of a system that contains $6.02214076 \cdot 10^{23}$ specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or a group of such particles of precisely specified composition.

1 *candela* is the luminous intensity in a given direction of a source which emits monochromatic radiation of frequency $540 \cdot 10^{12}$ hertz and of which the radiant intensity in that direction is 1/683 watt per steradian (16th CGPM, 1979[1]).

[1]) *CGPM: Conférence Générale des Poids et Mesures (General Conference on Weights and Measures).*
[2]) *Fixed point on the international temperature scale. The triple point is the only point at which all three phases of water (solid, liquid and gaseous) are in equilibrium (at a pressure of 1013.25 hPa). This temperature of 273.16 K is 0.01 K above the freezing point of water (273.15 K).*

Decimal multiples and fractions of SI units

Decimal multiples and fractions of SI units are denoted by prefixes before the name of the unit or prefix symbols before the unit symbol. The prefix symbol is placed immediately in front of the unit symbol to form a coherent unit, such as the milligram (mg). Multiple prefixes, such as microkilogram (μkg), may not be used.

Prefixes are not to be used before the units angular degree, minute and second, the time units minute, hour, day and year, and the temperature unit *degree Celsius*.

мічної температури, яка призводить до зміни теплової енергії ($кT$) на $1{,}380649 \cdot 10^{-23}$ Дж.

1 *моль* – це кількість речовини системи, яка містить $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ заданих елементарних одиниць. Елементарною одиницею може бути атом, молекула, іон, електрон, будь-яка інша частинка або група таких частинок точно заданого складу.

1 *кандела* – це сила світла в заданому напрямку від джерела, яке випромінює монохроматичне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, і сила випромінювання якого в цьому напрямку становить 1/683 ват на стерадіан (16-та CGPM, 1979[1]).

[1]) *CGPM: Conférence Générale des Poids et Mesures (Генеральна конференція з мір і ваг).*
[2]) *Фіксована точка на міжнародній температурній шкалі. Потрійна точка – це єдина точка, в якій усі три фази води (тверда, рідка та газоподібна) перебувають у рівновазі (при тиску 1013,25 ГПа). Ця температура 273,16 K на 0,01 K вища за точку замерзання води (273,15 K).*

Десяткові кратні та частинні одиниць СІ

Десяткові кратні і частинні одиниць СІ позначаються префіксами перед назвою одиниці або префіксами перед символом одиниці. Префікс ставиться безпосередньо перед символом одиниці для утворення зв'язної одиниці, наприклад, міліграм (мг). Кілька префіксів, таких як мікрокілограм (мкг), не можуть використовуватися.

Префікси не повинні використовуватися перед одиницями кутового градуса, хвилини і секунди, одиницями часу хвилини, години, дня та року, а також одиницею температури *градусом Цельсія*.

Table 1.2 – Decimal multiples and fractions of Sl units.

Prefix	Prefix symbol	Power of ten	Name
atto	a	10^{-18}	trillionth
femto	f	10^{-15}	thousand billionth
pico	p	10^{-12}	billionth
nano	n	10^{-9}	thousand millionth
micro	μ	10^{-6}	millionth
milli	m	10^{-3}	thousandth
centi	c	10^{-2}	hundredth
deci	d	10^{-1}	tenth
deca	da	10^{1}	ten
hecto	h	10^{2}	hundred
kilo	k	10^{3}	thousand
mega	M	10^{6}	million
giga	G	10^{9}	milliard[1])
tera	T	10^{12}	billion[1])
peta	P	10^{15}	thousand billion
exa	E	10^{18}	trillion

Таблиця 1.2 – Десяткові кратні і частинні одиниць СІ.

Префікс	Символ префікса	Десяткова степінь	Назва
ато	а	10^{-18}	трильйонна
фемто	ф	10^{-15}	тисяча мільярдна
піко	п	10^{-12}	мільярдна
нано	н	10^{-9}	тисяча мільйонна
мікро	мк	10^{-6}	мільйонна
мілі	м	10^{-3}	тисячна
санти	с	10^{-2}	сота
деци	д	10^{-1}	десята
дека	да	10^{1}	десять
гекто	г	10^{2}	сто
кіло	к	10^{3}	тисяча
мега	М	10^{6}	мільйон
гіга	Г	10^{9}	мільярд[1)]
тера	Т	10^{12}	мільярд[1)]
пета	П	10^{15}	тисяча мільярдів
екса	Е	10^{18}	трильйон

[1]) *In the USA: 10^{9} = 1 billion, 10^{12} = 1 trillion.*

[1]) *У США: 10^{9} = 1 більйон, 10^{12} = 1 трильйон.*

1.2 Legal units

The Law on Units in Metrology of 2 July 1969 and the related implementing order of 26 June 1970 specify the use of «Legal units» in business and official

1.2 Дозволені одиниці

Закон про одиниці в метрології від 2 липня 1969 р. і відповідний наказ про його впровадження від 26 червня 1970 року визначають використання «Дозво-

transactions in Germany[2]).

Legal units are

- the SI units,
- decimal multiples and submultiples of the SI units,
- other permitted units; see the tables on the following pages.

Legal units are used in the Handbook. In many sections, values are also given in units of the technical system of units (e.g. in parentheses) to the extent considered necessary.

[2]) *Also valid: «Gesetz zur Änderung des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen» dated 6 July 1973; «Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung» dated 27 November 1973; «Zweite Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung» dated 12 December 1977.*

лених одиниць» у ділових і офіційних операціях у Німеччині[2]).

Дозволені одиниці – це:

- одиниці СІ,
- десяткові кратні і частинні одиниць СІ,
- інші дозволені одиниці; див. таблиці на наступних сторінках.

Дозволені одиниці використовуються в довіднику. У багатьох розділах значення також наведено в одиницях технічної системи одиниць (наприклад, у дужках), якщо це вважається необхідним.

[2]) *Також чинне: «Gesetz zur Änderung des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen» від 6 липня 1973 р.; «Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung» від 27 листопада 1973 р.; «Zweite Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung» від 12 грудня 1977 р.*

1.3 Systems of units not to be used

The physical system of units

Like the SI system of units, the physical system of units used the base quantities length, mass and time. However, the base units used for these quantities were the centimeter (cm), gram (g), and second (s) (CGS System).

The technical system of units

The technical system of units used the following base quantities and base units:

1.3 Невикористовувані системи одиниць

Фізична система одиниць

Як і система одиниць СІ, фізична система одиниць використовувала базові величини довжини, маси і часу. Однак базовими одиницями, що використовувалися для цих величин, були сантиметр (см), грам (г) і секунда (с) (система СГС).

Технічна система одиниць

У технічній системі одиниць використовувалися такі базові величини і базові одиниці:

Table 1.3 – The technical system of units.

Base quantity	Base unit	
	Name	Symbol
Length	meter	m
Force	kilopond	kp
Time	second	s

Таблиця 1.3 – Технічна система одиниць.

Основна величина	**Основна одиниця**	
	Назва	**Символ**
Довжина	метр	м
Сила	кілограм-сила	кгс
Час	секунда	с

Newton's Law,

Закон Ньютона

$$F = m \cdot a$$

provides the link between the international system of units and the technical system of units, where force due to weight G is substituted for F and acceleration of free fall g is substituted for a.

In contrast to mass, acceleration of free fall and therefore force due to weight depend upon location. The standard value of acceleration of free fall is defined as g_n = 9.80665 m/s^2 (DIN 1305). The approximate value g = 9.81 m/s^2 is generally acceptable in technical calculations.

1 kp is the force with which a mass of 1 kg exerts pressure on the surface beneath it at a place on the earth. With

забезпечує зв'язок між міжнародною системою одиниць і технічною системою одиниць, де сила ваги G замінюється на F, а прискорення вільного падіння g – на a.

На відміну від маси, прискорення вільного падіння, а отже, і сила, зумовлена вагою, залежать від місця розташування. Стандартне значення прискорення вільного падіння визначається як g_n = 9,80665 м/с^2 (DIN 1305). Приблизне значення g = 9,81 м/с^2 зазвичай прийнятне в технічних розрахунках.

1 кгс – це сила, з якою маса 1 кг тисне в певному місці на поверхню землі. Із

$$G = m \cdot g$$

thus

1 kp = 1 kg · 9.81 m/s^2 = 9.81 N.

таким чином,

1 кгс = 1 кг · 9,81 м/с^2 = 9,81 Н.

1.4 Quantities and units

Overview (from DIN 1301)

The following table gives a survey of the most important physical quantities and their standardized symbols, and includes a selection of the legal units specified for these quantities. Additional legal units can be formed by adding prefixes (see SI units) For this reason, the column «other units»

1.4 Величини і одиниці

Огляд (з DIN 1301)

У наступній таблиці наведено огляд найважливіших фізичних величин і їхніх стандартизованих символів, а також наведено вибірку дозволених одиниць вимірювання, зазначених для цих величин. Додаткові дозволені одиниці вимірювання можна утворити, додаючи префікси

only gives the decimal multiples and submultiples of the Sl units which have their own names. Units which are not to be used are given in the last column together with their conversion formulas.

(див. одиниці СІ). З цієї причини в колонці «інші одиниці» наведено лише десяткові кратні і часткові одиниці СІ, які мають власні назви. Одиниці, які не слід використовувати, наведено в останній колонці разом з формулами їх перетворення.

Length, area, volume
(see Conversion of units of length)

Довжина, площа, об'єм
(див. Перетворення одиниць довжини)

Table 1.4 – Length, area, volume.

Quantity and symbol		**Legal units**			**Relationship**	**Remarks and units not to be used, incl. their conversion**
		SI	**Others**	**Name**		
Length	*l*	m		meter		1 μ (micron) = 1 μm
			nm	inter-national nautical mile	1 nm = 1852 m	1 Å (ångström) = 10^{-10} m 1 XU (X-unit) ≈ 10^{-13} m 1 p (typograph. point) = 0.376 mm
Area	*A*	m^2		square meter		
			a	are	1 a = 100 m^2	
			ha	hectare	1 ha = 100 a = 10^4 m^2	
Volume	*V*	m^3		cubic meter		
			l, L	liter	1 l = 1 L = 1 dm^3	

Таблиця 1.4 – Довжина, площа, об'єм.

Величина і символ		**Дозволені одиниці**			**Співвідношення**	**Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення**
		СІ	**Інші**	**Назва**		
Довжина	*l*	м		метр		1 мк (мікрон) = 1 мкм
			м.миля	міжна-родна морська миля	1 м.миля = 1852 м	1 Å (ангстрем) = 10^{-10} м 1 ХО (Х-одиниця) ≈ 10^{-13} м 1 пункт (типограф. пункт) = 0,376 мм
Площа	*A*	$м^2$		квадрат-ний метр		
			а	ар	1 а = 100 $м^2$	
			га	гектар	1 га = 100 а = 10^4 $м^2$	
Об'єм	*V*	$м^3$		кубіч-ний метр		
			л	літр	1 л = 1 $дм^3$	

Angle
(see Conversion of units of angle)

Кут
(див. Перетворення одиниць кута)

Table 1.5 – Angle

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
(Plane) angle	α, β etc.	rad[1])		radian	1 rad = 1 m arc/1 m radius	1 ∟ (right angle) = 90°= (π/2) rad = = 100 gon
			°	degree	1 rad = 180°/π = 57.29	1 g (centesimal degree) = 1 gon
			'	minute	6° ≈ 57.3°	1 c (centesimal minute) = 1 cgon
			"	second	1° = 0.017453 rad	1 c c (centesimal second) = 0.1 mgon
			gon	gon	1° = 60' = 3600"	
					1 gon = (π/200) rad	
Solid angle	Ω	sr		steradian	1 sr = 1 m^2 spherical surface/1 m^2 sphere radius[2]	

Таблиця 1.5 – Кут

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
(Площина) кут	α, β etc.	рад[1])		радіан	1 рад = 1 м дуги/1 м радіуса	1 ∟ (прямий кут) = 90°= (π/2) рад = = 100 гон
			°	градус	1 рад = 180°/π =	1 g (сотенний градус) = 1 гон
			'	хвилина	= 57,296° ≈ 57.3°	1 с (сотенна хвилина) = 1 сгон
			"	секунда	1° = 0.017453 рад	1 с с (сотенна секунда) = 0,1 мгон
			гон	гон	1° = 60' = 3600"	
					1 гон = (π/200) рад	
Тілесний кут		ср		стерадіан	1 ср = 1 $м^2$ сферичної поверхні/ /1 $м^2$ радіуса сфери[2]	

[1]) *The unit rad can be replaced by the numeral 1 in calculations.*

[1]) *Одиницю рад можна замінити цифрою 1 при обчисленнях.*

Mass
(see Conversion of units of mass)

Маса
(див. Перетворення одиниць маси)

Table 1.6 – Mass.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Mass (weight)[2])	m	kg	g t	kilogram gram ton	1 t = 1 Mg = 10^3 kg	1 γ (gamma) = 1 µg 1 quintal = 100 kg 1 Kt (karat) = 0.2 g
Density	ρ	kg/m^3	kg/dm^3 kg/l g/cm^3		1 kg/dm^3 = 1 kg/l = = 1 g/cm^3 = = 1000 kg/m^3	Weight per unit volume γ (kp/dm^3 or p/cm^3). Conversion: The numerical value of the weight per unit volume in kp/dm^3 is roughly equal to the numerical value of the density in kg/dm^3
Moment of inertia (mass moment, 2nd order)	J	kg · m^2			$J = m \cdot i^2$ i = radius of gyration	Flywheel effect $G \cdot D^2$. Conversion: Numerical value of $G \cdot D^2$ in kp · m^2 = 4 × numerical value of J in kg · m^2

Таблиця 1.6 – Маса.

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
Маса (вага)[2])	m	кг	г т	кілограм грам тонна	1 т = 1 Мг = 10^3 кг	1 γ (гамма) = 1 мкг 1 квінтал = 100 кг 1 Кт (карат) = 0,2 г
Густина	ρ	кг/м^3	кг/дм^3 кг/л г/см^3		1 кг/дм^3 = 1 кг/л = = 1 г/см^3 = = 1000 кг/м^3	Вага на одиницю об'єму γ (кгс/дм^3 чи гс/см^3). Перетворення: Числове значення ваги на одиницю об'єму в кгс/дм^3 приблизно дорівнює числовому значенню густини в кг/дм^3
Момент інерції (масовий момент, 2-го порядку)	J	кг · м^2			$J = m \cdot i^2$ i = радіус інерції	Ефект маховика $G \cdot D^2$. Перетворення: Числове значення $G \cdot D^2$ у кгс · м^2 = 4 × числове значення J у кг · м^2

[2]) *The term «weight» is ambiguous in everyday usage; it is used to denote mass as well as weight (DIN 1305).*

[2]) *Термін «вага» неоднозначний у повсякденному вжитку; він використовується для позначення як маси, так і ваги (DIN 1305).*

Time quantities
(see Conversion of units of time)

Величини часу
(див. Перетворення одиниць часу)

Table 1.7 – Time quantities.

Quantity and symbol		**Legal units**			**Relationship**	**Remarks and units not to be used, incl. their conversion**
		SI	**Others**	**Name**		
Time, duration, interval	t	s	min h d a	second[1]) minute[1]) hour[1]) day year	1 min = 60 s 1 h = 60 min 1 d = 24 h	In the energy industry, one year is calculated at 8 760 hours
Frequency	f	Hz		hertz	1 Hz = 1/s	
Rotational speed (frequency of rotation)	n	s^{-1}	min^{-1}, 1/min		1 s^{-1} = 1/s 1 min^{-1} = 1/min = = (1/60) s^{-1}	min^{-1} and r/min (revolutions per minute) are still permissible for expressing rotational speed, but are better replaced by min^{-1} (1 min^{-1} = 1 r/min = 1 min^{-1})
Angular frequency $\omega = 2\pi \cdot f$	ω	s^{-1}				
Velocity	υ	m/s	km/h kn	 knot	1 km/h = (1/3.6) m/s 1 kn = 1 sm/h = = 1.852 km/h	
Acceleration	a	m/s^2			acceleration of free fall g	
Angular velocity	ω	rad/s^2)				
Angular acceleration	α, ε	rad/s^{22})				

Таблиця 1.7 – Величини часу.

Величина і символ		**Дозволені одиниці**			**Співвідношення**	**Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення**
		СІ	**Інші**	**Назва**		
Час, тривалість, інтервал	t	с	хв год д р	секунда[1]) хвилина[1]) година[1]) день рік	1 хв = 60 с 1 год = 60 хв 1 д = 24 год	В енергетичній галузі один рік обчислюється як 8 760 годин
Частота	f	Гц		герц	1 Гц = 1/с	
Швидкість	n	$с^{-1}$	$хв^{-1}$,		1 $с^{-1}$ = 1/с 1 $хв^{-1}$ = 1/хв =	$хв^{-1}$ і об/хв (оберти за хвилину) все ще допустимі

обертання (частота обертання)			1/хв		= (1/60) $с^{-1}$	для вираження швидкості обертання, але їх краще замінити на $хв^{-1}$ ($1\ хв^{-1} = 1$ об/хв $= 1\ хв^{-1}$)
Кутова частота $\omega = 2\pi \cdot f$	ω	$с^{-1}$				
Швидкість	υ	м/с	км/год вузол	вузол	1 км/год = (1/3,6) м/с 1 вузол = 1 см/год = = 1,852 км/год	
Прискорення	a	$м/с^2$			прискорення вільного падіння g	
Кутова швидкість	ω	рад/$с^2$)				
Кутове прискорення	α, ε	рад/$с^{22}$)				

[1]) *Clock time: h, m, s written as superscripts; example: $3^h\ 25^m\ 6^s$.*
[2]) *The unit rad can be replaced by the numeral 1 in calculations.*

[1]) *Час на годиннику: год, хв, с записуються як; приклад: 3 год 25 хв 6 с.*
[2]) *Одиницю вимірювання рад можна замінити цифрою 1 у розрахунках.*

Force, energy, power

(see Conversion of units of force, energy, power)

Сила, енергія, потужність

(див. Перетворення одиниць сили, енергії, потужності)

Table 1.8 – Force, energy, power.

Quantity and symbol		**Legal units**			**Relationship**	**Remarks and units not to be used, incl. their conversion**
		SI	**Others**	**Name**		
Force	F	N		newton	1 N = 1 kg · $м/с^2$	1 p (pond) = 9.80665 mN
due to weight	G	N				1 kp (kilopond) = = 9.80665 N ≈ 10 N
						1 dyn (dyne) = 10^{-5} N
Pressure, gen.	p	Pa		pascal	1 Pa = 1 $N/м^2$	1 at (techn. atmosphere) = = 1 $kp/см^2$ =
Absolute pressure	p_{abs}		bar	bar	1 bar = 10^5 Pa = = 10 $N/см^2$	= 0.980665 bar ≈ 1 bar
Atmospheric pressure	p_{amb}				1 μbar = 0.1 Pa 1 mbar = 1 hPa	1 atm (physical atmosphere) = = 1.01325 bar[1])
Gauge pressure	p_e = $= p_{abs} - p_{amb}$	Gauge pressure etc. is no longer denoted by the unit symbol, but rather by a formula symbol. Negative pressure is given as negative gauge pressure. Examples:				1 mm w.g. (water gauge) = 1 $kp/м^2$ = = 0.0980665 hPa ≈ ≈ 0.1 hPa 1 torr = 1 mm Hg (mercury
		previously		now		

		3 atü 10 ata 0.4 atu		p_e = 2.94 bar ≈ 3 bar p_{abs} = 9.81 bar ≈ 10 bar p_e = –0.39 bar ≈ –0.4 bar		column) = 1.33322 hPa dyn/cm^2 = 1 μbar
Mecha-nical stress	σ , τ	N/m^2	N/mm^2		1 N/m^2 = 1 Pa 1 N/mm^2 = 1 MPa	1 kp/mm^2 = 9.81 N/mm^2 ≈ ≈ 10 N/mm^2 1 kp/cm^2 ≈ 0.1 N/mm^2
Hardness (see Materials)		Brinell and Vickers hardness are no longer given in kp/mm^2. Instead, an abbreviation of the relevant hardness scale is written as the unit after the numerical value used previously (including an indication of the test force etc. where applicable).				Examples: previously: HB = 350 kp/mm^2 now: 350 HB previously: HV30 = 720 kp/mm now: 720 HV30 previously: HRC = 60 now: 60 HRC
Energy, work	E , W	J		joule	1 J = 1 N · m = 1 W · s = 1 kg m^2/s^2	1 kp · m (kilopondmeter) = 9.81 J ≈ 10 J
Heat, Quantity of heat (see Conversion of units of heat)	Q		W · s	watt-second		1 HP · h (horsepower-hour) = 0.7355 kW · h ≈ ≈ 0.74 kW · h
			kW · h	kilowatt-hour	1 kW · h = 3.6 MJ	1 erg (erg) = 10^{-7} J
			eV	electron-volt	1 eV = = 1.60219 · 10^{-19} J	1 kcal (kilocalorie) = = 4.1868 kJ ≈ 4.2 kJ 1 cal (calorie) = = 4.1868 J ≈ 4.2 J
Torque	M	N · m		newtonmeter		1 kp · m (kilopondmeter) = = 9.81 N · m ≈ 10 N · m
Power Heat flow (see Conversion of units of power)	P Q , Φ	W		watt	1 W = 1 J/s = = 1 N · m/s	1 kp · m/s = 9.81 W ≈ ≈ 10 W 1 HP (horsepower) = = 0.7355 kW ≈ 0.74 kW 1 kcal/s = 4.1868 kW ≈ ≈ 4.2 kW 1 kcal/h = 1.163 W

Таблиця 1.8 – Сила, енергія, потужність.

Величина і символ		**Дозволені одиниці**			**Співвідношення**	**Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення**
		СІ	**Інші**	**Назва**		
Сила під дією ваги	F G	Н Н		ньютон	1 Н = 1 кг · м/с^2	1 гс (грам-сила) = = 9,80665 мН 1 кгс (кілограм-сила) = = 9,80665 Н ≈ 10 Н 1 дин (дин) = 10^{-5} Н
Тиск загаль-	p	Па		паскаль	1 Па = 1 Н/м^2	1 ат (технічна атмосфера) =

ний. Абсолютний тиск Атмосферний тиск	p_{abs} p_{amb}		бар	бар	1 бар = 10^5 Па = $= 10$ Н/см^2 1 мкбар = 0,1 Па 1 мбар = 1 гПа	= 1 кгс/см^2 = $= 0{,}980665$ бар ≈ 1 бар 1 атм (фізична атмосфера) = $= 1{,}01325$ бар[1]) 1 мм вод. ст. (водяний стовпчик) = 1 кгс/м^2 = $= 0{,}0980665$ гПа ≈ ≈ 0,1 гПа 1 торр = 1 мм рт. ст. (ртутний стовпчик) = 1,33322 гПа дин/см^2 = 1 мкбар
Манометричний тиск	$p_e =$ $= p_{abs} - p_{amb}$	Манометричний тиск тощо, більше не позначається символом одиниці виміру, а символом формули. Негативний тиск позначається як негативний манометричний тиск. Приклади: раніше: 3 атм; 10 атм; 0,4 атм зараз: $p_e =$ 2,94 бар ≈ 3 бар; $p_{abs} =$ 9,81 бар ≈ 10 бар; $p_e =$ –0,39 бар ≈ –0,4 бар			
Механічне напруження	σ , τ	Н/м^2	Н/мм^2		1 Н/м^2 = 1 Па 1 Н/мм^2 = 1 МПа	1 кгс/мм^2 = 9,81 Н/мм^2 ≈ ≈ 10 Н/мм^2 1 кгс/см^2 ≈ 0,1 Н/мм^2
Твердість (див. Матеріали)		Твердість за Брінеллем і Віккерсом більше не вказана в кгс/мм^2. Натомість, після числового значення, що використовувалося раніше (включаючи зазначення випробувального зусилля тощо, де це можливо) записується як одиниця вимірювання скорочення відповідної шкали твердості.				Приклади: раніше: НВ = 350 кгс/мм^2 зараз: 350 НВ раніше: HV30 = 720 кгс/мм зараз: 720 HV30 раніше: HRC = 60 зараз: 60 HRC
Енергія, Робота	E , W	Дж		джоуль	1 Дж = 1 Н · м = $= 1$ Вт · с = $= 1$ кг м^2/с^2	1 кгс · м (кілограм-сила метр) = $= 9{,}81$ Дж ≈ 10 Дж
Тепло, Кількість тепла (див. Перетворення одиниць тепла)	Q		Вт · с кВт · · год еВ	ват-секунда кіловат-година електрон-вольт	 1 кВт · год = $= 3{,}6$ МДж 1 еВ = $= 1{,}60219 \cdot$ $\cdot 10^{-19}$ Дж	1 к.с. · год (кінська сила-година) = $= 0{,}7355$ кВт · год ≈ ≈ 0,74 кВт · год 1 ерг (ерг) = 10^{-7} Дж 1 ккал (кілокалорія) = $= 4{,}1868$ кДж ≈ 4,2 кДж 1 кал (калорія) = $= 4{,}1868$ Дж ≈ 4,2 Дж
Крутний момент	M	Н · м		ньютон метр		1 кгс · м (кілограм-сила метр) = $= 9{,}81$ Н · м ≈ 10 Н · м
Потужність Тепловий потік (див.	P Q , Ф	Вт		ват	1 Вт = 1 Дж/с = $= 1$ Н · м/с	1 кгс · м/с = 9,81 Вт ≈ ≈ 10 Вт 1 к.с. (кінська сила) = $= 0{,}7355$ кВт ≈ 0,74 кВт 1 ккал/с = 4,1868 кВт ≈ ≈ 4,2 кВт

Перетворення одиниць потужності)	1 ккал/год = 1,163 Вт

[1]) *1.01325 bar = 1013.25 hPa = 760 mm mercury column is the standard value for atmospheric pressure.*

[1]) *1,01325 бар = 1013,25 гПа = 760 мм ртутного стовпа – це стандартне значення атмосферного тиску.*

Viscosimetric quantities
(see Conversion of units of viscosity)

Віскозиметричні величини
(див. Перетворення одиниць в'язкості)

Table 1.9 – Viscosimetric quantities.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Dynamic viscosity	η	Pa · s		Pascal-second	1 Pa · s = 1 N s/m^2 = = 1 kg/(s · m)	1 P (poise) = 0.1 Pa · s 1 cP (centipoise) = 1 mPa · s
Kinematic viscosity	ν	m^2/s			1 m^2/s = = 1 Pa · s/(kg/m^3)	1 St (stokes) = 10^{-4} m^2/s = = 1 cm^2/s 1 cSt (centistokes) = 1 mm^2/s

Таблиця 1.9 – Віскозиметричні величини.

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
Динамічна в'язкість	η	Па · с		Паскаль-секунда	1 Па · с = 1 Н с/м^2 = = 1 кг/(с · м)	1 П (пуаз) = 0,1 Па · с 1 сП (сантипуаз) = = 1 мПа · с
Кінематична в'язкість	ν	м^2/с			1 м^2/с = = 1 Па · с/(кг/м^3)	1 Ст (стокс) = 10^{-4} м^2/с = = 1 см^2/с 1 сСт (сантистокс) = = 1 мм^2/с

Temperature and heat
(see Conversion of units of temperature)

Температура і теплота
(див. Перетворення одиниць температури)

Table 1.10 – Temperature and heat.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Temperature	T t	K	°C	kelvin degree Celsius	t = = (T – 273.15) °C/K	

Temperature difference	ΔT Δt	K	°C	kelvin degree Celsius	1 K = 1 °C	
		In the case of composite units, express temperature differences in K, e.g. kJ/(m · h · K); tolerances for temperatures in degree Celsius, e.g. are written as follows: t = (40 ± 2) °C or t = 40 °C ± 2 °C or t = 40 °C ± 2 K.				
Refer to Table 1.8. for Quantity of heat and heat flow.						
Specific heat capacity (spec. heat)	c	J/(kg · · K)				1 kcal/(kg · grd) = = 4.187 kJ/(kg · K) ≈ ≈ 4.2 kJ/(kg · K)
Thermal conductivity	λ	W/(m · · K)				1 kcal/(m · h · grd) = = 1.163 W/(m · K) ≈ ≈ 1.2 W/(m · K) 1 cal/(cm · s · grd) = = 4.187 W/(cm · K) 1 W/(m · K) = = 3.6 kJ/(m · h · K)

Таблиця 1.10 – Температура і теплота.

Величина і символ		**Дозволені одиниці**			**Співвідношення**	**Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення**
		СІ	**Інші**	**Назва**		
Температура	T t	K	°C	кельвін градус Цельсія	t = = (T – 273.15) °C/K	
Різниця температур	ΔT Δt	K	°C	кельвін градус Цельсія	1 K = 1 °C	
		У випадку складених одиниць, виразіть різницю температур у K, наприклад, кДж/(м · год · K); допуски для температур у градусах Цельсія, наприклад, записуються так: t = (40 ± 2) °C чи t = 40 °C ± 2 °C або t = 40 °C ± 2 K.				
Див. Таблиця 1.8. щодо Кількості теплоти і теплового потоку.						
Питома теплоємність	c	Дж/(кг· · K)				1 ккал/(кг · град) = = 4,187 кДж/(кг · K) ≈ ≈ 4,2 кДж/(кг · K)
Теплопровідність	λ	Вт/(м · · K)				1 ккал/(м · год · град) = = 1,163 Вт/(м · K) ≈ ≈ 1,2 Вт/(м · K) 1 кал/(см · с · град) = = 4,187 Вт/(см · K) 1 Вт/(м · K) = = 3,6 кДж/(м · год · K)

Electrical quantities
(see Electrical engineering)

Електричні величини
(див. Електротехніка)

Table 1.11 – Electrical quantities.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Electric current	I	A		ampere		
Electric potential	V	V		volt	1 V = 1 W/A	
Electric conductance	G	S		siemens	1 S = 1 A/V = 1/Ω	
Electric resistance	R	Ω		ohm	1 Ω = 1/S = 1 V/A	
Quantity of electricity, Electric charge	Q, q	C		coulomb	1 C = 1 A · s	
			A · h	ampere hour	1 A · h = 3600 C	
Electric capacitance	C	F		farad	1 F = 1 C/V	
Electric flux density, Displacement	D	C/m^2				
Electric field strength	E	V/m				

Таблиця 1.11 – Електричні величини.

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
Електричний струм	I	А		ампер		
Електричний потенціал	V	В		вольт	1 В = 1 Вт/А	
Електропровідність	G	См		сіменс	1 См = 1 А/В = 1/Ом	
Електричний опір	R	Ом		ом	1 Ом = 1/См = 1 В/А	
Кількість	Q,	Кл		кулон	1 Кл = 1 А · с	

елек-трики, Електричний заряд	*q*		А · год	ампер-година	1 А · год = 3600 Кл
Електрична ємність	*C*	Ф		фарад	1 Ф = 1 Кл/В
Густина електричного потоку, Зміщення	*D*	Кл/м^2			
Напруженість електричного поля	*E*	В/м			

Magnetic quantities
(see Electrical engineering)

Магнітні величини
(див. Електротехніка)

Table 1.12 – Magnetic quantities

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Magnetic flux	Ф	Wb		weber	1 Wb = 1 V · s	1 M (maxwell) = 10^{-8} Wb
Magnetic flux density, Induction	*B*	T		tesla	1 T = 1 Wb/m^2	1 G (gauss) = 10^{-4} T
Inductance	*L*	H		henry	1 H = 1 Wb/A	
Magnetic field strength	*H*	A/m			1 A/m = 1 N/Wb	1 Oe (oersted) = = $10^3/(4\,\pi)$ A/m = 79.58 A/m

Таблиця 1.12 – Магнітні величини

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
Магнітний потік	Ф	Вб		вебер	1 Вб = 1 В · с	1 М (максвелла) = 10^{-8} Вб
Густина магнітного потоку, Індукція	*B*	Тл		тесла	1 Тл = 1 Вб/м^2	1 Гс (гаус) = 10^{-4} Тл
Індуктивність	*L*	Гн		генрі	1 Гн = 1 Вб/А	

Напру-женість магніт-ного поля	*H*	А/м		1 А/м = 1 Н/Вб	1 Е (ерстед) = $= 10^3/(4\,\pi)$ А/м = 79,58 А/м

Photometric quantities and units (see Technical optics)

Фотометричні величини і одиниці (див. Технічна оптика)

Table 1.13 – Photometric quantities and units.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Luminous intensity	*I*	cd		candela[1])		
Luminan-ce	*L*	cd/m^2				1 sb (stilb) = 10^4 cd/m^2 1 asb (apostilb) = $1/\pi$ cd/m^2
Luminous flux	Ф	lm		lumen	1 lm = 1 cd · sr (sr = steradian)	
Illuminan-ce	*E*	lx		lux	1 lx = 1 lm/m^2	

Таблиця 1.13 – Фотометричні величини і одиниці.

Величина і символ		Дозволені одиниці СІ	Інші	Назва	Співвідношення	Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення
Сила світла	*I*	кд		кандела[1])		
Яскра-вість	*L*	$кд/м^2$				1 сб (стильб) = 10^4 $кд/м^2$ 1 асб (апостильб) = $= 1/\pi$ $кд/м^2$
Світло-вий потік	Ф	лм		люмен	1 лм = 1 кд · ср (ср = стерадіан)	
Освітле-ність	*E*	лк		люкс	1 лк = 1 $лм/м^2$	

[1]) *The stress is on the second syllable: the candela.*

[1]) *Наголос падає на другий склад: кандела*

Quantities used in atom physics and other fields

Величини атомної фізики і інших галузей

Table 1.14 – Quantities used in atom physics and other fields.

Quantity and symbol		Legal units SI	Others	Name	Relationship	Remarks and units not to be used, incl. their conversion
Energy	*W*		eV	electron-	1 eV =	

			volt	= 1.60219 · 10^{-19} J 1 MeV = 10^6 eV	
Activity of a radio-active substance	*A*	Bq	becquerel	1 Bq = 1 s^{-1}	1 Ci (curie) = 3.7 · 10^{10} Bq
Absorbed dose	*D*	Gy	gray	1 Gy = 1 J/kg	1 rd (rad) = 10^{-2} Gy
Dose equivalent	*Dq*	Sv	sievert	1 Sv = 1 J/kg	1 rem (rem) = 10^{-2} Sv
Absorbed dose rate	$\dot{D}$			1 Gy/s = 1 W/kg	
Ion dose	*J*	C/kg			1 R (röntgen) = = 258 · 10^{-6} C/kg
Ion dose rate	*j*	A/kg			
Amount of substance	*n*	mol	mole		

Таблиця 1.14 – Величини атомної фізики та інших галузей.

Величина і символ		**Дозволені одиниці**			**Співвідношення**	**Примітки та одиниці, які не слід використовувати, включаючи їх перетворення**
		СІ	**Інші**	**Назва**		
Енергія	*W*		еВ	електрон-вольт	1 еВ = = 1,60219 · 10^{-19} Дж 1 МеВ = 10^6 еВ	
Активність радіоактивної речовини	*A*	Бк		бекерель	1 Бк = 1 $с^{-1}$	1 Кі (кюрі) = 3,7 · 10^{10} Бк
Поглинена доза	*D*	Гр		грей	1 Гр = 1 Дж/кг	1 рд (рад) = 10^{-2} Гр
Еквівалент дози	*Dq*	Sv		зіверт	1 Зв = 1 Дж/кг	1 рем (рем) = 10^{-2} Зв
Потужність поглиненої дози	$\dot{D}$				1 Гр/с = 1 Вт/кг	
Доза іонів	*J*	Кл/кг				1 Р (рентген) = = 258 · 10^{-6} Кл/кг
Потужність дози іонів	*j*	А/кг				
Кількість речовини	*n*	моль		моль		

2

Conversion of units

2.1 Units of length
Other British and American units of length

Astronomical units
Do not use

2.2 Units of area
Paper sizes

2.3 Units of volume
Other units of volume
Great Britain (UK)
United States (US)
Volume of ships

2.4 Units of angle

2.5 Velocities

2.6 Fuel consumption

2.7 Units of mass
Avoirdupois system
Troy system and Apothecaries' system
Mass per unit length

Перетворення одиниць

2.1 Одиниці довжини
Інші британські і американські одиниці довжини
Астрономічні одиниці
Не використовуйте

2.2 Одиниці площі
Розміри паперу

2.3 Одиниці об’єму
Інші одиниці об’єму
Велика Британія (ОК)
Сполучені Штати (СШ)
Об’єм суден

2.4 Одиниці кута

2.5 Швидкості

2.6 Витрата палива

2.7 Одиниці маси
Система евердьюпойс
Тройська система і аптекарська система
Маса на одиницю довжини

Density	Густина
2.8 Units of force	**2.8 Одиниці сили**
2.9 Units of pressure and stress	**2.9 Одиниці тиску і напруження**
2.10 Units of energy	**2.10 Одиниці енергії**
2.11 Units of power	**2.11 Одиниці потужності**
2.12 Units of temperature	**2.12 Одиниці температури**
Temperature points	Температурні точки
Temperature difference	Різниця температур
2.13 Units of viscosity	**2.13 Одиниці в'язкості**
Legal units of kinematic viscosity *v*	Допустимі одиниці кінематичної в'язкості *v*
British and American units	Британські і американські одиниці
Do not use	Не використовуйте
Conventional units	Умовні одиниці
2.14 Units of time	**2.14 Одиниці часу**
Clock times	Час за годинником

Chapter 2
Conversion of units

Розділ 2
Перетворення одиниць

2.1 Units of length

2.1 Одиниці довжини

Table 2.1 – Units of length.

Unit		XU	pm	Å	nm	µm	mm	cm	dm	m	km
1 XU	≈	1	10^{-1}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	–
1 pm	=	10	1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	–
1 Å	=	10^{3}	10^{2}	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	–
1 nm	=	10^{4}	10^{3}	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}
1 µm	=	10^{7}	10^{6}	10^{4}	10^{3}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}
1 mm	=	10^{10}	10^{9}	10^{7}	10^{6}	10^{3}	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}
1 cm	=	10^{11}	10^{10}	10^{8}	10^{7}	10^{4}	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}
1 dm	=	10^{12}	10^{11}	10^{9}	10^{8}	10^{5}	10^{2}	10	1	10^{-1}	10^{-4}
1 m	=	–	10^{12}	10^{10}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10	1	10^{-3}
1 km	=	–	–	–	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	10^{3}	1

Таблиця 2.1 – Одиниці довжини.

Одиниця		XO	пм	Å	нм	мкм	мм	см	дм	м	км
1 XO	≈	1	10^{-1}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	–
1 пм	=	10	1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	–
1 Å	=	10^{3}	10^{2}	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	–
1 нм	=	10^{4}	10^{3}	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}
1 мкм	=	10^{7}	10^{6}	10^{4}	10^{3}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}
1 мм	=	10^{10}	10^{9}	10^{7}	10^{6}	10^{3}	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}
1 см	=	10^{11}	10^{10}	10^{8}	10^{7}	10^{4}	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}
1 дм	=	10^{12}	10^{11}	10^{9}	10^{8}	10^{5}	10^{2}	10	1	10^{-1}	10^{-4}
1 м	=	–	10^{12}	10^{10}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10	1	10^{-3}
1 км	=	–	–	–	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	10^{3}	1

Do not use XU (X-unit) and Å (Ångström)

Не використовуйте XO (X-одиниця) і Å (Ангстрем)

Table 2.2 – Units of length.

Unit		in	ft	yd	mile	n mile	mm	m	km
1 in	=	1	0.08333	0.02778	–	–	25.4	0.0254	–
1 ft	=	12	1	0.33333	–	–	304.8	0.3048	–
1 yd	=	36	3	1	–	–	914.4	0.9144	–
1 mile	=	63 360	5 280	1 760	1	0.86898	–	1 609.34	1.609
1 n mile[1])	=	72 913	6 076.1	2 025.4	1.1508	1	–	1 852	1.852
1 mm	=	0.03937	$3.281 \cdot 10^{-3}$	$1.094 \cdot 10^{-3}$	–	–	1	0.001	10^{-6}
1 m	=	39.3701	3.2808	1.0936	–	–	1 000	1	0.001
1 km	=	39 370	3 280.8	1 093.6	0.62137	0.53996	10^{6}	1 000	1

Таблиця 2.2 – Одиниці довжини.

Одиниця		дюйм	фут	ярд	миля	м.миля	мм	м	км
1 дюйм	=	1	0,08333	0,02778	–	–	25,4	0,0254	–
1 фут	=	12	1	0,33333	–	–	304,8	0,3048	–
1 ярд	=	36	3	1	–	–	914,4	0,9144	–
1 миля	=	63 360	5 280	1 760	1	0,86898	–	1 609,34	1,609
1 м.миля[1])	=	72 913	6 076,1	2 025,4	1,1508	1	–	1 852	1,852
1 мм	=	0,03937	$3{,}281 \cdot 10^{-3}$	$1{,}094 \cdot 10^{-3}$	–	–	1	0,001	10^{-6}
1 м	=	39,3701	3,2808	1,0936	–	–	1 000	1	0,001
1 км	=	39 370	3 280,8	1 093,6	0,62137	0,53996	10^6	1 000	1

[1]) *1 n mile = 1 nm = 1 international nautical mile ≈ 1 arc minute of the degree of longitude. 1 knot = 1 n mile/h = 1.852 km/h.*

[1]) *1 м.миля = 1 міжнародна морська миля ≈ 1 дугова хвилина градуса довготи. 1 вузол = 1 м.миля/год = 1,852 км/год.*

in = inch, ft = foot, yd = yard, mile = statute mile, n mile = nautical mile

дюйм, фут, ярд (немає скорочення), миля = статутна миля, м.миля = морська миля

Other British and American units of length

1 μin (microinch) = 0.0254 μm,
1 mil (milliinch) = 0.0254 mm,
1 link = 201.17 mm,
1 rod = 1 pole = 1 perch = 5.5 yd = 5.0 292 m,
1 chain = 22 yd = 20.1168 m,
1 furlong = 220 yd = 201.168 m,
1 fathom = 2 yd = 1.8288 m.

Інші британські і американські одиниці довжини

1 мкдюйм (мікродюйм) = = 0,0254 мкм,
1 мдюйм (мілідюйм) = 0,0254 мм,
1 лінк = 201,17 мм,
1 род = 1 поль = 1 перч = 5,5 ярда = = 5,0292 м,
1 чейн = 22 ярди = 20,1168 м,
1 фурлонг = 220 ярдів = 201,168 м,
1 фатом = 2 ярди = 1,8288 м.

Astronomical units

1 l.y. (light year) = $9.46053 \cdot 10^{15}$ m (distance traveled by electromagnetic waves in 1 year),
1 AU (astronomical unit) = = $1.496 \cdot 10^{11}$ m (mean distance from earth to sun),
1 pc (parsec, parallax second) = = 206 265 AU = $3.0857 \cdot 10^{16}$ m (distance at which the AU subtends an angle of one second of arc).

Астрономічні одиниці

1 св.р. (світловий рік) = = $9{,}46053 \cdot 10^{15}$ м (відстань, яку проходять електромагнітні хвилі за 1 рік),
1 а.о. (астрономічна одиниця) = = $1{,}496 \cdot 10^{11}$ м (середня відстань від Землі до Сонця),
1 пк (парсек, паралакс-секунда) = = 206 265 а.о. = $3{,}0857 \cdot 10^{16}$ м (відстань, на якій а.о. утворює кут в одну дугову секунду).

Do not use

1 line (watch & clock making) = 2.256 mm,
1 p (typographical point) = 0.376 mm,
1 German mile = 7 500 m,
1 geographical mile = 7 420.4 m (≈ 4 arc minutes of equator).

Не використовуйте

1 лінія (годинникове виробництво) = = 2,256 мм,
1 пт (типографський пункт) = = 0,376 мм,
1 Німецька миля = 7 500 м,
1 географічна миля = 7 420,4 м (≈ 4 кутові хвилини екватора).

2.2 Units of area

2.2 Одиниці площі

Table 2.3 – Units of area.

Unit		in^2	ft^2	yd^2	acre	$mile^2$	cm^2	m^2	a	ha	km^2
1 in^2	=	1	–	–	–	–	6.4516	–	–	–	–
1 ft^2	=	144	1	0.1111	–	–	929	0.0929	–	–	–
1 yd^2	=	1 296	9	1	–	–	8 361	0.8361	–	–	–
1 acre	=	–	–	4 840	1	0.16	–	4 047	40.47	0.40	–
1 $mile^2$	=	–	–	–	6.40	1	–	–	–	259	2.59
1 cm^2	=	0.155	–	–	–	–	1	0.01	–	–	–
1 m^2	=	1 550	10.76	1.196	–	–	10 000	1	0.01	–	–
1 a	=	–	1 076	119.6	–	–	–	100	1	0.01	–
1 ha	=	–	–	–	2.47	–	–	10 000	100	1	0.01
1 km^2	=	–	–	–	247	0.3861	–	–	10 000	100	1

Таблиця 2.3 – Одиниці площі.

Оди-ниця		$дюйм^2$	$фут^2$	$ярд^2$	акр	$миля^2$	$см^2$	$м^2$	а	га	$км^2$
1 $дюйм^2$	=	1	–	–	–	–	6,4516	–	–	–	–
1 $фут^2$	=	144	1	0,1111	–	–	929	0,0929	–	–	–
1 $ярд^2$	=	1 296	9	1	–	–	8 361	0,8361	–	–	–
1 акр	=	–	–	4 840	1	0,16	–	4 047	40,47	0,40	–
1 $миля^2$	=	–	–	–	6,40	1	–	–	–	259	2,59
1 $см^2$	=	0,155	–	–	–	–	1	0,01	–	–	–
1 $м^2$	=	1 550	10,76	1,196	–	–	10 000	1	0,01	–	–
1 а	=	–	1 076	119,6	–	–	–	100	1	0,01	–
1 га	=	–	–	–	2,47	–	–	10 000	100	1	0,01
1 $км^2$	=	–	–	–	247	0,3861	–	–	10 000	100	1

in^2 = square inch (sq in),
ft^2 = square foot (sq ft),
yd^2 = square yard (sq yd),
$mile^2$ = square mile (sq mile).

$дюйм^2$ = квадратний дюйм (кв. дюйм),
$фут^2$ = квадратний фут (кв. фут),
$ярд^2$ = квадратний ярд (кв. ярд),
$миля^2$ = квадратна миля (кв. миля).

Paper sizes
(DIN 476)

Dimensions in mm

A 0	841 × 1189
A 1	594 × 841
A 2	420 × 594
A 3	297 × 420
A 4	210 × 297[1])
A 5	148 × 210
A 6	105 × 148
A 7	74 × 105
A 8	52 × 74
A 9	37 × 52
A 10	26 × 37

[1]) *Customary format in USA: 216 mm × 279 mm*

Розміри паперу
(DIN 476)

Розміри в мм

[1]) *Звичайний формат у США: 216 мм × 279 мм*

2.3 Units of volume

Table 2.4 – Units of volume.

Unit		in^3	ft^3	yd^3	gal (UK)	gal (US)	cm^3	dm^3(l)	m^3
1 in^3	=	1	–	–	–	–	16.3871	0.01639	–
1 ft^3	=	1 728	1	0.03704	6.229	7.481	–	28.3168	0.02832
1 yd^3	=	46 656	27	1	168.18	201.97	–	764.555	0.76456
1 gal (UK)	=	277.42	0.16054	–	1	1.20095	4 546.09	4.54609	–
1 gal (US)	=	231	0.13368	–	0.83267	1	3 785.41	3.78541	–
1 cm^3	=	0.06102	–	–	–	–	1	0.001	–
1 dm^3 (l)	=	61.0236	0.03531	0.00131	0.21997	0.26417	1 000	1	0.001
1 m^3	=	61 023.6	35.315	1.30795	219.969	264.172	10^6	1 000	1

2.3 Одиниці об’єму

Таблиця 2.4 – Одиниці об’єму.

Одиниця		$дюйм^3$	$фут^3$	$ярд^3$	галон (ОК)	галон (СШ)	$см^3$	$дм^3$ (л)	$м^3$
1 дюйм in^3	=	1	–	–	–	–	16,3871	0,01639	–
1 фут ft^3	=	1 728	1	0,03704	6,229	7,481	–	28,3168	0,02832
1 ярд yd^3	=	46 656	27	1	168,18	201,97	–	764,555	0,76456
1 галон (UK)	=	277,42	0,16054	–	1	1,20095	4 546,09	4,54609	–
1 галон (US)	=	231	0,13368	–	0,83267	1	3 785,41	3,78541	–
1 $см^3$	=	0,06102	–	–	–	–	1	0,001	–
1 $дм^3$ (л)	=	61,0236	0,03531	0,00131	0,21997	0,26417	1 000	1	0,001
1 $м^3$	=	61 023,6	35,315	1,30795	219,969	264,172	10^6	1 000	1

in^3 = cubic inch (cu in),
ft^3 = cubic foot (cu ft),
yd^3 = cubic yard (cu yd),
gal = gallon.

Other units of volume

Great Britain (UK)

1 fl oz (fluid ounce) = 0.028413 l
1 pt (pint) = 0.56826 l,
1 qt (quart) = 2 pt = 1.13652 l,
1 gal (gallon) = 4 qt = 4.5461 l,
1 bbl (barrel) = 36 gal = 163.6 l,
Units of dry measure:
1 bu (bushel) = 8 gal = 36.369 l.

United States (US)

1 fl oz (fluid ounce) = 0.029574 l
1 liq pt (liquid pint) = 0.47318 l
1 liq quart = 2 liq pt = 0.94635 l
1 gal (gallon) = 231 in^3 = 4 liq quarts = 3.7854 l
1 liq bbl (liquid barrel) = 119.24 l
1 barrel petroleum[1]) = 42 gal =
= 158.99 l
Units of dry measure:
1 bushel = 35.239 dm^3

[1]) *For crude oil.*

Volume of ships

1 RT (register ton) = 100 ft^3 =
= 2.832 m^3
GRT (gross RT) = total shipping space
NRT (net RT) = cargo space of a ship
GTI (gross tonnage index) = total volume of ship (shell) in m^3.
1 ocean ton = 40 ft^3 = 1.1327 m^3.

дюйм^3 = кубічний дюйм (куб. дюйм),
фут^3 = кубічний фут (куб. фут),
ярд^3 = кубічний ярд (куб. ярд).

Інші одиниці об'єму

Велика Британія (ОК)

1 рідка унція (рідка унція) =
= 0,028413 л
1 пінта = 0,56826 л,
1 кварта = 2 пінти = 1,13652 л,
1 галон = 4 кварти = 4,5461 л,
1 барель = 36 галонів =163,6 л,
Одиниці вимірювання сухого матеріалу:
1 бушель = 8 галонів = 36,369 л.

Сполучені Штати (СШ)

1 рідка унція = 0,029574 л
1 рідка пінта = 0,47318 л
1 рідка кварта =
= 2 рідкі пінти = 0,94635 л
1 галон = 231 дюйм^3 = 4 рідкі кварти = 3,7854 л
1 рідкий барель = 119,24 л
1 барель нафти[1]) = 42 галони =
= 158,99 л
Одиниці вимірювання сухої нафти:
1 бушель = 35,239 дм^3

[1]) *Для сирої нафти.*

Об'єм суден

1 РТ (реєстрова тонна) =
= 100 футів^3 = 2,832 м^3
БРТ (валова, брутто РТ) = загальний об'єм судна
НРТ (нетто РТ) = вантажний простір судна.
БТІ (індекс брутто тоннажа) =
= загальний об'єм судна (корпусу) в м^3
1 океанська тонна = 40 футів =
= 1,1327 м^3.

2.4 Units of angle

Table 2.5 – Units of angle.

Unit[2])	=	°	'	"	rad	gon	cgon	mgon
1°	=	1	60	3600	0.017453	1.1111	111.11	1111.11
1'	=	0.016667	1	60	–	0.018518	1.85185	18.5185
1"	=	0.0002778	0.016667	1	–	0.0003086	0.030864	0.30864
1 rad	=	57.2958	3437.75	206 265	1	63.662	6 366.2	63 662
1 gon	=	0.9	54	3 240	0.015708	1	100	1 000
1 cgon	=	0.009	0.54	32.4	–	0.01	1	10
1 mgon	=	0.0009	0.054	3.24	–	0.001	0.1	1

[2]) *It is better to indicate angles by using only one of the units given above, i.e. not* $\alpha = 33° 17' 27.6''$ *but rather* $\alpha = 33.291°$ *or* $\alpha = 1997.46'$ *or* $\alpha = 119847.6''$.

2.4 Одиниці кута

Таблиця 2.5 – Одиниці кута.

Одиниця[2])	=	°	'	"	рад	гон	сгон	мгон
1°	=	1	60	3600	0,017453	1,1111	111,11	1111,11
1'	=	0,016667	1	60	–	0,018518	1,85185	18,5185
1"	=	0,0002778	0,016667	1	–	0,0003086	0,030864	0,30864
1 рад	=	57,2958	3437,75	206 265	1	63,662	6 366,2	63 662
1 гон	=	0,9	54	3 240	0,015708	1	100	1 000
1 сгон	=	0,009	0,54	32,4	–	0,01	1	10
1 мгон	=	0,0009	0,054	3,24	–	0,001	0,1	1

[2]) *Краще позначати кути, використовуючи лише одну з наведених вище одиниць вимірювання, тобто не* $\alpha = 33° 17' 27.6''$, *а* $\alpha = 33,291°$ *чи* $\alpha = 1997,46'$ *або* $\alpha = 119847,6''$.

2.5 Velocities

1 km/h = 0.27778 m/s,
1 mile/h = 1.60934 km/h,
1 kn (knot) = 1.852 km/h,
1 ft/min = 0.3048 m/min,
1 m/s = 3.6 km/h,
1 km/h = 0.62137 mile/h,
1 km/h = 0.53996 kn,
1 m/min = 3.28084 ft/min,

$$x \text{ km/h} \cong \frac{60}{x} \text{ min/km} \cong \frac{3600}{x} \text{ s/km}$$

$$x \text{ mile/h} \cong \frac{37.2824}{x} \text{ min/km} \cong$$

$$\cong \frac{2236.9}{x} \text{ s/km}$$

$$x \text{ s/km} \cong \frac{3600}{x} \text{ km/h}$$

2.5 Швидкості

1 км/год = 0,27778 м/с,
1 миля/год = 1,60934 км/год,
1 вузол = 1,852 км/год,
1 фут/хв = 0,3048 м/хв,
1 м/с = 3,6 км/год,
1 км/год = 0,62137 милі/год,
1 км/год = 0,53996 вузла,
1 м/хв = 3,28084 фут/хв,

$$x \text{ км/год} \cong \frac{60}{x} \text{ хв/км} \cong \frac{3600}{x} \text{ с/км}$$

$$x \text{ миль/год} \cong \frac{37.2824}{x} \text{ хв/км} \cong$$

$$\cong \frac{2236.9}{x} \text{ с/км}$$

$$x \text{ с/км} \cong \frac{3600}{x} \text{ км/год}$$

The *Mach number Ma* specifies how much faster a body travels than sound (approx. 333 m/s in air). *Ma* = 1.3 therefore denotes 1.3 times the speed of sound.

Число Маха Ma вказує, наскільки швидше тіло рухається, ніж звук (приблизно 333 м/с у повітрі). *Ma* = 1,3, отже, позначає 1,3 швидкості звуку.

2.6 Fuel consumption

1 g/PS · h = 1.3596 g/kW · h,
1 Ib/hp · h = 608.277 g/kW · h,
1 liq pt/hp · h = 634.545 cm^3/kW · h,
1 pt (UK)/hp · h =
= 762.049 cm^3/kW · h,
1 g/kW · h = 0.7355 g/PS · h,
1 g/kW · h = 0.001644 lb/hp · h,
1 cm^3/kW · h = 0.001576 liq pt/hp · h,
1 cm^3/kW · h =
= 0.001312 pt (UK)/hp · h,

$$x \text{ mile/gal (US)} \cong \frac{235.21}{x} \text{ l/100 km}$$

$$x \text{ l/100 km} \cong \frac{235.21}{x} \text{ mile/gal (US)}$$

$$x \text{ mile/gal (UK)} \cong \frac{282.48}{x} \text{ l/100 km}$$

$$x \text{ l/100 km} \cong \frac{282.48}{x} \text{ mile/gal (UK)}$$

PS = Pferdestärke,
hp = horsepower

2.6 Витрата палива

1 г/к.с. · год = 1,3596 г/кВт · год,
1 фунт/к.с. · год =
= 608,277 г/кВт · год,
1 рідка пінта/к.с. · год =
= 634,545 $см^3$/кВт · год,
1 пінта (ОК)/к.с. · год =
= 762,049 $см^3$/кВт · год,
1 г/кВт · год = 0,7355 г/к.с. · год,
1 г/кВт · год =
= 0,001644 фунт/к.с. · год,
1 $см^3$/кВт · год =
= 0,001576 рідка пінта/к.с. · год,
1 $см^3$/кВт · год =
= 0,001312 пінта (ОК)/к.с. · год,

$$x \text{ миль/галон (СШ)} \cong \frac{235{,}21}{x} \text{ л/100 км}$$

$$x \text{ l/100 км} \cong \frac{235{,}21}{x} \text{ миль/галон (СШ)}$$

$$x \text{ миль/галон (ОК)} \cong \frac{282{,}48}{x} \text{ l/100 км}$$

$$x \text{ l/100 км} \cong \frac{282{,}48}{x} \text{ миль/галон (ОК)}$$

к.с. = кінська сила

2.7 Units of mass

(colloquially also called «units of weight»)

Avoirdupois system

(commercial weights in general use in UK and US)

2.7 Одиниці маси

(розмовно також називаються «одиницями ваги»)

Система евердьюпойс

(комерційні ваги загального використання у Великій Британії і США)

Table 2.6 – Avoirdupois system.

Unit		gr	dram	oz	lb	cwt (UK)	cwt (US)	ton (UK)	ton (US)	g	kg	t
1 gr	=	1	0.03657	0.00229	1/7000	–	–	–	–	0.064799	–	–
1 dram	=	27.344	1	0.0625	0.00391	–	–	–	–	1.77184	–	–
1 oz	=	437.5	16	1	0.0625	–	–	–	–	28.3495	–	–
1 lb	=	7000	256	16	1	0.00893	0.01	–	0.0005	453.592	0.45359	–
1 cwt (UK)[1])	=	–	–	–	112	1	1.12	0.05	–	–	50.8023	–
1 cwt (US)[2])	=	–	–	–	100	0.8929	1	0.04464	0.05	–	45.3592	–
1 ton (UK)[3])	=	–	–	–	2 240	20	22.4	1	1.12	–	1 016.05	1.01605
1 ton (US)[4])	=	–	–	–	2 000	17.857	20	0.8929	1	–	907.185	0.90718
1 g	=	15.432	0.5644	0.03527	–	–	–	–	–	1	0.001	–
1 kg	=	–	–	35.274	2.2046	0.01968	0.02205	–	–	1 000	1	0.001
1 t	=	–	–	–	2204.6	19.684	22.046	0.9842	1.1023	10^6	1 000	1

Таблиця 2.6 – Система евердьюпойс.

Одиниця		гран	драхма	унція	фунт	хандредвейт (ОК)	хандредвейт (СШ)	тонна (ОК)	тонна (СШ)	г	кг	т
1 гран	=	1	0.03657	0.00229	1/7000	–	–	–	–	0.064799	–	–
1 драхма	=	27.344	1	0.0625	0.00391	–	–	–	–	1.77184	–	–
1 унція	=	437.5	16	1	0.0625	–	–	–	–	28.3495	–	–
1 фунт	=	7000	256	16	1	0.00893	0.01	–	0.0005	453.592	0.45359	–
1 хандредвейт ОК[1])	=	–	–	–	112	1	1.12	0.05	–	–	50.8023	–
1 хандредвейт СШ[2])	=	–	–	–	100	0.8929	1	0.04464	0.05	–	45.3592	–
1 тонна ОК[3])	=	–	–	–	2 240	20	22.4	1	1.12	–	1 016.05	1.01605
1 тонна СШ[4])	=	–	–	–	2 000	17.857	20	0.8929	1	–	907.185	0.90718
1 г	=	15.432	0.5644	0.03527	–	–	–	–	–	1	0.001	–
1 кг	=	–	–	35.274	2.2046	0.01968	0.02205	–	–	1 000	1	0.001
1 т	=	–	–	–	2204.6	19.684	22.046	0.9842	1.1023	10^6	1 000	1

[1]) *Also «long cwt (cwt l)»*,
[2]) *Also «short cwt (cwt sh)»*,
[3]) *Also «long ton (tn l)»*,
[4]) *Also «short ton (tn sh)»*.

[1]) *Також «довгий хандредвейт»*,
[2]) *Також «короткий хандредвейт»*,
[3]) *Також «довга тонна»*,
[4]) *Також «коротка тонна»*.

Troy system and Apothecaries' system

Troy system (used in UK and US for precious stones and metals) and

Тройська система і аптекарська система

Тройська система (використовується у ОК і СШ для дорогоцінного каміння і

Apothecaries' system (used in UK and US for drugs)

Table 2.7 – Troy system and Apothecaries' system.

Unit		gr	s ap	dwt	dr ap	oz t = oz ap	lb t = lb ap	Kt	g
1 gr	=	1	0.05	0.04167	0.01667	–	–	0.324	0.064799
1 s ap	=	20	1	0.8333	0.3333	–	–	–	1.296
1 dwt	=	24	1.2	1	0.4	0.05	–	–	1.5552
1 dr ap	=	60	3	2.5	1	0.125	–	–	3.8879
1 oz t = 1 oz ap	=	480	24	20	8	1	0.08333	–	31.1035
1 lb t = 1 lb ap	=	5760	288	240	96	12	1	–	373.24
1 Kt	=	3.086	–	–	–	–	–	1	0.2000
1 g	=	15.432	0.7716	0.643	0.2572	0.03215	0.002679	5	1

металів) та аптекарська система (використовується у ОК і СШ для ліків)

Таблиця 2.7 – Тройська система і аптекарська система.

Одиниця		гран	скрупул ап	пенівейт	драхма ап	унція т = унція ап	фунт т = фунт ап	Кар	г
1 гран	=	1	0,05	0,04167	0,01667	–	–	0,324	0,064799
1 скрупул ап	=	20	1	0,8333	0,3333	–	–	–	1,296
1 пенівейт	=	24	1,2	1	0,4	0,05	–	–	1,5552
1 драхма ап	=	60	3	2,5	1	0,125	–	–	3,8879
1 унція т = 1 унція ап	=	480	24	20	8	1	0,08333	–	31,1035
1 фунт т = 1 фунт ап	=	5760	288	240	96	12	1	–	373,24
1 Кар	=	3,086	–	–	–	–	–	1	0,2000
1 г	=	15,432	0,7716	0,643	0,2572	0,03215	0,002679	5	1

UK = United Kingdom, US = USA.

gr = grain, oz = ounce, lb = pound, cwt = hundredweight,

1 slug = 14.5939 kg = mass, accelerated at 1 ft/s^2 by a force of 1 lbf,

1 st (stone) = 14 lb = 6.35 kg (UK only),

1 qr (quarter) = 28 lb = 12.7006 kg (UK only, seldom used),

1 quintal = 100 lb = 1 cwt (US) = 45.3592 kg,

1 tdw (ton dead weight) = 1 ton (UK) = 1.016 t.

ОК = Об'єднане Королівство = = Велика Британія, СШ = США.

гран = гран, унція = унція, фунт = фунт, ц = центнер,

1 слаг = 14,5939 кг = маса, яка прискорюється на 1 фут/с^2 під дією сили 1 фунт-сила,

1 стоун (стоун) = 14 фунтів = 6,35 кг (лише у ОК),

1 квартер = 28 фунтів = 12,7006 кг (лише у ОК, рідко використовується),

1 квінтал = 100 фунтів = 1 ц (СШ) = 45,3592 кг,

The tonnage of dry cargo ships (cargo + ballast + fuel + supplies) is given in tdw.

s ap = apothecaries' scruple, dwt = pennyweight, dr ap = apothecaries' drachm (US: apothecaries' dram),

oz t (UK: oz tr) = troy ounce,

oz ap (UK: oz apoth) = apothecaries' ounce,

lb t = troy pound,

lb ap = apothecaries' pound,

Kt = metric karat, used only for precious stones[5]).

1 т дедвейту (тонна дедвейту) = = 1 тонна (ОК) = 1,016 т.

Тоннаж суховантажних суден (вантаж + баласт + паливо + припаси) вказано в т дедвейту.

скрупул ап = аптекарський скрупул, пенівейт = пенівейт, драхма ап = аптекарська драхма (США: аптекарський драм),

унція т (ОК) = тройська унція,

унція ап (ОК) = аптекарська унція,

фунт т = тройський фунт,

фунт ап = аптекарський фунт,

Кар = метричний карат, використовується лише для дорогоцінного каміння[5]).

[5]) *The term «karat» was formerly used with a different meaning in connection with gold alloys to denote the gold content: pure gold (fine gold) = 24 karat; 14-karat gold has 14/24 = 585/1000 parts by weight of fine gold.*

[5]) *Термін «карат» раніше використовувався з іншим значенням у зв'язку із золотими сплавами для позначення вмісту золота: чисте золото (чисте золото) = 24 карати; 14-каратне золото має 14/24 = 585/1000 вагових частин чистого золота.*

Mass per unit length

Sl unit kg/m

1 lb/ft = 1.48816 kg/m,

1 lb/yd = 0.49605 kg/m

Units in textile industry (DIN 60905 und 60910):

1 tex = 1 g/km,

1 mtex = 1 mg/km,

1 dtex = 1 dg/km,

1 ktex = 1 kg/km

Former unit (do not use):

1 den (denier) = 1 g/9 km = 0.1111 tex,

1 tex = 9 den

Маса на одиницю довжини

Sl одиниця кг/м

1 фунт/фут = 1,48816 кг/м,

1 фунт/ярд = 0,49605 кг/м

Одиниці в текстильній промисловості (DIN 60905 і 60910):

1 текс = 1 г/км,

1 мтекс = 1 мг/км,

1 дтекс = 1 дг/км,

1 ктекс = 1 кг/км

Попередня одиниця (не використовувати):

1 ден (деньє) = 1 г/9 км = = 0,1111 текс,

1 текс = 9 ден

Density

Sl unit kg/m^3

1 kg/dm^3 = 1 kg/l = 1 g/cm^3 = = 1000 kg/m^3

1 lb/ft^3 = 16.018 kg/m^3 =

Густина

Одиниця вимірювання Sl $кг/м^3$

1 $кг/дм^3$ = 1 кг/л = 1 $г/см^3$ = = 1000 $кг/м^3$

1 $фунт/фут^3$ = 16,018 $кг/м^3$ =

= 0.016018 kg/l

1 Ib/gal (UK) = 0.099776 kg/l,

1 Ib/gal (US) = 0.11983 kg/l

°Bé (degrees Baumé) is a measure of the density of liquids which are heavier (+°Bé) or lighter (–°Bé) than water (at 15 °C). Do not use the unit °Bé.

$\rho = 144.3/(144.3 \pm n)$

ρ Density in kg/l, n hydrometer degrees in °Bé.

°API (American Petroleum Institute) is used in the USA to indicate the density of fuels and oils.

$\rho = 141.5/(131.5 + n)$

ρ Density in kg/l, n hydrometer degrees in °API.

Examples:

–12 °Bé = 144.3/(144.3 + 12) kg/l = = 0.923 kg/l

+34 °Bé = 144.3/(144.3 – 34) kg/l = = 1.308 kg/l

28 °API = 141.5/(131.5 + 28) kg/l = = 0.887 kg/l

= 0,016018 кг/л

1 фунт/галон (ОК) = 0,099776 кг/л,

1 фунт/галон (СШ) = 0,11983 кг/л

°Bé (градуси Боме) – це міра густини рідин, які важчі (+°Bé) або легші (–°Bé) за воду (при 15 °C). Не використовуйте одиницю вимірювання °Bé.

$\rho = 144,3/(144,3 \pm n)$

ρ Густина в кг/л, n ареометр – градуси в °Bé.

°API (Американський інститут нафти) використовується в США для позначення густини палива і масел.

$\rho = 141,5/(131,5 + n)$

ρ Густина в кг/л, n ареометричних градусів у °API.

Приклади:

–12 °Bé = 144,3/(144,3 + 12) кг/л = = 0,923 кг/л

+34 °Bé = 144,3/(144,3 – 34) кг/л = = 1,308 кг/л

28 °API = 141,5/(131,5 + 28) кг/л = = 0,887 кг/л

2.8 Units of force

Table 2.8 – Units of force.

Unit		N	Kp	Ibf
1 N (newton)	=	1	0.101972	0.224809
Do not use				
1 kp (kilopond)	=	9.80665	1	2.204615
1 Ibf (pound-force)	=	4.44822	0.453594	1

1 pdl (poundal) = 0.138255 N = force which accelerates a mass of 1 lb by 1 ft/s^2.

1 sn (sthène) = 10^3 N*

2.8 Одиниці сили

Таблиця 2.8 – Одиниці сили.

Одиниця		Н	кгс	фунт-с
1 Н (ньютон)	=	1	0,101972	0,224809
Не використовуйте				
1 кгс (кілограм-сила)	=	9,80665	1	2,204615
1 фунт-с (фунт-сила)	=	4,44822	0,453594	1

1 паундаль = 0,138255 Н = сила, яка діючи на масу в 1 фунт, надає їй прискорення 1 фут/с^2.

1 стен = 10^3 Н*

2.9 Units of pressure and stress

2.9 Одиниці тиску і напруження

Table 2.9 – Units of pressure and stress.

Unit[1])		Pa	μbar	hPa	bar	N/mm²	kp/mm²	at	kp/m²	torr	atm
1 Pa = 1 N/m²	=	1	10	0.01	10^{-5}	10^{-6}	–	–	0.10197	0.0075	–
1 μbar	=	0.1	1	0.001	10^{-6}	10^{-7}	–	–	0.0102	–	–
1 hPa = 1 mbar	=	100	1 000	1	0.001	0.0001	–	–	10.197	0.7501	–
1 bar	=	10^5	10^6	1 000	1	0.1	0.0102	1.0197	10 197	750.06	0.9869
1 N/mm²	=	10^6	10^7	10 000	10	1	0.10197	10.197	101 972	7 501	9.8692
Do not use											
1 kp/mm²	=	–	–	98 066.5	98.0665	9.80665	1	100	10^6	73556	96.784
1 at = 1 kp/cm²	=	98 066.5	–	980.665	0.98066	0.0981	0.01	1	10 000	735.56	0.96784
1 kp/m² = 1 mmWS	=	9.80665	98.0665	0.0981	–	–	10^{-6}	10^{-4}	1	–	–
1 torr = 1 mmHg	=	133.322	1 333.22	1.33322	–	–	–	0.00136	13.5951	1	0.00132
1 atm	=	101 325	–	1 013.25	1.01325	–	–	1.03323	10 332.3	760	1
British and American units											
1 lbf/in²	=	6 894.76	68 948	68.948	0.0689	0.00689	–	0.07031	703.07	51.715	0.06
1 lbf/ft²	=	47.8803	478.8	0.4788	–	–	–	–	4.8824	0.35913	–
1 tonf/in²	=	–	–	–	154.443	15.4443	1.57488	157.488	–	–	152.4

Таблиця 2.9 – Одиниці тиску і напруження.

Одиниця[1])		Па	мкбар	гПа	бар	Н/мм²	кгс/мм²	ат	кгс/м²	торр	атм
1 Па = 1 Н/м²	=	1	10	0,01	10^{-5}	10^{-6}	–	–	0,10197	0,0075	–
1 мкбар	=	0,1	1	0,001	10^{-6}	10^{-7}	–	–	0,0102	–	–
1 гПа = 1 мбар	=	100	1 000	1	0,001	0,0001	–	–	10,197	0,7501	–
1 бар	=	10^5	10^6	1 000	1	0,1	0,0102	1,0197	10 197	750,06	0,9869
1 Н/мм²	=	10^6	10^7	10 000	10	1	0,10197	10,197	101 972	7 501	9,8692
Не використовуйте											
1 кгс/мм²	=	–	–	98 066,5	98,0665	9,80665	1	100	10^6	73556	96,784
1 ат = 1 кгс/см²	=	98 066,5	–	980,665	0,98066	0,0981	0,01	1	10 000	735,56	0,96784
1 кгс/м² =1 мм вод. ст.	=	9,80665	98,0665	0,0981	–	–	10^{-6}	10^{-4}	1	–	–
1 торр = 1 мм рт. ст.	=	133,322	1 333,22	1,33322	–	–	–	0,00136	13,5951	1	0,00132
1 атм	=	101 325	–	1 013,25	1,01325	–	–	1,03323	10 332,3	760	1
Британські та американські одиниці											
1 фунт-с/дюйм²	=	6 894,76	68 948	68,948	0,0689	0,00689	–	0,07031	703,07	51,715	0,06
1 фунт-с/фут²	=	47,8803	478,8	0,4788	–	–	–	–	4,8824	0,35913	–

1 тонна-с/дюйм^2	=	–	–	–	154,443	15,4443	1,57488	157,488	–	–	152,4

Ibf/in^2 = pound-force per square inch (psi),

Ibf/ft^2 = pound-force per square foot (psf),

tonf/in^2 = ton-force (UK) per square inch

1 pdl/ft^2 (poundal per square foot) = 1.48816 Pa;

1 Ba (barye)* = 1 μbar;

1 pz (pièce)* = 1 sn/m^2 (sthène/m^2)* = = 103 Pa

Standards:

DIN 66034 Conversion tables, kilopond – newton, newton – kilopond,

DIN 66037 Conversion tables, kilopond/cm^2 – bar, bar – kilopond/cm^2,

DIN 66038 Conversion tables, torr – millibar, millibar – torr

фунт-с/дюйм^2 = фунт-сила на квадратний дюйм,

фунт-с/фут^2 = фунт-сила на квадратний фут,

тонна-с/дюйм^2 = тонна-сила (ОК) на квадратний дюйм

1 паундаль/фут^2 (паундаль на квадратний фут) = 1,48816 Па;

1 Б (барій)* = 1 мкбар;

1 П (п'єза)* = 1 стен/м^2 * = = 103 Па

Стандарти:

DIN 66034 Таблиці перетворення, кілограм-сила – ньютон, ньютон – кілограм-сила,

DIN 66037 Таблиці перерахунку кілограм-сила/см^2 – бар, бар – кілограм-сила/см^2,

DIN 66038 Таблиці перетворення, торр – мілібар, мілібар – торр

[1]) *for names of units see time qunatities, force, energy, power.*

* *French units.*

[1]) *у назвах одиниць дивіться величини часу, сили, енергії, потужності.*

* *Французькі одиниці.*

2.10 Units of energy
(units of work)

2.10 Одиниці енергії
(одиниці роботи)

Table 2.10 – Units of energy.

Unit[1])		**J**	**kW · h**	**kp · m**	**PS · h**	**kcal**	**ft · Ibf**	**Btu**
1 J	=	1	$277.8 \cdot 10^{-9}$	0.10197	$377.67 \cdot 10^{-9}$	$238.85 \cdot 10^{-6}$	0.73756	$947.8 \cdot 10^{-6}$
1 kW · h	=	$3.6 \cdot 10^{6}$	1	367 098	1.35962	859.85	$2.6552 \cdot 10^{6}$	3 412.13
Do not use								
1 kp · m	=	9.80665	$2.7243 \cdot 10^{-6}$	1	$3.704 \cdot 10^{-6}$	$2.342 \cdot 10^{-3}$	7.2330	$9.295 \cdot 10^{-3}$
1 PS · h	=	$2.6478 \cdot 10^{6}$	0.735499	270 000	1	632.369	$1.9529 \cdot 10^{6}$	2 509.6
1 kcal[2])	=	4 186.8	$1.163 \cdot 10^{-3}$	426.935	$1.581 \cdot 10^{-3}$	1	3 088	3.9683
British and American units								
1 ft · Ib f	=	1.35582	$376.6 \cdot 10^{-9}$	0.13826	$512.1 \cdot 10^{-9}$	$323.8 \cdot 10^{-6}$	1	$1.285 \cdot 10^{-3}$
1 Btu[3])	=	1 055.06	$293.1 \cdot 10^{-6}$	107.59	$398.5 \cdot 10^{-6}$	0.2520	778.17	1

Таблиця 2.10 – Одиниці енергії.

Одиниця[1])		Дж	кВт · год	кгс · м	к.с. · год	ккал	фут · · фунт-с	Бто
1 Дж	=	1	$277{,}8 \cdot 10^{-9}$	0,10197	$377{,}67 \cdot 10^{-9}$	$238{,}85 \cdot 10^{-6}$	0,73756	$947{,}8 \cdot 10^{-6}$
1 кВт · год	=	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1	367 098	1,35962	859,85	$2{,}6552 \cdot 10^{6}$	3 412,13
Не використовуйте								
1 кгс · м	=	9,80665	$2{,}7243 \cdot 10^{-6}$	1	$3{,}704 \cdot 10^{-6}$	$2{,}342 \cdot 10^{-3}$	7,2330	$9{,}295 \cdot 10^{-3}$
1 к.с. · год	=	$2{,}6478 \cdot 10^{6}$	0,735499	270 000	1	632,369	$1{,}9529 \cdot 10^{6}$	2 509,6
1 ккал[2])	=	4 186,8	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	426,935	$1{,}581 \cdot 10^{-3}$	1	3 088	3,9683
Британські та американські одиниці								
1 фут · фунт-с	=	1,35582	$376{,}6 \cdot 10^{-9}$	0,13826	$512{,}1 \cdot 10^{-9}$	$323{,}8 \cdot 10^{-6}$	1	$1{,}285 \cdot 10^{-3}$
1 Бто[3])	=	1 055,06	$293{,}1 \cdot 10^{-6}$	107,59	$398{,}5 \cdot 10^{-6}$	0,2520	778,17	1

ft Ibf = foot pound-force;

Btu = British thermal unit

1 in ozf (inch ounce-force) = = 0.007062 J,

1 in Ibf (inch pound-force) = = 0.112985 J,

1 ft pdl (foot poundal) = 0.04214 J,

1 hph (horsepower hour) = $= 2.685 \cdot 10^{6}$ J = 0.7457 kW · h,

1 thermie (France) = 1000 frigories (France) = 1000 kcal = 4.1868 MJ,

1 kg C.E. (coal equivalent kilogram)[4]) = 29.3076 MJ = 8.141 kW · h,

1 t C.E. (coal equivalent ton)[4]) = = 1000 kg SKE = 29.3076 GJ = = 8.141 MW · h.

фут фунт-сила;

Бто = британська теплова одиниця

1 дюйм унція-сила = 0,007062 Дж,

1 дюйм фунт-сила = 0,112985 Дж,

1 фут паундаль-сила = 0,04214 Дж,

1 к.с.-год (кінська сила-година) = $= 2{,}685 \cdot 10^{6}$ Дж = 0,7457 кВт · год,

1 термія (Франція) = 1000 фригорій (Франція) = 1000 ккал = 4,1868 МДж,

1 кг В.Е. (кілограм вугільного еквівалента)[4]) = 29,3076 МДж = = 8,141 кВт · год,

1 т В.Е. (тонна вугільного еквівалента)[4]) = 1000 кг В.Е. = = 29,3076 ГДж = 8,141 МВт · год.

2.11 Units of power

2.11 Одиниці потужності

Table 2.11 – Units of power.

Unit[1])		W	kW	kp m/s	PS*	kcal/s	hp	Btu/s
1 W	=	1	0.001	0.10197	$1.3596 \cdot 10^{-3}$	$238.8 \cdot 10^{-6}$	$1.341 \cdot 10^{-3}$	$947.8 \cdot 10^{-6}$
1 kW	=	1000	1	101.97	1.35962	$238.8 \cdot 10^{-3}$	1.34102	$947.8 \cdot 10^{-3}$
Do not use								
1 kp · m/s	=	9.80665	$9.807 \cdot 10^{-3}$	1	$13.33 \cdot 10^{-3}$	$2.342 \cdot 10^{-3}$	$13.15 \cdot 10^{-3}$	$9.295 \cdot 10^{-3}$
1 PS	=	735.499	0.735499	75	1	0.17567	0.98632	0.69712
1 kcal/s	=	4186.8	4.1868	426.935	5.6925	1	5.6146	3.9683
British and American units								
1 hp	=	745.70	0.74570	76.402	1.0139	0.17811	1	0.70678

1 Btu/s	=	1 055.06	1.05506	107.586	1.4345	0.2520	1.4149	1

Таблиця 2.11 – Одиниці потужності.

Оди-ниця[1])		**Вт**	**кВт**	**кгс м/с**	**КС***	**ккал/с**	**к.с.**	**Бто/с**
1 Вт	=	1	0,001	0,10197	$1{,}3596 \cdot 10^{-3}$	$238{,}8 \cdot 10^{-6}$	$1{,}341 \cdot 10^{-3}$	$947{,}8 \cdot 10^{-6}$
1 кВт	=	1000	1	101,97	1,35962	$238{,}8 \cdot 10^{-3}$	1,34102	$947{,}8 \cdot 10^{-3}$
Не використовуйте								
1 кгс · м/с	=	9,80665	$9{,}807 \cdot 10^{-3}$	1	$13{,}33 \cdot 10^{-3}$	$2{,}342 \cdot 10^{-3}$	$13{,}15 \cdot 10^{-3}$	$9{,}295 \cdot 10^{-3}$
1 PS	=	735,499	0,735499	75	1	0,17567	0,98632	0,69712
1 ккал/с	=	4186,8	4,1868	426,935	5,6925	1	5,6146	3,9683
British and American units								
1 к.с.	=	745,70	0,74570	76,402	1,0139	0,17811	1	0,70678
1 Бто/с	=	1 055,06	1,05506	107,586	1,4345	0,2520	1,4149	1

hp = horsepower,

1 ft · Ibf/s = 1.35582 W,

1 ch (cheval vapeur) (France) =
= 1 PS = 0.7355 kW,

1 poncelet (France) =
= 100 kp · m/s = 0.981 kW,

Continuous human power generation ≈ 0.1 kW.

Standards:

DIN 66 035 Conversion tables, calorie – joule, joule – calorie,

DIN 66 036 Conversion tables, metric horsepower – kilowatt, kilowatt – metric horsepower,

DIN 66 039 Conversion tables, kilocalorie – watt-hour, watt-hour – kilocalorie.

[1]) *Names of units, see force, energy power.*
[2]) *1 kcal ≈ quantity of heat required to increase temperature of 1 kg water at 15 °C by 1 °C.*
[3]) *1 Btu ≈ quantity of heat required to raise temperature of 1 lb water by 1 °F.*
1 therm = 10^5 Btu.
[4]) *The units of energy kg C.E. and t C.E. were based on a specific calorific value H_u of 7000 kcal/kg of coal.*
* *Metric horsepower.*

к.с. = кінська сила,

1 фут · фунт-сила/с = 1,35582 Вт,

1 ч (чеваль вепе) (Франція) =
= 1 КС = 0,7355 кВт,

1 понселе (Франція) =
= 100 кгс · м/с = 0,981 кВт,

Безперервне вироблення енергії людиною ≈ 0,1 кВт.

Стандарти:

DIN 66 035 Таблиці перетворення, калорія – джоуль, джоуль – калорія,

DIN 66 036 Таблиці перетворення, метрична кінська сила – кіловат, кіловат – метрична кінська сила,

DIN 66 039 Таблиці перетворення, кілокалорія – ват-година, ват-година – кілокалорія.

[1]) *Назви одиниць, див. сила, енергія потужність.*
[2]) *1 ккал ≈ кількість теплоти, необхідна для підвищення температури 1 кг води при 15 °C на 1 °C.*
[3]) *1 Бто ≈ кількість теплоти, необхідна для підвищення температури 1 фунта води на 1 °F.*
1 терм = 10^5 Бто.
[4]) *Одиниці енергії кг К.Е. та т К.Е. базуються на питомій теплотворній здатності H_u, що дорівнює 7000 ккал/кг вугілля.*
* *Метрична кінська сила.*

2.12 Units of temperature

°C = degree Celsius, K = Kelvin,
°F = degree Fahrenheit, °R = degree Rankine.

Temperature points

$$T_K = (273.15\ °C + t_C)\frac{K}{°C} = \frac{5}{9}T_R$$

$$T_R = (459.67\ °F + t_F)\frac{°R}{°F} = 1.8\,T_K$$

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32\ °F)\frac{°C}{°F} = (T_K - 273.15\ K)\frac{°C}{K}$$

$$t_F = (t_C + 32\ °C)\frac{°F}{°C} = (T_R - 459.67\ °R)\frac{°F}{°R}$$

t_C, t_F, T_K und T_R denote the temperature points in °C, °F, K and °R.

Temperature difference

1 K = 1 °C = 1.8 °F = 1.8 °R

Zero points:

0 °C ≙ 32 °F, 0 °F ≙ –17.78 °C.

Absolute zero:

0 K ≙ –273.15 °C ≙
≙ 0 °R ≙ –459.67 °F.

International practical temperature scale:

Boiling point of oxygen –182.97 °C,
triple point of water 0.01 °C[1]),
boiling point of water 100 °C,
boiling point of sulfur (sulfur point) 444.6 °C,
setting point of silver (silver point) 960.8 °C,
setting point of gold 1 063 °C.

[1]) *That temperature of pure water at which ice, water and water vapor occur together in equilibrium (at 1013.25 hPa). See also SI Units (Footnote).*

2.12 Одиниці температури

°C = градус Цельсія, K = Кельвін,
°F = градус Фаренгейта, °R = градус Ренкіна.

Температурні точки

$$T_K = (273.15\ °C + t_C)\frac{K}{°C} = \frac{5}{9}T_R$$

$$T_R = (459.67\ °F + t_F)\frac{°R}{°F} = 1.8\,T_K$$

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32\ °F)\frac{°C}{°F} = (T_K - 273.15\ K)\frac{°C}{K}$$

$$t_F = (t_C + 32\ °C)\frac{°F}{°C} = (T_R - 459.67\ °R)\frac{°F}{°R}$$

t_C, t_F, T_K і T_R позначають температурні точки в °C, °F, K і °R.

Різниця температур

1 K = 1 °C = 1,8 °F = 1,8 °R

Нульові точки:

0 °C ≙ 32 °F, 0 °F ≙ –17,78 °C.

Абсолютний нуль:

0 K ≙ –273,15 °C ≙
≙ 0 °R ≙ –459,67 °F.

Міжнародна практична температурна шкала:

Температура кипіння кисню –182,97 °C,
потрійна точка води 0,01 °C[1]),
температура кипіння води 100 °C,
температура кипіння сірки (сірчана точка) 444,6 °C,
температура затвердіння (кристалізації) срібла (срібна точка) 960,8 °C,
температура затвердіння (кристалізації) золота 1 063 °C.

[1]) *Це температура чистої води, за якої лід, вода і водяна пара перебувають разом у рівновазі (при 1013,25 ГПа). Див. також Одиниці СІ (виноска).*

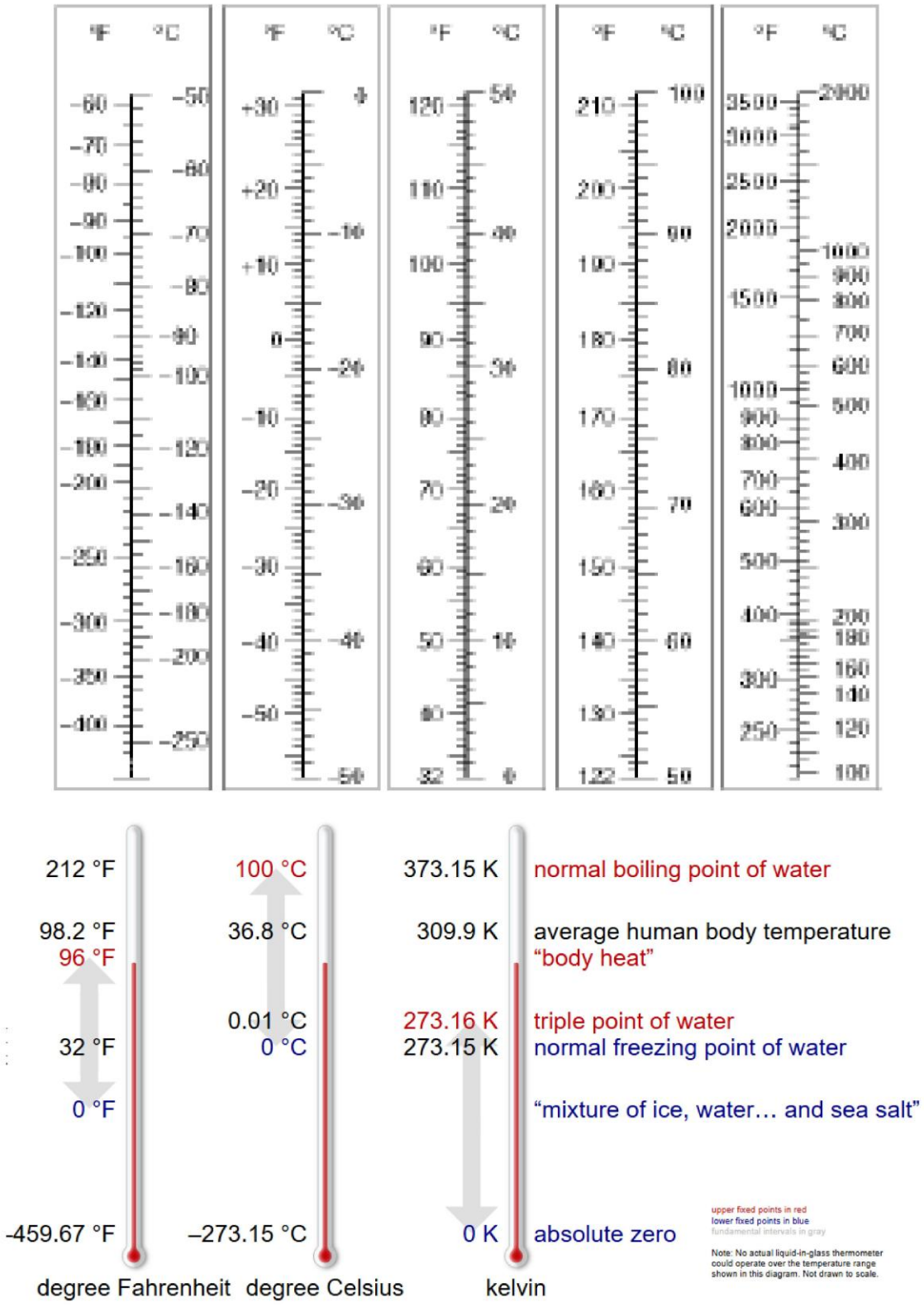


Figure 2.1 – Temperature scales compared

Рисунок 2.1 – Порівнювані температурні шкали

2.13 Units of viscosity

Legal units of kinematic viscosity *ν*

1 m^2/s = 1 Pa · s/(kg/m^3) = 10^4 cm^2/s = = 10^6 mm^2/s.

British and American units:

1 ft^2/s = 0.092903 m^2/s,

RI seconds = efflux time from Redwood-I viscometer (UK),

SU seconds = efflux time from Saybolt-Universal viscometer (US).

2.13 Одиниці в'язкості

Допустимі одиниці кінематичної в'язкості *ν*

1 $м^2/с$ = 1 Па · с/($кг/м^3$) = 10^4 $см^2/с$ = = 10^6 $мм^2/с$.

Британські і американські одиниці:

1 $фут^2/с$ = 0,092903 $м^2/с$,

RI секунди = час витікання з віскозиметра Redwood-I (ОК),

SU секунди = час витікання з віскозиметра Saybolt-Universal (СШ).



Figure 2.2 – Comparable viscosity unit scales

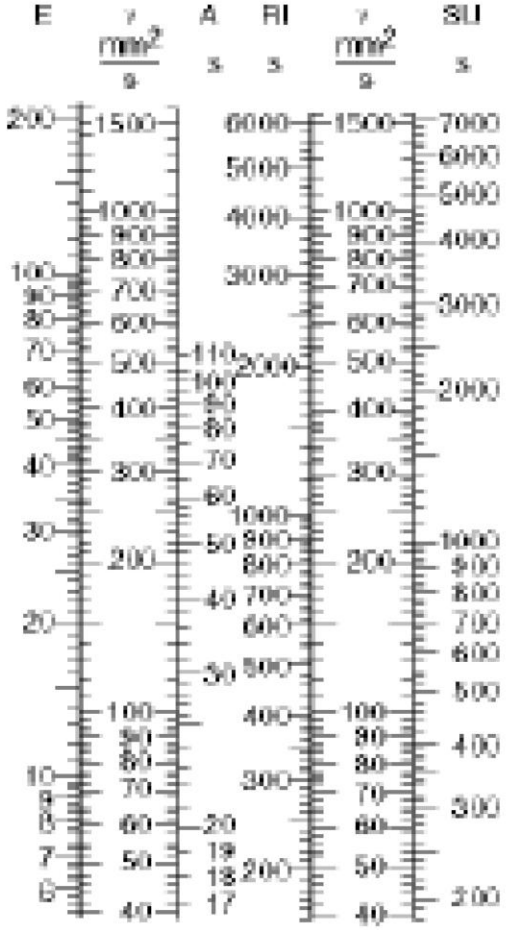


Рисунок 2.2 – Порівнювані шкали одиниць в'язкості

Do not use:

St (stokes) = cm^2/s, cSt = mm^2/s.

Не використовуйте:

Ст (стокс) = $см^2/с$, сСт = $мм^2/с$.

Conventional units

E (Engler degree) = relative efflux time from Engler apparatus DIN 51 560.

For $\nu > 60$ mm^2/s, 1 mm^2/s = 0.132 E.

At values below 3 E, Engler degrees do not give a true indication of the variation of viscosity; for example, a fluid with 2 E does not have twice the kinematic viscosity of a fluid with 1 E, but rather 12 times that value.

A seconds = efflux time from flow cup DIN 53 211.

Умовні одиниці

Е (градус Енглера) = відносний час витікання з апарату Енглера DIN 51 560.

Для $\nu > 60$ мм^2/с, 1 мм^2/с = 0,132 Е.

При значеннях нижче 3 Е градуси Енглера не дають точного уявлення про зміну в'язкості; наприклад, рідина з 2 Е має не вдвічі більшу кінематичну в'язкість, ніж рідина з 1 Е, а радше в 12 разів більшу.

А секунд = час витікання з витісної чашки DIN 53 211.

2.14 Units of time

2.14 Одиниці часу

Table 2.12 – Units of time.

Unit[1])		s	min	h	d
1 s[2]) (second)	=	1	0.01667	$0.2778 \cdot 10^{-3}$	$11.574 \cdot 10^{-6}$
1 min (minute)	=	60	1	0.01667	$0.6944 \cdot 10^{-3}$
1 h (hour)	=	3600	60	1	0.041667
1 d (day)	=	86 400	1 440	24	1

Таблиця 2.12 – Одиниці часу.

Одиниця[1])		с	хв	год	день
1 с[2]) (секунда)	=	1	0,01667	$0,2778 \cdot 10^{-3}$	$11,574 \cdot 10^{-6}$
1 хв (хвилина)	=	60	1	0,01667	$0,6944 \cdot 10^{-3}$
1 год (година)	=	3600	60	1	0,041667
1 день	=	86 400	1 440	24	1

1 civil year = 365 (or 366) days = = 8 760 (8 784) hours (for calculation of interest in banking, 1 year = 360 days),

1 solar year[3]) = 365.2422 mean solar days = 365 d 5 h 48 min 46 s,

1 sidereal year[4]) = 365.2564 mean solar days.

1 цивільний рік = 365 (чи 366) днів = = 8 760 (8 784) годин (для розрахунку відсотків у банківській справі, 1 рік = = 360 днів),

1 сонячний рік[3]) = 365,2422 середніх сонячних днів = 365 днів 5 год 48 хв 46 с,

1 зоряний рік[4]) = 365,2564 середніх сонячних днів.

[1]) *See also Time quantities.*
[2]) *Base SI unit, see SI Units for definition.*
[3]) *Time between two successive passages of the earth through the vernal equinox.*
[4]) *True time of revolution of the earth about the sun.*

[1]) *Див. також Величини часу.*
[2]) *Основна одиниця СІ, див. визначення в Одиницях СІ.*
[3]) *Час між двома послідовними проходженнями Землі через точку весняного рівнодення.*
[4]) *Істинний час обертання Землі навколо Сонця.*

Clock times

The clock times listed for the following time zones are based on 12.00 CET (Central European Time)[5]):

Час за годинником

Час годинника, зазначений для наступних часових поясів, базується на 12:00 ЦЄЧ (Центральноєвропейський час)[5]):

Table 2.13 – Clock times.

Clock time	Time-zone meridian	Countries (examples)
	West longitude	
1.00	150°	Alaska.
3.00	120°	West coast of Canada and USA.
4.00	105°	Western central zone of Canada and USA.
5.00	90°	Central zone of Canada and USA, Mexico, Central America.
6.00	75°	Canada between 68° and 90°, Eastern USA, Ecuador, Colombia, Panama, Peru.
7.00	60°	Canada east of 68°, Bolivia, Chile, Venezuela.
8.00	45°	Argentina, Brazil, Greenland, Paraguay, Uruguay.
11.00	0°	**Greenwich Mean Time (GMT)[6]):** Canary Islands, Great Britain, Ireland, Portugal, West Africa.
	East longitude	
12.00	15°	**Central European Time (CET):** Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Hungary, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Poland, Sweden, Switzerland, Spain; Algeria, Israel, Libya, Nigeria, Tunisia, Zaire.
13.00	30°	**Eastern European Time (EET):** Bulgaria, Finland, Greece, Romania; Egypt, Lebanon, Jordan, Sudan, South Africa, Syria.
14.00	45°	Western Russia, Turkey, Iraq, Saudi Arabia, Eastern Africa.
14.30	52.5°	Iran.
16.30	82.5°	India, Sri Lanka.
18.00	105°	Cambodia, Indonesia, Laos, Thailand, Vietnam.
19.00	120°	Chinese coast, Philippines, Western Australia.
20.00	135°	Japan, Korea.
20.30	142.5°	North and South Australia.
21.00	150°	Eastern Australia.

Таблиця 2.13 – Час за годинником.

Час за годинником	Меридіан часового поясу	Країни (приклади)
	Західна довгота	
1.00	150°	Аляска
3.00	120°	Західне узбережжя Канади і США
4.00	105°	Західна центральна зона Канади і США
5.00	90°	Центральна зона Канади і США, Мексика, Центральна Америка
6.00	75°	Канада між 68° і 90° широти, схід США, Еквадор, Колумбія, Панама, Перу
7.00	60°	Канада на схід від 68°, Болівія, Чилі, Венесуела.
8.00	45°	Аргентина, Бразилія, Гренландія, Парагвай, Уругвай.

11.00	0°	**Середній час за Гринвічем (ГСЧ)[6]):** Канарські острови, Велика Британія, Ірландія, Португалія, Західна Африка
	Східна довгота	
12.00	15°	**Центральноєвропейський час (ЦЄЧ):** Австрія, Бельгія, Данія, Франція, Німеччина, Угорщина, Італія, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Польща, Швеція, Швейцарія, Іспанія; Алжир, Ізраїль, Лівія, Нігерія, Туніс, Заїр
13.00	30°	**Східноєвропейський час (СЄЧ):** Болгарія, Фінляндія, Греція, Румунія; Єгипет, Ліван, Йорданія, Судан, Південна Африка, Сирія
14.00	45°	Західна Росія, Туреччина, Ірак, Саудівська Аравія, Східна Африка
14.30	52.5°	Іран
16.30	82.5°	Індія, Шрі-Ланка
18.00	105°	Камбоджа, Індонезія, Лаос, Таїланд, В'єтнам
19.00	120°	Китайське узбережжя, Філіппіни, Західна Австралія
20.00	135°	Японія, Корея
20.30	142.5°	Північна та Південна Австралія
21.00	150°	Східна Австралія

[5]) *During the summer months in countries in which daylight saving time is observed, clocks are set ahead by 1 hour (from approximately April to September north of the equator and October to March south of the equator).*
[6]) *= UT (Universal Time), mean solar time at the 0° meridian of Greenwich, or UTC (Coordinated Universal Time), defined by the invariable second of the International System of Units (see SI Units). Because the period of rotation of the earth about the sun is gradually becoming longer, UTC is adjusted to UT from time to time by the addition of a leap second.*

[5]) *Протягом літніх місяців у країнах, де дотримується літній час, годинники переводяться на 1 годину вперед (приблизно з квітня по вересень на північ від екватора і з жовтня по березень на південь від екватора).*
[6]) *= UT (Всесвітній час), середній сонячний час на 0° меридіані Гринвіча, або UTC (Всесвітній координований час), що визначається незмінною секундою Міжнародної системи одиниць (див. Одиниці СІ). Оскільки період обертання Землі навколо Сонця поступово збільшується, UTC час від часу коригується на UT шляхом додавання високосної секунди.*

3

Symbols and units

3.1 Mechanics
The spectrum of mechanics
Mechanics symbols and units
Relationships between quantities, numbers

3.2 Vibration and oscillation
Types
Vibrations and oscillations symbols and units

3.3 Fluid mechanics
Main branches
Fluid mechanics symbols and units

3.4 Strength of materials
Definition
Strength of materials symbols and units

3.5 Acoustics
Definition
Acoustics symbols and units

3.6 Heat
Heat symbols and units

Символи і одиниці

3.1 Механіка
Спектр механіки
Символи і одиниці механіки
Зв'язки між величинами, числами

3.2 Вібрація і коливання
Типи
Символи і одиниці вібрацій і коливань

3.3 Механіка рідин
Основні галузі
Символи і одиниці механіки рідин

3.4 Опір матеріалів
Визначення
Символи і одиниці опору матеріалів

3.5 Акустика
Визначення
Символи і одиниці акустики

3.6 Теплота
Символи і одиниці теплоти

3.7 Electrical engineering
Subfields
Electrical engineering symbols and units

3.8 Actuators
Types of actuators
Actuators symbols and units

3.9 Technical optics
Optical science
Optical engineering
Technical optics symbols and units

3.7 Електрична інженерія
Підгалузі
Символи і одиниці електричної інженерії

3.8 Приводи
Типи приводів
Символи і одиниці приводів

3.9 Технічна оптика
Оптична наука
Оптична інженерія
Символи і одиниці технічної оптики

Chapter 3
Symbols and units

3.1 Mechanics

Mechanics (from Ancient Greek. *Μηχανική*, *mēkhanikḗ* – tool, structure, art of building machines) – in the general sense, the science of mechanical motion and equilibrium of bodies and the interaction that occurs between bodies. It belongs to the natural sciences. It is also a branch of physics that studies the law of mechanical motion and mechanical interaction. The term «mechanics» was introduced into science by Aristotle. Voltaire believed that «the history of mechanical arts is probably the most useful of all».

Mechanics is divided into *general mechanics*, *continuum mechanics* and *applied mechanics*. In each of these sections, *statics*, *kinematics* and *dynamics* are distinguished.

General mechanics includes analytical mechanics, celestial mechanics, ballistics, gyroscope theory, the theory of stability of motion, as well as the theory of oscillations, biomechanics, theoretical mechanics, etc.

The basis of continuum mechanics is hydro-aeromechanical, gas dynamics, and mechanics of deformed solids.

Applied mechanics includes the mechanics of soils and loose bodies, structural mechanics, resistance of materials, etc.

The spectrum of mechanics

The general study of the relationships between motion, forces, and energy is called *mechanics*. It is a large field and its study is essential to the understanding of physics, which is why these chapters appear first. Mechanics can be divided into sub-disciplines by combining and recombining

Розділ 3
Символи і одиниці

3.1 Механіка

Механіка (від давньогрец. *Μηχανική*, *mechane* – знаряддя, споруда, мистецтво побудови машин) – у загальному розумінні наука про механічний рух і рівновагу тіл та взаємодію, що виникає при цьому між тілами. Належить до природничих наук. Також це розділ фізики який вивчає закони механічного руху і механічної взаємодії. Термін «механіка» ввів у науку Арістотель. Вольтер вважав, що «історія механічних мистецтв є, імовірно, найкориснішою з усіх».

Механіку поділяють на *загальну механіку*, *механіку суцільних середовищ* і *прикладну механіку*. В кожному з цих розділів розрізняють статику, кінематику і динаміку.

До загальної механіки відносять аналітичну механіку, небесну механіку, балістику, теорію гіроскопів, теорію стійкості руху, а також теорію коливань, біомеханіку, теоретичну механіку тощо.

Основу механіки суцільних середовищ становить гідроаеромеханіка, газова динаміка, механіка деформованого твердого тіла.

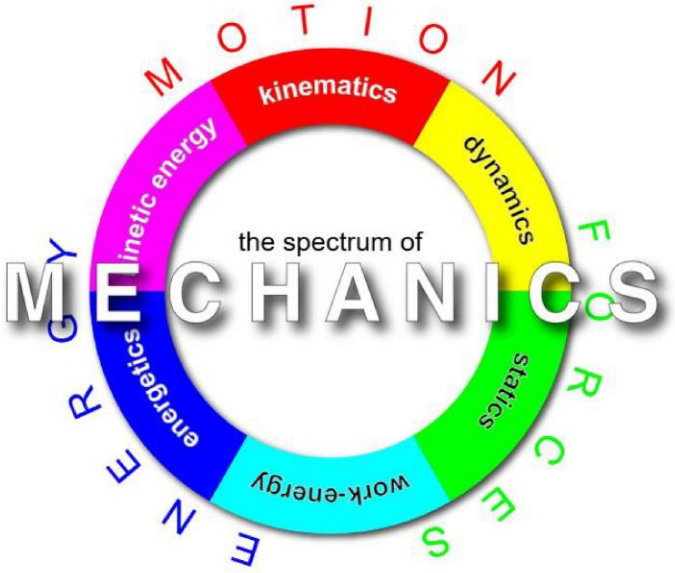
До прикладної механіки відносять механіку ґрунтів і сипких тіл, будівельну механіку, опір матеріалів та ін.

Спектр механіки

Загальне вивчення взаємозв'язків між рухом, силами та енергією називається *механікою*. Це велика галузь, і її вивчення є важливим для розуміння фізики, тому ці розділи розглядаються першими. Механіку можна розділити на піддисципліни (розділи), комбінуючи та

its different aspects. Some of these are given special names.

рекомбінуючи її різні аспекти. Деяким з них дають спеціальні назви.



Motion is the action of changing location or position. The study of motion without regard to the forces or energies that may be involved is called *kinematics*. It is the simplest branch of mechanics. The branch of mechanics that deals with both motion and forces together is called *dynamics* and the study of forces in the absence of changes in motion or energy is called *statics*.

The term energy refers an abstract physical quantity that is not easily perceived by humans. It can exist in many forms simultaneously and only acquires meaning through calculation. Informally, a system possesses *energy* if it has the ability to do work. The energy of motion is called *kinetic energy*.

Whenever a system is affected by an outside agent, its total energy changes. In general, a *force* is anything that causes a change (like a change in energy or motion or shape). When a force causes a change in the energy of a system, physicists say that *work* has been done. The mathematical statement that relates forces to changes in energy is called the *work-energy theorem*.

When the total of all the different forms of energy is determined, we find that

Рух – це дія зміни місця або положення. Вивчення руху без урахування сил або енергії, які можуть бути задіяні, називається *кінематикою*. Це найпростіша галузь механіки. Галузь механіки, яка займається як рухом, так і силами разом, називається *динамікою*, а вивчення сил за відсутності змін руху або енергії – *статикою*.

Термін «енергія» позначає абстрактну фізичну величину, яку нелегко сприймати людиною. Вона може існувати в багатьох формах одночасно і набуває значення лише через обчислення. Формально система має *енергію*, якщо вона має здатність виконувати роботу. Енергія руху називається *кінетичною енергією*.

Щоразу, коли на систему впливає зовнішній фактор, її загальна енергія змінюється. Загалом, *сила* – це все, що викликає зміну (наприклад, зміну енергії, руху чи форми). Коли сила викликає зміну енергії системи, фізики кажуть, що виконано *роботу*. Математичне твердження, яке пов'язує сили зі змінами енергії, називається *теоремою про роботу-енергію*.

Коли визначається сума всіх різних форм енергії, ми виявляємо, що вона

it remains constant in systems that are isolated from their surroundings. This statement is known as the law of *conservation of energy* and is one of the really big concepts in all of physics, not just mechanics. The study of how energy changes forms and location during physical processes is called *energetics*, but the word is used more by scientists in fields outside of physics than inside.

залишається постійною в системах, ізольованих від навколишнього середовища. Це твердження відоме як *закон збереження енергії* та є одним з найважливіших понять у всій фізиці, а не лише в механіці. Вивчення того, як енергія змінює форму та місце розташування під час фізичних процесів, називається *енергетикою*, але це слово частіше використовується вченими в галузях поза фізикою, ніж усередині неї.

Mechanics symbols and units

(see Quantities and units for names of units)

Символи і одиниці механіки

(див. Величини і одиниці для назв одиниць)

Table 3.1 – Mechanics symbols and units.

Symbol	Quantity	SI unit
A	Area	m^2
a	Acceleration	m/s^2
a_{cf}	Centrifugal acceleration	m/s^2
d	Diameter	m
E	Energy	J
E_k	Kinetic energy	J
E_p	Potential energy	J
F	Force	N
F_{cf}	Centrifugal force	N
G	Weight	N
g	Acceleration of free fall (g = 9.81 m/s^2, see Quantities)	m/s^2
h	Height	m
i	Radius of gyration	m
J	Moment of inertia (second-order moment of mass)	$kg \cdot m^2$
L	Angular momentum	$N \cdot s \cdot m$
l	Length	m
M	Torque	$N \cdot m$
m	Mass (weight)	kg
n	Rotational frequency	s^{-1}
P	Power	W
p	Linear momentum	$N \cdot s$
r	Radius	m
s	Length of path	m
T	Period, time of one revolution	s
t	Time	s
V	Volume	m^3
υ	Velocity	m/s
	υ_1 Initial velocity	

	υ_2 Final velocity	
	υ_m Mean velocity	
W	Work, energy	J
α	Angular acceleration	rad/s^2 [1])
ε	Wrap angle	rad[1])
μ	Coefficient of friction	–
ρ	Density	kg/m^3
φ	Angle of rotation	rad[1])
ω	Angular velocity	rad/s[1])

Таблиця 3.1 – Символи і одиниці механіки

Символ	**Величина**	**Одиниця СІ**
A	Площа	м^2
a	Прискорення	м/с^2
a_{cf}	Відцентрове прискорення	м/с^2
d	Діаметр	м
E	Енергія	Дж
E_k	Кінетична енергія	Дж
E_p	Потенційна енергія	Дж
F	Сила	Н
F_{cf}	Відцентрова сила	Н
G	Вага	Н
g	Прискорення вільного падіння (g = 9.81 м/с^2, див. Величини)	м/с^2
h	Висота	м
i	Радіус обертання	м
J	Момент інерції (момент маси другого порядку)	кг · м^2
L	Момент імпульсу, кутовий момент, момент кількості руху	Н · с · м
l	Довжина	м
M	Момент сили, обертальний момент, крутний момент	Н · м
m	Маса (вага)	кг
n	Частота обертання	с$^{-1}$
P	Потужність	Вт
p	Імпульс, лінійний імпульс, поступальний імпульс	Н · с
r	Радіус	м
s	Довжина шляху	м
T	Період, час одного оберту	с
t	Час	с
V	Об’єм	м^3
υ	Швидкість	м/с
	υ_1 Початкова швидкість	
	υ_2 Кінцева швидкість	
	υ_m Середня швидкість	
W	Робота, енергія	Дж
α	Кутове прискорення	рад/с^2 [1])

ε	Кут обхвату	рад[1])
μ	Коефіцієнт тертя	–
ρ	Густина, щільність	кг/м^3
φ	Кут обертання	рад[1])
ω	Кутова швидкість	рад/с[1])

[1]) *The unit rad (= m/m) can be replaced by the number 1.*

[1]) *Одиницю вимірювання рад (= м/м) можна замінити числом 1.*

Relationships between quantities, numbers

If not otherwise specified, the following relationships are relationships between quantities, i.e. the quantities can be inserted using any units (e.g. the SI units given above). The unit of the quantity to be calculated is obtained from the units chosen for the terms of the equation. In some cases, additional numerical relationships are given for customary units (e.g. time in s, but speed in km/h). These relationships are identified by the term «numerical relationship», and are only valid if the units given for the relationship are used.

Зв'язки між величинами, числами

Якщо не зазначено інше, наведені нижче співвідношення є співвідношеннями між величинами, тобто величини можна вставляти з використанням будь-яких одиниць вимірювання (наприклад, одиниць СІ, наведених вище). Одиниця вимірювання величини, що підлягає обчисленню, отримується з одиниць, обраних для членів рівняння. У деяких випадках наводяться додаткові числові співвідношення для звичайних одиниць (наприклад, час у с, але швидкість у км/год). Ці співвідношення позначаються терміном «числове співвідношення» та є дійсними лише за умови використання одиниць, наведених для співвідношення.

3.2 Vibration and oscillation

Oscillation is specific movements or changes in the state of systems of various physical nature (mechanics, physics, biology, chemistry, economics, etc.) for which a certain repetition in time is observed. In many cases, similar concepts are used to describe oscillatory processes - *vibration*, *oscillation*.

In mechanics, *vibration* (from Latin *vibrāre* «to shake») is oscillatory motion about an equilibrium point. Vibration may be deterministic if the oscillations can be characterised precisely (e.g. the periodic motion of a pendulum), or random if the oscillations can only be analysed statistically (e.g. the movement of a tire on a

3.2 Вібрація і коливання

Коливання – специфічні рухи або зміни стану систем різної фізичної природи (механіка, фізика, біологія, хімія, економіка та ін.) для яких спостерігається певна повторюваність у часі. У багатьох випадках для опису коливальних процесів використовуються близькі за змістом поняття – *вібрація*, *осциляція*.

У механіці *вібрація* (від латинського *vibrāre* «трясти») – це коливальний рух навколо точки рівноваги. Вібрація може бути детермінованою, якщо коливання можна точно охарактеризувати (наприклад, періодичний рух маятника), або випадковою, якщо коливання можна проаналізувати лише статистично (нап-

gravel road).

Vibration can be desirable: for example, the motion of a tuning fork, the reed in a woodwind instrument or harmonica, a mobile phone, or the cone of a loudspeaker. The *desired vibration* is excited by vibrators and used in vibration technology, for example, in vibration conveying, vibrodrilling, etc.

In many cases, however, vibration is undesirable, wasting energy and creating unwanted sound. For example, the vibrational motions of engines, electric motors, or any mechanical device in operation are typically unwanted. Such vibrations could be caused by imbalances in the rotating parts, uneven friction, or the meshing of gear teeth. Careful designs usually minimize unwanted vibrations. The *undesired vibration* can lead to disruption of the operation of machines and to destruction, and has a detrimental effect on human health. To combat harmful vibration, vibration isolation is used.

Vibration protection is a set of means and methods for reducing vibration parameters.

Vibration resistance is the ability of a product to perform its functions and maintain its parameters within the values that are set for this product, under conditions of vibration exposure in specified modes.

Types

Free vibration or *natural vibration* occurs when a mechanical system is set in motion with an initial input and allowed to vibrate freely. Examples of this type of vibration are pulling a child back on a swing and letting it go, or hitting a tuning fork and letting it ring. The mechanical system vibrates at one or more of its natural frequencies and damps down to

риклад, рух шини по гравійній дорозі).

Вібрація може бути корисною: наприклад, рух камертона, язичка в дерев'яному духовому інструменті чи губній гармошці, мобільного телефону або дифузора гучномовця. *Бажана вібрація* збуджується вібраторами й використовується у вібраційній техніці, наприклад, при вібраційному транспортуванні, вібробурінні тощо.

Однак у багатьох випадках вібрація небажана, вона витрачає енергію та створює небажаний звук. Наприклад, коливальні рухи двигунів, електродвигунів або будь-якого механічного пристрою під час роботи зазвичай небажані. Такі вібрації можуть бути спричинені дисбалансом обертових частин, нерівномірним тертям або зачепленням зубців шестерень. Ретельне проектування зазвичай мінімізує небажані вібрації. *Небажана вібрація* може призвести до порушення режиму роботи машин і до руйнування, згубно впливає на здоров'я людини. Для боротьби із шкідливою вібрацією застосовують віброізоляцію.

Вібраційний захист – сукупність засобів і методів зменшення параметрів вібрації.

Вібростійкість – здатність виробу виконувати свої функції і зберігати свої параметри в межах значень, що висуваються до цього виробу, в умовах впливу вібрації в заданих режимах.

Типи

Вільна або *природня вібрація (коливання)* виникають, коли механічну систему приводять у рух за допомогою початкового вхідного сигналу і дозволяють їй вільно вібрувати. Прикладами такого типу коливань є відтягування дитини назад на гойдалці та відпускання її, або удар по камертону і його дзвін. Механічна система вібрує на одній або

motionlessness.

Forced vibration is when a time-varying disturbance (load, displacement, velocity, or acceleration) is applied to a mechanical system. The disturbance can be a periodic and steady-state input, a transient input, or a random input. The periodic input can be a harmonic or a non-harmonic disturbance. Examples of these types of vibration include a washing machine shaking due to an imbalance, transportation vibration caused by an engine or uneven road, or the vibration of a building during an earthquake. For linear systems, the frequency of the steady-state vibration response resulting from the application of a periodic, harmonic input is equal to the frequency of the applied force or motion, with the response magnitude being dependent on the actual mechanical system.

Damped vibration: When the energy of a vibrating system is gradually dissipated by friction and other resistances, the vibrations are said to be damped. The vibrations gradually reduce or change in frequency or intensity or cease and the system rests in its equilibrium position. An example of this type of vibration is the vehicular suspension dampened by the shock absorber.

кількох своїх власних частотах і затухає до нерухомості.

Вимушена вібрація (коливання) – це коли до механічної системи застосовується змінне в часі збурення (навантаження, переміщення, швидкість або прискорення). Збурення може бути періодичним та стаціонарним вхідним сигналом, перехідним вхідним сигналом або випадковим вхідним сигналом. Періодичний вхідний сигнал може бути гармонійним або негармонійним збуренням. Прикладами таких типів коливань є тряска пральної машини через дисбаланс, вібрація транспортування, спричинена двигуном або нерівною дорогою, або вібрація будівлі під час землетрусу. Для лінійних систем частота стаціонарної коливальної реакції, що виникає в результаті застосування періодичного гармонійного вхідного сигналу, дорівнює частоті прикладеної сили або руху, причому величина реакції залежить від фактичної механічної системи.

Затухаюча вібрація: коли енергія вібруючої системи поступово розсіюється внаслідок тертя та інших опорів, кажуть, що вібрації затухають. Вібрації поступово зменшуються, змінюються за частотою чи інтенсивністю або припиняються, і система перебуває в рівноважному положенні. Прикладом такого типу вібрації є підвіска автомобіля, що гаситься амортизатором.

Vibrations and oscillations symbols and units

Символи і одиниці вібрацій і коливань

Table 3.2 – Vibrations and oscillations symbols and units.

Symbol	Quantity	Unit
a	Storage coefficient	
b	Damping coefficient	
c	Storage coefficient	
c	Spring constant	N/m
c_α	Torsional rigidity	N · m/rad

C	Capacity	F
f	Frequency	Hz
f_g	Resonant frequency	Hz
Δf	Half-value width	Hz
F	Force	N
F_Q	Excitation function	
I	Current	A
J	Moment of inertia	kg · m^2
L	Self-inductance	H
m	Mass	kg
M	Torque	N · m
n	Rotational speed	1/min
Q , q	Charge	C
Q	Resonance sharpness	
r	Damping factor	N · s/m
r_α	Rotational damping coefficient	N · s · m
R	Ohmic resistance	Ω
t	Time	s
T	Period	s
U	Voltage	V
v	Particle velocity	m/s
x	Travel/displacement	
y	Instantaneous value	
$\hat{y}$	Amplitude	
$\dot{y}$ ($\ddot{y}$)	Single (double) derivative with respect to time	
y_{rec}	Rectified value	
y_{eff}	Effective value	
α	Angle	rad
δ	Decay coefficient	1/s
Λ	Logarithmic decrement	
ω	Angular velocity	rad/s
ω	Angular frequency	1/s
Ω	Exciter-circuit frequency	1/s
ϑ	Damping ratio	
ϑ_{opt}	Optimum damping ratio	

Таблиця 3.2 – Символи і одиниці вібрацій і коливань.

Символ	**Величина**	**Одиниця**
a	Коефіцієнт накопичення	
b	Коефіцієнт демпфування	
c	Коефіцієнт накопичення	
c	Пружинна жорсткість	Н/м
c_α	Крутильна жорсткість	Н · м/рад
C	Ємність	Ф
f	Частота	Гц
f_g	Резонансна частота	Гц

Δf	Півзначення ширини, півширина	Гц
F	Сила	Н
F_Q	Функція збудження	
I	Струм	А
J	Момент інерції	кг · м^2
L	Самоіндуктивність	Гн
m	Маса	кг
M	Момент сили, обертальний момент, крутний момент	Н · м
n	Швидкість обертання	1/хв
Q, q	Заряд	Кл
Q	Чіткість резонансу	
r	Коефіцієнт демпфування	Н · с/м
r_α	Коефіцієнт демпфування обертання	Н · с · м
R	Омічний опір	Ом
t	Час	с
T	Період	с
U	Напруга	В
v	Швидкість частинок	м/с
x	Переміщення/зміщення	
y	Миттєве значення	
$\hat{y}$	Амплітуда	
$\dot{y}$ ($\ddot{y}$)	Перша (друга) похідна за часом	
y_{rec}	Випрямлене значення	
y_{eff}	Ефективне значення	
α	Кут	рад
δ	Коефіцієнт спаду	1/с
Λ	Логарифмічний декремент	
ω	Кутова швидкість	рад/с
ω	Кутова частота	1/с
Ω	Частота збуджувального контуру	1/с
ϑ	Коефіцієнт демпфування	
ϑ_{opt}	Оптимальний коефіцієнт демпфування	

Subscripts:
0: Undamped
d: Damped
T: Absorber
U: Base support
G: Machine

Підрядкові індекси:
0: Незатухаючий
d: Затухаючий
T: Поглинач
U: Базова опора
G: Машина

3.3 Fluid mechanics

Fluid mechanics is the branch of physics concerned with the mechanics of fluids (liquids, gases, and plasmas) and the forces on them [1]. Originally applied to

3.3 Механіка рідин

Механіка рідин – це розділ фізики, що займається механікою рідин (рідин, газів, плазми) і силами, що діють на них [1]. Спочатку використовувана до води

water (*hydromechanics*), it found applications in a wide range of disciplines, including mechanical, aerospace, civil, chemical, and biomedical engineering, as well as geophysics, oceanography, meteorology, astrophysics, and biology.

It can be divided into *fluid statics*, the study of various fluids at rest; and *fluid dynamics*, the study of the effect of forces on fluid motion [1]. It is a branch of *continuum mechanics*, a subject which models matter without using the information that it is made out of atoms; that is, it models matter from a macroscopic viewpoint rather than from microscopic.

Fluid mechanics, especially fluid dynamics, is an active field of research, typically mathematically complex. Many problems are partly or wholly unsolved and are best addressed by numerical methods, typically using computers. A modern discipline, called computational fluid dynamics (CFD), is devoted to this approach [2]. Particle image velocimetry, an experimental method for visualizing and analyzing fluid flow, also takes advantage of the highly visual nature of fluid flow.

(*гідромеханіка*), вона знайшла застосування в широкому спектрі дисциплін, включаючи механічну, аерокосмічну, цивільну, хімічну і біомедичну інженерію, а також геофізику, океанографію, метеорологію, астрофізику та біологію.

Її можна розділити на *гідростатику*, що вивчає різні рідини у стані спокою; і *гідродинаміку*, що вивчає вплив сил на рух рідини [1]. Це розділ *механіки суцільного середовища*, предмет, який моделює матерію без використання інформації про те, що вона складається з атомів; тобто моделює матерію з макроскопічної точки зору, а не з мікроскопічної.

Механіка рідин, особливо гідродинаміка, є активною галуззю досліджень, зазвичай математично складною. Багато проблем частково або повністю не вирішені і найкраще розв'язуються числовими методами, зазвичай за допомогою комп'ютерів. Сучасна дисципліна, яка називається обчислювальною гідродинамікою, присвячена цьому підходу [2]. Велосиметрія зображень частинок, експериментальний метод візуалізації і аналізу потоку рідини, також використовує переваги високовізуальної природи потоку рідини.

Main branches

Fluid statics or *hydrostatics* is the branch of fluid mechanics that studies fluids at rest. It embraces the study of the conditions under which fluids are at rest in stable equilibrium; and is contrasted with fluid dynamics, the study of fluids in motion. Hydrostatics offers physical explanations for many phenomena of everyday life, such as why atmospheric pressure changes with altitude, why wood and oil float on water, and why the surface of water is always level whatever the shape of its container. Hydrostatics is fundamental to *hydraulics*, the *engineering of equipment*

Основні галузі

Статика рідин або *гідростатика* – це розділ механіки рідин, який вивчає рідини у стані спокою. Вона охоплює вивчення умов, за яких рідини перебувають у стані спокою в стабільній рівновазі; і протиставляється гідродинаміці, вивченню рідин у русі. Гідростатика пропонує фізичні пояснення багатьох явищ повсякденного життя, таких як зміна атмосферного тиску з висотою, плавання дерева і нафти на воді, а також поверхня води завжди плоска, незалежно від форми її контейнера. Гідростатика є фундаментальною для *гідравліки*, *проектування об-*

for storing, *transporting and using fluids*. It is also relevant to some aspects of *geophysics* and *astrophysics* (for example, in understanding plate tectonics and anomalies in the Earth's gravitational field), to *meteorology*, to *medicine* (in the context of blood pressure), and many other fields.

Fluid dynamics is a subdiscipline of fluid mechanics that deals with fluid flow – the science of liquids and gases in motion [3]. Fluid dynamics offers a systematic structure – which underlies these practical disciplines – that embraces empirical and semi-empirical laws derived from flow measurement and used to solve practical problems. The solution to a fluid dynamics problem typically involves calculating various properties of the fluid, such as velocity, pressure, density, and temperature, as functions of space and time. It has several subdisciplines itself, including *aerodynamics* [4-7] (the study of air and other gases in motion) and *hydrodynamics* [8, 9] (the study of liquids in motion). Fluid dynamics has a wide range of applications, including calculating forces and movements on aircraft, determining the mass flow rate of petroleum through pipelines, predicting evolving weather patterns, understanding nebulae in interstellar space and modeling explosions. Some fluid-dynamical principles are used in traffic engineering and crowd dynamics.

ладнання для зберігання, *транспортування і використання рідин*. Вона також має відношення до деяких аспектів *геофізики* і *астрофізики* (наприклад, для розуміння тектоніки плит і аномалій у гравітаційному полі Землі), *метеорології*, *медицини* (в контексті кров'яного тиску) і багатьох інших галузей.

Динаміка рідин – це піддисципліна гідромеханіки, яка займається потоками рідини – наукою про рідини і гази в русі [3]. Динаміка рідин пропонує систематичну структуру, яка лежить в основі цих практичних дисциплін – охоплює емпіричні і напівемпіричні закони, отримані з вимірювання потоку і використовуються для вирішення практичних задач. Розв'язання задачі динаміки рідин зазвичай включає обчислення різних параметрів рідини, таких як швидкість, тиск, густина і температура, як функцій простору і часу. Вона сама має кілька піддисциплін, включаючи *аеродинаміку* [4-7] (вивчення повітря та інших газів у русі) і *гідродинаміку* [8, 9] (вивчення рідин у русі). Динаміка рідин має широкий спектр застосувань, включаючи обчислення сил і рухів на літаках, визначення масової витрати нафти через трубопроводи, прогнозування змін погодних умов, розуміння туманностей у міжзоряному просторі і моделювання вибухів. Деякі принципи гідродинаміки використовуються в дорожньому будівництві та динаміці натовпу.

Fluid mechanics symbols and units

Символи і одиниці механіки рідин

Table 3.3 – Fluid mechanics symbols and units.

Symbol	Quantity	SI unit
A	Cross-sectional area	m^2
A_b	Area of base	m^2
A_s	Area of side	m^2
F	Force	N[1])
F_a	Buoyancy force	N

F_b	Force acting on bottom	N
F_s	Force acting on sides	N
G , F_G	Weight	N
g	Acceleration of free fall g = 9.81 m/s^2	m/s^2
h	Depth of fluid	m
m	Mass	kg
p	Fluid pressure	Pa[2])
	$p_1 - p_2$ differential pressure	Pa
p_e	Gauge pressure compared with atmospheric pressure	Pa
Q	Flow rate	m^3/s
V	Volume	m^3
υ	Flow velocity	m/s
ρ	Density	kg/m^3
	Density of water[3]) ρ_w = 1 kg/dm^3 = 1000 kg/m^3	

Таблиця 3.3 – Символи і одиниці механіки рідин.

Символ	**Величина**	**Одиниця СІ**
A	Площа поперечного перерізу	м^2
A_b	Площа основи	м^2
A_s	Площа бокової поверхні	м^2
F	Сила	Н[1])
F_a	Виштовхувальна сила	Н
F_b	Сила, що діє на дно	Н
F_s	Сила, що діє на бокові поверхні	Н
G , F_G	Вага	Н
g	Прискорення вільного падіння g = 9,81 м/с^2	м/с^2
h	Глибина рідини	м
m	Маса	кг
p	Тиск рідини	Па[2])
	$p_1 - p_2$ диференціальний тиск	Па
p_e	Манометричний тиск порівняно з атмосферним тиском	Па
Q	Витрата	м^3/с
V	Об’єм	м^3
υ	Швидкість потоку	м/с
ρ	Густина	кг/м^3
	Густина води[3]) ρ_w = 1 кг/дм^3 = 1000 кг/м^3	

[1]) *1 N = 1 kg m/s^2 (see SI units).*
[2]) *1 Pa = 1 N/m^2; 1 bar = 10^5 Pa;*
1 at (= 1 kp/cm^2) = 0.981 bar ≈ 1 bar (see units for pressure).
[3]) *See Properties of liquids for densities of other*

[1]) *1 Н = 1 кг м/с^2 (див. Одиниці СІ).*
[2]) *1 Па = 1 Н/м^2; 1 бар = 10^5 Па;*
1 ат (= 1 кгс/см^2) = 0,981 бар ≈ 1 бар (див. одиниці тиску).
[3]) *Див. Властивості рідин для визначення*

fluids.

густини інших рідин.

3.4 Strength of materials

Strength of materials is the science of engineering methods for calculating the strength, stiffness and stability of structural elements, machines and structures. Strength of materials belongs to the fundamental disciplines of general engineering training of specialists with higher technical education.

This is the first discipline that establishes a connection between fundamental scientific disciplines (physics, higher mathematics and theoretical mechanics) and applied problems and methods for solving them that arise when designing machines and mechanisms, civil and industrial structures, bridges, power lines, aircraft and jet technology. Almost all special disciplines for training engineers in various specialties contain sections of the course on the strength of materials, since the creation of workable new technology is impossible without analysis and assessment of its strength, stiffness and stability.

3.4 Опір матеріалів

Опір матеріалів – наука про інженерні методи розрахунку на міцність, жорсткість і стійкість елементів конструкцій, машин і споруд. Опір матеріалів належить до фундаментальних дисциплін загальноінженерної підготовки фахівців з вищою технічною освітою.

Це перша дисципліна, що встановлює зв'язок між фундаментальними науковими дисциплінами (фізика, вища математика і теоретична механіка) і прикладними задачами і методами їхнього розв'язку, які виникають при проєктуванні машин і механізмів, цивільних і промислових споруд, мостів, ліній електропередач, літальних апаратів і реактивної техніки. Практично всі спеціальні дисципліни підготовки інженерів за різними спеціальностями містять розділи курсу опору матеріалів, оскільки створення працездатної нової техніки неможливе без аналізу і оцінки її міцності, жорсткості і стійкості.

Definition

The strength of materials is determined using various methods of calculating the *stresses* and *strains* in structural members, such as beams, columns, and shafts. The methods employed to predict the response of a structure under loading and its susceptibility to various failure modes takes into account the properties of the materials, such as *yield strength*, *ultimate strength*, *Young's modulus*, and *Poisson's ratio*. In addition, the mechanical element's macroscopic (geometric) properties, such as its length, width, thickness, boundary constraints, and abrupt changes in geometry, such as holes, are considered.

Визначення

Опір матеріалів визначається за допомогою різних методів розрахунку *напружень* і *деформацій* у конструктивних елементах, таких як балки, колони і вали. Методи, що використовуються для прогнозування реакції конструкції під навантаженням та її схильності до різних режимів руйнування, враховують властивості матеріалів, такі як *межа текучості*, *гранична міцність*, *модуль Юнга* і *коефіцієнт Пуассона*. Крім того, розглядаються макроскопічні (геометричні) властивості механічного елемента, такі як його довжина, ширина, товщина, граничні обмеження та різкі зміни

The theory began with the consideration of the behavior of one and two dimensional members of structures, whose states of stress can be approximated as two dimensional, and was then generalized to three dimensions to develop a more complete theory of the elastic and plastic behavior of materials.

Теорія почалася з розгляду поведінки одно- і двовимірних елементів конструкцій, напружені стани яких можна апроксимувати як двовимірні, а потім була узагальнена до трьох вимірів для розробки більш повної теорії пружної і пластичної поведінки матеріалів.

Strength of materials symbols and units

(see Quantities and units for names of units)

Символи і одиниці опору матеріалів

(див. у Величини і одиниці назви одиниць)

Table 3.4 – Strength of materials symbols and units.

Symbol	Quantity	Unit
A	Cross-sectional area	mm^2
E	Modulus of elasticity	N/mm^2
F	Force, load	N
G	Modulus of elasticity in shear	N/mm^2
I_a	Axial planar moment of inertia (see Section moduli and geometrical moments of inertia)	mm^4
I_p	Polar planar moment of inertia (see Section moduli and geometrical moments of inertia)	mm^4
l	Length	mm
M_b	Bending moment	$N \cdot mm$
M_t	Torque; turning moment	$N \cdot mm$
q	Knife-edge load	N/mm
R	Radius of curvature at neutral axis	mm
R_{dm}	Compression strength	N/mm^2
R_e	Yield point	N/mm^2
R_m	Tensile strength	N/mm^2
$R_{p0.2}$	0.2 % yield strength[1])	N/mm^2
S	Safety factor	–
s	Maximum deflection	mm
W_b	Section modulus under bending (see Section moduli and geometrical moments of inertia)	mm^3
W_t	Section modulus under torsion (see Section moduli and geometrical moments of inertia)	mm^3
α_k	Stress concentration factor (notch factor)	–
β_k	Fatigue-strength reduction factor	–
γ	Elastic shear	rad

δ , A	Elongation at fracture	%
ε	Elastic elongation or compression, strain	%
ω	Poisson's ratio	
σ	Stress	N/mm^2
σ_{zdw}	Reversed-bending fatigue strength	N/mm^2
σ_{gr}	Limit stress	N/mm^2
σ_D	Endurance limit = fatigue limit	N/mm^2
σ_W	Endurance limit at complete stress reversal	N/mm^2
σ_a	Stress amplitude	N/mm^2
σ_{bB}	Bending strength	N/mm^2
σ_{bF}	Elastic limit under bending	N/mm^2
σ_{bW}	Fatigue limit under reversed bending stresses	N/mm^2
τ	Shear stress	N/mm^2
τ_t	Torsional stress	N/mm^2
τ_{gr}	Torsional stress limit	N/mm^2
τ_{tB}	Torsional strength	N/mm^2
τ_{tF}	Elastic limit under torsion	N/mm^2
τ_{tW}	Fatigue limit under reversed torsional stress	N/mm^2
ψ	Angle of rotation	rad

Таблиця 3.4 – Символи і одиниці опору (міцності) матеріалів.

Символ	**Величина**	**Одиниця**
A	Площа поперечного перерізу	мм^2
E	Модуль пружності	Н/мм^2
F	Сила, навантаження	Н
G	Модуль пружності при зсуві	Н/мм^2
I_a	Осьовий площинний момент інерції (див. Момент опору і геометричні моменти інерції)	мм^4
I_p	Полярний площинний момент інерції (див. Момент опору і геометричні моменти інерції)	mm^4
l	Довжина	мм
M_b	Згинальний момент	Н · мм
M_t	Момент сили, обертальний момент, крутний момент; поворотний момент	Н · мм
q	Навантаження на лезо ножа	Н/мм
R	Радіус кривизни на нейтральній осі	мм
R_{dm}	Міцність на стиск	Н/мм^2
R_e	Межа текучості	Н/мм^2
R_m	Міцність на розтяг	Н/мм^2
$R_{p0.2}$	0,2 % межа текучості[1])	Н/мм^2
S	Коефіцієнт запасу міцності	–

s	Максимальний прогин	мм
W_b	Момент опору при згинанні (див. Момент опору і геометричні моменти інерції)	мм^3
W_t	Момент опору при крученні (див. Момент опору і геометричні моменти інерції)	мм^3
α_k	Коефіцієнт концентрації напружень (коефіцієнт надрізу)	–
β_k	Коефіцієнт зниження міцності на втому	–
γ	Пружний зсув	рад
δ , A	Подовження при розриві	%
ε	Пружне видовження або стиснення, деформація	%
ω	Коефіцієнт Пуассона	
σ	Напруження	Н/мм^2
σ_{zdw}	Міцність на втому при зворотному згинанні	Н/мм^2
σ_{gr}	Граничне напруження	Н/мм^2
σ_D	Границя витривалості = межа втоми	Н/мм^2
σ_W	Границя витривалості при повному знятті напруження	Н/мм^2
σ_a	Амплітуда напруження	Н/мм^2
σ_{bB}	Міцність на згин	Н/мм^2
σ_{bF}	Границя пружності при згинанні	Н/мм^2
σ_{bW}	Границя втоми при зворотних напруженнях згину	Н/мм^2
τ	Напруження зсуву	Н/мм^2
τ_t	Напруження кручення	Н/мм^2
τ_{gr}	Границя напруження кручення	Н/мм^2
τ_{tB}	Міцність на кручення	Н/мм^2
τ_{tF}	Границя пружності при крученні	Н/мм^2
τ_{tW}	Границя втоми при зворотних напруженнях кручення	Н/мм^2
ψ	Кут повороту	рад

[1]) *0.2 % yield strength: that stress which causes permanent deformation of 0.2 %.*
The equations in this section are general equations of quantities, i.e. they are also applicable if other units are chosen, except equations for buckling.

[1]) *Границя текучості 0,2 %: напруження, яке викликає залишкову деформацію 0,2 %.*
Рівняння в цьому розділі є загальними рівняннями величин, тобто вони також застосовні, якщо вибрано інші одиниці вимірювання, крім рівнянь для вигину.

3.5 Acoustics

Acoustic is derived from the ἀκουστικός (akoustikós), meaning «of or

3.5 Акустика

Акустична походить від ἀκουστικός (akoustikós), що означає «для слуху» і

for hearing» and «ready to hear» [10], and from ἀκουστός (akoustós), «heard, audible» [11], which in turn derives from the verb ἀκούω (akoúō), «to hear» [12].

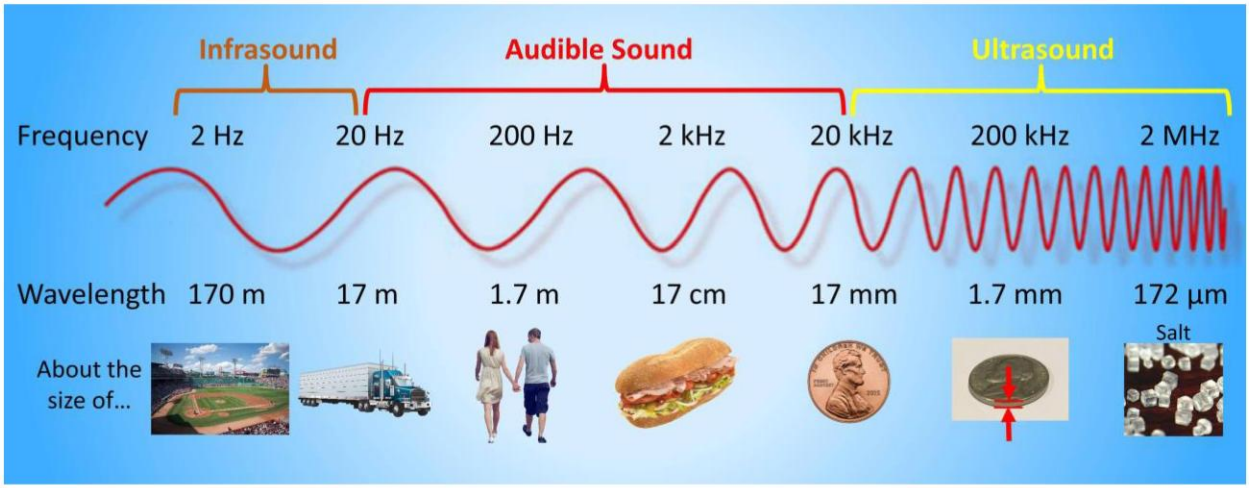
Acoustics is a branch of continuum mechanics that deals with the study of mechanical waves in gases, liquids, and solids including topics such as vibration, sound, ultrasound and infrasound. The application of acoustics is present in almost all aspects of modern society with the most obvious being the audio and noise control industries.

Hearing is one of the most crucial means of survival in the animal world and speech is one of the most distinctive characteristics of human development and culture. Accordingly, the science of acoustics spreads across many facets of human society – music, medicine, architecture, industrial production, warfare and more. Art, craft, science and technology have provoked one another to advance the whole, as in many other fields of knowledge. Robert Bruce Lindsay's «Wheel of Acoustics» is a well-accepted overview of the various fields in acoustics [13].

«готовий до чуття» [10], та від ἀκουστός (akoustós), «чутий, чутний» [11], яке, у свою чергу, походить від дієслова ἀκούω (akoúō), «чути» [12].

Акустика – це розділ механіки суцільних середовищ, який займається вивченням механічних хвиль у газах, рідинах і твердих тілах, включаючи такі теми, як вібрація, звук, ультра- та інфразвук. Застосування акустики присутнє майже у всіх аспектах сучасного суспільства, найбільш очевидним з яких є аудіо- і шумоізоляційна галузь.

Слух є одним з найважливіших засобів виживання у тваринному світі, а мова – однією з основних характеристик людського розвитку та культури. Відповідно, наука про акустику поширюється на багато аспектів людського суспільства – музику, медицину, архітектуру, промислове виробництво, війну тощо. Мистецтво, ремесло, наука та технології провокували одне одного на розвиток цілого, як і в багатьох інших галузях знань. «Колесо акустики» Роберта Брюса Ліндсея – це загальноприйнятий огляд різних галузей акустики [13].



Definition

There are many kinds of transduction processes that convert energy from some

Визначення

Існує багато видів процесів перетворення, які перетворюють енергію з якоїсь

other form into sonic energy, producing a sound wave. There is one fundamental equation that describes sound wave propagation, the *acoustic wave equation*, but the phenomena that emerge from it are varied and often complex. The wave carries energy throughout the propagating medium. Eventually this energy is transduced again into other forms, in ways that again may be natural and/or volitionally contrived. The final effect may be purely physical or it may reach far into the biological or volitional domains. The five basic steps are found equally well whether we are talking about an earthquake, a submarine using sonar to locate its foe, or a band playing in a rock concert.

The central stage in the acoustical process is wave propagation. This falls within the domain of *physical acoustics*. In fluids, sound propagates primarily as a *pressure wave*. In solids, mechanical waves can take many forms including *longitudinal waves*, *transverse waves* and *surface waves*.

Acoustics looks first at the pressure levels and frequencies in the sound wave and how the wave interacts with the environment. This interaction can be described as either a *diffraction*, *interference* or a *reflection* or a mix of the three. If several media are present, a *refraction* can also occur. Transduction processes are also of special importance to acoustics.

іншої форми на звукову енергію, створюючи звукову хвилю. Існує одне фундаментальне рівняння, яке описує поширення звукової хвилі, *рівняння акустичної хвилі*, але явища, що виникають з нього, різноманітні і часто складні. Хвиля переносить енергію по всьому середовищу, що поширюється. Зрештою, ця енергія знову перетворюється в інші форми, способами, які знову можуть бути природними та/або вольово-навмисними. Кінцевий ефект може бути суто фізичним або може сягати далеко в біологічну чи вольову сфери. П'ять основних кроків однаково добре проявляються, незалежно від того, чи говоримо ми про землетрус, підводний човен, що використовує гідролокатор для визначення місцезнаходження свого ворога, чи гурт, що грає на рок-концерті.

Центральним етапом акустичного процесу є поширення хвиль. Це належить до області *фізичної акустики*. У рідинах звук поширюється переважно як *хвиля тиску*. У твердих тілах механічні хвилі можуть приймати різні форми, включаючи *поздовжні хвилі*, *поперечні хвилі* і *поверхневі хвилі*.

Акустика спочатку розглядає рівні тиску і частоти в звуковій хвилі та те, як хвиля взаємодіє з навколишнім середовищем. Цю взаємодію можна описати як *дифракцію*, *інтерференцію* або *відбиття*, або ж як поєднання цих трьох. За наявності кількох середовищ, може також відбуватися *заломлення*. Процеси трансдукції також мають особливе значення для акустики.

Acoustics symbols and units

Quantities and units (see also DIN 1332)

Символи і одиниці акустики

Величини і одиниці (див. також DIN 1332)

Table 3.5 – Acoustics symbols and units.

Symbol	Quantity	SI unit
c	Velocity of sound	m/s
f	Frequency	Hz
I	Sound intensity	W/m^2
L_I	Sound intensity level	dB
L_{Aeq}	Equivalent continuous sound level, A-weighted	dB (A)
L_{pA}	Sound pressure level, A-weighted	dB (A)
L_r	Rating sound level	dB (A)
L_{WA}	Sound power level, A-weighted	dB (A)
P	Sound power	W
p	Sound pressure	Pa
S	Surface area	m^2
T	Reverberation time	s
υ	Particle velocity	m/s
Z	Specific acoustic impedance	Pa · s/m
α	Sound absorption coefficient	1
λ	Wavelength	m
ρ	Density	kg/m^3
ω	Angular frequency ($=2\pi \cdot f$)	1/s

Таблиця 3.5 – Символи і одиниці акустики.

Символ	Величина	Одиниця
c	Швидкість звуку	м/с
f	Частота	Гц
I	Інтенсивність звуку	Вт/м^2
L_I	Рівень інтенсивності звуку	дБ
L_{Aeq}	Еквівалентний безперервний рівень звуку, А-зважений	дБ (А)
L_{pA}	Рівень звукового тиску, А-зважений	дБ (А)
L_r	Рівень шуму	дБ (А)
L_{WA}	Рівень звукової потужності, А-зважений	дБ (А)
P	Звукова потужність	Вт
p	Звуковий тиск	Па
S	Площа поверхні	м^2
T	Час реверберації	с
υ	Швидкість частинок	м/с
Z	Питомий акустичний імпеданс	Па · с/м
α	Коефіцієнт звукопоглинання	1
λ	Довжина хвилі	м
ρ	Густина	кг/м^3
ω	Кутова частота ($=2\pi \cdot f$)	1/с

3.6 Heat

The *amount of heat* or simply *heat* is a physical quantity corresponding to energy, the transfer of which between two bodies (different parts of the body) is carried out due to the temperature difference without performing mechanical work and is not associated with the transfer of matter from one body to another. It is a characteristic of the processes of energy transfer between bodies during heat exchange.

The amount of heat is one of the main thermodynamic quantities. It is determined by the kinetic energy of microparticles (electrons, atoms, molecules, etc.) that make up the body, and the potential energy of their interaction. The heat acquired by the body is used to increase the internal energy of the body and to perform external work.

3.6 Теплота

Кількість теплоти (*кількість тепла*) або просто *теплота* – це фізична величина, що відповідає енергії, перенесення якої між двома тілами (різними ділянками тіла) здійснюється за рахунок різниці температур без виконання механічної роботи і не зв'язана з перенесенням речовини від одного тіла до іншого. Виступає характеристикою процесів передавання енергії між тілами при теплообміні.

Кількість теплоти є однією з основних термодинамічних величин. Визначається кінетичною енергією мікрочастинок (електронів, атомів, молекул тощо), з яких складається тіло, і потенціальною енергією їхньої взаємодії. Набута тілом теплота йде на збільшення внутрішньої енергії тіла і на виконання зовнішньої роботи.

Heat symbols and units

See Quantities and units for names of units, see Conversion of units of temperature for conversion of heat units and Properties of materials for thermal expansion, heat of fusion, heat of evaporation.

Символи і одиниці теплоти

Див. Величини і одиниці для назв одиниць, див. Перетворення одиниць температури для перетворення одиниць теплоти та Властивості матеріалів для теплового розширення, теплоти плавлення, теплоти випаровування.

Table 3.6 – Heat symbols and units.

Symbol	Quantity	SI unit
A	Area, cross-section	m^2
c	Specific heat capacity	J/(kg · K)
	c_p Isobaric (constant pressure)	
	c_V Isochoric (constant volume)	
H	Enthalpy (heat content)	J
k	Heat transmission coefficient	W/(m^2 · K)
m	Mass	kg
p	Pressure	Pa = N/m^2
Q	Heat	J
Q	Heat flow $= Q/Z$	W
R_m	Molar gas constant = 8.3145 J/(mol · K) (same for all gases)	J/(mol · K)

R_i	Special gas constant $R_i = R_m / M$ ($M =$ molecular weight)	J/(kg · K)
S	Entropy	J/K
s	Distance	m
T	Thermodynamic temperature $T = t + 273.15$	K
ΔT	Temperature difference $= T_1 - T_2 = t_1 - t_2$ T_1, t_1 higher temperature T_2, t_2 lower temperature	K
t	Celsius temperature	°C
V	Volume	m^3
υ	Specific volume	m^3/kg
W	Work	J
z	Time	s
α	Heat transfer coefficient α_a external, α_i internal	W/(m^2 · K)
ε	Emissivity	
λ	Thermal conductivity (see Quantities and Units for values)	W/(m · K)
ρ	Density	kg/m^3

Таблиця 3.6 – Символи і одиниці теплоти.

Символ	**Величина**	**Одиниця СІ**
A	Площа, поперечний переріз	$м^2$
c	Питома теплоємність c_p Ізобарний (постійний тиск) c_V Ізохорний (постійний об'єм)	Дж/(кг · K)
H	Ентальпія (теплоємність)	Дж
k	Коефіцієнт теплопередачі	Вт/($м^2$ · K)
m	Маса	кг
p	Тиск	Па = Н/$м^2$
Q	Теплота	Дж
Q	Тепловий потік $= Q/Z$	Вт
R_m	Молярна газова стала = 8,3145 Дж/(моль · K) (однакова для всіх газів)	Дж/(моль · K)
R_i	Спеціальна газова стала $R_i = R_m / M$ ($M =$ молекулярна маса)	Дж/(кг · K)
S	Ентропія	Дж/K
s	Відстань	м
T	Термодинамічна температура $T = t + 273.15$	K
ΔT	Різниця температур $= T_1 - T_2 = t_1 - t_2$ T_1, t_1 вища температура T_2, t_2 нижча температура	K
t	Температура за Цельсієм	°C
V	Об'єм	$м^3$
υ	Питомий об'єм	$м^3$/кг

W	Робота	Дж
z	Час	с
α	Коефіцієнт теплопередачі α_a зовнішній, α_i внутрішній	Вт/(м^2 · К)
ε	Випромінювальна здатність	
λ	Теплопровідність (див. значення у Величини і одиниці)	Вт/(м · К)
ρ	Густина	кг/м^3

Conversion from outdated units (see also Quantities and units)

1 kcal (kilocalorie) = 4186.8 J ≈ ≈ 4200 J ≈ 4.2 kJ

1 kcal/(m · h · grd) = 1.163 W/(m · K)

Перетворення із застарілих одиниць (див. також Величини і одиниці)

1 ккал (кілокалорій) = 4186,8 Дж ≈ ≈ 4200 Дж ≈ 4,2 кДж

1 ккал/(м · год · грд) = = 1,163 Вт/(м · К)

3.7 Electrical engineering

Electrical engineering is an engineering discipline concerned with the study, design, and application of equipment, devices, and systems that use *electricity*, *electronics*, and *electromagnetism*. It emerged as an identifiable occupation in the latter half of the 19th century after the commercialization of the electric telegraph, the telephone, and electrical power generation, distribution, and use.

Electrical engineering is divided into a wide range of different fields, including *computer engineering*, *systems engineering*, *power engineering*, *telecommunications*, *radio-frequency engineering*, *signal processing*, *instrumentation*, *control engineering*, *photovoltaic cells*, *electronics*, and *optics* and *photonics*. Many of these disciplines overlap with other engineering branches, spanning a huge number of specializations including *hardware engineering*, *power electronics*, *electromagnetics and waves*, *microwave engineering*, *nanotechnology*, *electrochemistry*, *renewable energies*, *mechatronics/control*, and *electrical materials science*. Electrical engineers also

3.7 Електрична інженерія
(Електротехніка)

Електротехніка – це інженерна дисципліна, що займається вивченням, проектуванням та застосуванням обладнання, пристроїв та систем, що використовують *електрику*, *електроніку* і *електромагнетизм*. Вона виникла як окрема професія у другій половині 19 ст. після комерціалізації електричного телеграфу, телефону, а також виробництва, розподілу і використання електроенергії.

Електротехніка поділяється на широкий спектр різних галузей, включаючи *комп'ютерну інженерію*, *системну інженерію*, *енергетику*, *телекомунікації*, *радіочастотну інженерію*, *обробку сигналів*, *приладобудування*, *інженерію керування*, *фотоелектричні елементи*, *електроніку*, *оптику* і *фотоніку*. Багато з цих дисциплін перетинаються з іншими інженерними галузями, охоплюючи величезну кількість спеціалізацій, включаючи *апаратну інженерію*, *силову електроніку*, *електромагнітику і хвилі*, *мікрохвильову інженерію*, *нанотехнології*, *електрохімію*, *відновлювані джерела енергії*, *мехатроніку/керування* і *електроматеріалознавство*. Інженери-

study machine learning and computer science techniques due to significant overlap.

Subfields

Electrical engineering has many subdisciplines, the most common of which are listed below. Although there are electrical engineers who focus exclusively on one of these subdisciplines, many deal with a combination of them. Sometimes, certain fields, such as *electronic engineering* and *computer engineering*, are considered disciplines in their own right.

Power & Energy engineering deals with the generation, transmission, and distribution of electricity as well as the design of a range of related devices [14]. These include *transformers*, *electric generators*, *electric motors*, *high voltage engineering*, and *power electronics*.

Telecommunications engineering focuses on the transmission of information across a *communication channel* such as a *coax cable*, *optical fiber* or *free space* [15]. Transmissions across free space require information to be encoded in a *carrier signal* to shift the information to a carrier frequency suitable for transmission; this is known as *modulation*. Popular analog modulation techniques include *amplitude modulation* and *frequency modulation* [16]. The choice of modulation affects the cost and performance of a system and these two factors must be balanced carefully by the engineer.

Control engineering focuses on the *modeling* of a diverse range of *dynamic systems* and the design of *controllers* that will cause these systems to behave in the desired manner [17]. To implement such controllers, electronics control engineers may use *electronic circuits*, *digital signal processors*, *microcontrollers*, and *programmable logic controllers* (PLCs).

електрики також вивчають методи машинного навчання та інформатики через значне перекриття.

Підгалузі

Електротехніка має багато піддисциплін, найпоширеніші з яких перелічені нижче. Хоча є інженери-електрики, які зосереджуються виключно на одній із цих піддисциплін, багато хто займається їх поєднанням. Іноді певні галузі, такі як *електронна інженерія* і *комп'ютерна інженерія*, вважаються самостійними дисциплінами.

Енергетика і енергетична інженерія займається виробництвом, передачею і розподілом електроенергії, а також проектуванням низки пов'язаних пристроїв [14]. До них належать *трансформатори*, *електрогенератори*, *електродвигуни*, *високовольтна інженерія* і *силова електроніка*.

Телекомунікаційна інженерія зосереджена на передачі інформації через *канал зв'язку*, такий як *коаксіальний кабель*, *оптичне волокно* чи *вільний простір* [15]. Передачі у вільному просторі вимагають кодування інформації в *несучому сигналі* для зміщення інформації на несучу частоту, придатну для передачі; це називається *модуляцією*. Популярні методи аналогової модуляції включають *амплітудну модуляцію* і *частотну модуляцію* [16]. Вибір модуляції впливає на вартість і продуктивність системи, і ці два фактори повинні бути ретельно збалансовані інженером.

Інженерія управління зосереджена на *моделюванні* різноманітних *динамічних систем* і проектуванні *контролерів*, які змушуватимуть ці системи поводитися бажаним чином [17]. Для реалізації таких контролерів інженери з управління електронікою можуть використовувати *електронні схеми*, *цифрові сигнальні про-*

Control engineering has a wide range of applications from the flight and propulsion systems of *commercial airliners* to the *cruise control* present in many modern *automobiles* [18]. It also plays an important role in *industrial automation*.

Electronic engineering involves the design and testing of *electronic circuits* that use the properties of components such as *resistors*, *capacitors*, *inductors*, *diodes*, and *transistors* to achieve a particular functionality [19]. The *tuned circuit*, which allows the user of a radio to *filter* out all but a single station, is just one example of such a circuit. Another example to research is a pneumatic signal conditioner.

Microelectronics engineering deals with the design and *microfabrication* of very small electronic circuit components for use in an *integrated circuit* or sometimes for use on their own as a general electronic component [20]. The most common microelectronic components are *semiconductor transistors*, although all main electronic components (*resistors*, *capacitors* etc.) can be created at a microscopic level.

Nanoelectronics is the further scaling of devices down to nanometer levels. Modern devices are already in the *nanometer* regime, with below 100 nm processing having been standard since around 2002 [21].

Microelectronic components are created by chemically fabricating wafers of semiconductors such as silicon (at higher frequencies, *compound semiconductors* like gallium arsenide and indium phosphide can be used) to obtain the desired transport of electric charge and current. The field of microelectronics involves a significant amount of chemistry and material science and requires the electronic engineer to have a working knowledge of the effects of *quantum mechanics* [22].

Signal processing deals with the

цесори, *мікроконтролери* і *програмовані логічні контролери* (ПЛК). Інженерія управління має широкий спектр застосувань: від систем польоту і руху *комерційних авіалайнерів* до *круїз-контролю*, присутнього в багатьох сучасних автомобілях [18]. Вона також відіграє важливу роль у *промисловій автоматизації*.

Електронна інженерія включає проектування і тестування *електронних схем*, які використовують властивості таких компонентів, як *резистори*, *конденсатори*, *індуктори*, *діоди* і *транзистори*, для досягнення певної функціональності [19]. *Резонансна схема*, яка дозволяє користувачеві радіо *фільтрувати* всі станції, крім однієї, є лише одним прикладом такої схеми. Іншим прикладом для дослідження є пневматичний стабілізатор сигналу.

Мікроелектронна інженерія займається проектуванням і *мікровиготовленням* дуже малих компонентів електронних схем для використання в *інтегральних схемах* чи іноді для використання самостійно як загальний електронний компонент [20]. Найпоширенішими мікроелектронними компонентами є *напівпровідникові транзистори*, хоча всі основні електронні компоненти (*резистори*, *конденсатори* тощо) можуть бути створені на мікроскопічному рівні.

Наноелектроніка – це подальше зменшення розмірів пристроїв до *нанометрового* рівня. Сучасні пристрої вже знаходяться в нанометровому режимі, причому обробка нижче 100 нм є стандартом приблизно з 2002 року [21].

Мікроелектронні компоненти створюються шляхом хімічного виготовлення пластин напівпровідників, таких як кремній (на вищих частотах, *складні напівпровідники*, такі як арсенід галію і фосфід індію), для отримання бажаного переносу електронного заряду і струму. Галузь мікроелектроніки включає значну

analysis and manipulation of *signals* [23] Signals can be either *analog*, in which case the signal varies continuously according to the information, or *digital*, in which case the signal varies according to a series of discrete values representing the information. For analog signals, signal processing may involve the *amplification* and *filtering* of audio signals for audio equipment or the *modulation* and *demodulation* of signals for telecommunications. For digital signals, signal processing may involve the *compression*, *error detection* and *error correction* of digitally sampled signals [24].

Signal processing is a mathematically oriented area forming the core of *digital signal processing* and is rapidly expanding with new applications in multiple fields of electrical engineering such as communications, control, radar, *audio engineering*, *broadcast engineering*, power electronics, and *biomedical engineering* as many already existing analog systems are replaced with their digital counterparts. *Analog signal processing* is still important in the design of many *control systems*.

Instrumentation engineering deals with the design of devices to measure physical quantities such as *pressure*, *flow*, and *temperature* [25]. The design of such instruments requires a good understanding of physics that often extends beyond *electromagnetic theory*. For example, flight instruments measure variables such as wind speed and altitude to enable pilots the control of aircraft analytically. Similarly, *thermocouples* use the *Peltier-Seebeck effect* to measure the temperature difference between two points [26].

Often instrumentation is not used by itself, but instead as the *sensors* of larger electrical systems. For example, a thermocouple might be used to help ensure a furnace's temperature remains constant [27]. For this reason, instrumentation engineering is often viewed as the

кількість хімії і матеріалознавства і вимагає від інженера-електроніка практичних знань ефектів *квантової механіки* [22].

Обробка сигналів займається аналізом і маніпулюванням *сигналами* [23]. Сигнали можуть бути *аналоговими*, і в цьому випадку сигнал змінюється безперервно відповідно до інформації, або *цифровими*, і в цьому випадку сигнал змінюється відповідно до серії дискретних значень, що представляють інформацію. Для аналогових сигналів обробка сигналів може включати *посилення* і *фільтрацію* аудіосигналів для аудіообладнання або *модуляцію* і *демодуляцію* сигналів для телекомунікацій. Для цифрових сигналів обробка сигналів може включати *стиснення*, *виявлення помилок* і *корекцію помилок* цифрової дискретизації сигналів [24].

Обробка сигналів – це математично орієнтована область, що формує основу *цифрової обробки сигналів* і швидко розширюється завдяки новим застосуванням у багатьох галузях електротехніки, таких як зв'язок, управління, радар, *аудіотехніка*, *радіомовлення*, силова електроніка і *біомедична інженерія*, оскільки багато вже існуючих аналогових систем замінюються їхніми цифровими аналогами. *Аналогова обробка сигналів* все ще важлива при проектуванні багатьох *систем керування*.

Приладобудування займається проектуванням пристроїв для вимірювання фізичних величин, таких як *тиск*, *витрата* і *температура* [25]. Проектування таких приладів вимагає гарного розуміння фізики, яке часто виходить за рамки *електромагнітної теорії*. Наприклад, авіаційні прилади вимірюють такі змінні, як швидкість вітру і висота, щоб пілоти могли аналітично керувати літаком. Аналогічно, *термопари* використовують *ефект Пельтьє-Зеєбека* для вимірювання різниці температур між двома

counterpart of control.

Computer engineering deals with the design of computers and *computer systems*. This may involve the design of new *hardware*. Computer engineers may also work on a system's *software*. However, the design of complex software systems is often the domain of software engineering, which is usually considered a separate discipline [28]. Desktop computers represent a tiny fraction of the devices a computer engineer might work on, as computer-like architectures are now found in a range of *embedded devices* including *video game consoles* and *DVD players*. Computer engineers are involved in many hardware and software aspects of computing [29]. *Robots* are one of the applications of computer engineering.

Photonics and *optics* deals with the generation, transmission, amplification, modulation, detection, and analysis of *electromagnetic radiation*. The application of optics deals with design of optical instruments such as *lenses*, *microscopes*, *telescopes*, and other equipment that uses the properties of electromagnetic radiation. Other prominent applications of optics include *electro-optical sensors* and measurement systems, *lasers*, *fiber-optic communication* systems, and optical disc systems (e.g. CD and DVD). Photonics builds heavily on optical technology, supplemented with modern developments such as *optoelectronics* (mostly involving *semiconductors*), laser systems, *optical amplifiers* and novel materials (e.g. *metamaterials*).

точками [26].

Часто прилади використовуються не самі по собі, а як *датчики* більших електричних систем. Наприклад, термопара може використовуватися для забезпечення постійної температури печі [27]. З цієї причини приладобудування часто розглядається як аналог керування.

Комп'ютерна інженерія займається проектуванням комп'ютерів і *комп'ютерних систем*. Це може включати проектування нового *обладнання*. Комп'ютерні інженери також можуть працювати над *програмним забезпеченням* системи. Однак проектування складних програмних систем часто є сферою програмної інженерії, яка зазвичай вважається окремою дисципліною [28]. *Настільні комп'ютери* становлять незначну частину пристроїв, над якими може працювати комп'ютерний інженер, оскільки комп'ютероподібні архітектури зараз зустрічаються в низці *вбудованих пристроїв*, включаючи *ігрові консолі* і *DVD-програвачі*. Комп'ютерні інженери залучені до багатьох апаратних і програмних аспектів обчислень [29]. *Роботи* є одним із застосувань комп'ютерної інженерії.

Фотоніка і оптика займаються генерацією, передачею, посиленням, модуляцією, виявленням і аналізом *електромагнітного випромінювання*. Застосування оптики пов'язане з проектуванням оптичних приладів, таких як *лінзи*, *мікроскопи*, *телескопи* і інше обладнання, яке використовує властивості електромагнітного випромінювання. Інші важливі застосування оптики включають *електрооптичні датчики* і вимірювальні системи, *лазери*, *волоконно-оптичні* системи зв'язку і системи оптичних дисків (наприклад, CD та DVD). Фотоніка значною мірою спирається на оптичні технології, доповнені сучасними розробками, такими як *оптоелектроніка* (здебільшого пов'язана з *напівпровідниками*), лазерні

системи, *оптичні підсилювачі* і нові матеріали (наприклад, *метаматеріали*).

Electrical engineering symbols and units

Символи і одиниці електричної інженерії

Table 3.7 – Electrical engineering symbols and units.

Symbol	Quantity	SI unit
A	Area	m^2
a	Distance	m
B	Magnetic flux density, induction	$T = Wb/m^2 = V \cdot s/m^2$
C	Capacitance	$F = C/V$
D	Electrical flux density, displacement	C/m^2
E	Electric field strength	V/m
F	Force	N
f	Frequency	Hz
G	Conductance	$S = 1/\Omega$
H	Magnetic field strength	A/m
I	Current	A
J	Magnetic polarization	T
k	Electrochemical equivalent[1])	kg/C
L	Inductance	$H = Wb/A = V \cdot s/A$
l	Length	m
M	Electric polarization	C/m^2
P	Power	$W = V \cdot A$
P_s	Apparent power[2])	$V \cdot A$
P_q	Reactive power[3])	var
Q, q	Quantity of electricity, electric charge	$C = A \cdot s$
q	Cross-sectional area	m^2
R	Electrical resistance	$\Omega = V/A$
t	Time	s
r	Radius	m
U	Voltage	V
V	Magnetic potential	A
W	Work, energy	$J = W \cdot s$
w	Number of turns in winding	–
X	Reactance	Ω
Z	Impedance	Ω
ε	Dielectric constant	$F/m = C/(V \cdot m)$
ε_0	Electric field constant $= 8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m	
ε_r	Relative permittivity	–
θ	Current linkage	A
μ	Permeability	$H/m = V \cdot s/(A \cdot m)$
μ_0	Magnetic field constant $= 1.257 \cdot 10^{-6}$ H/m	
μ_r	Relative permeability	–
ρ	Resistivity[4])	$\Omega \cdot m$

σ	Specific conductance ($=1/\rho$)	$1/(\Omega \cdot m)$
Φ	Magnetic flux	$Wb = V \cdot s$
φ	Phase displacement angle	° (degrees)
φ	(P) Potential at point P	V
ω	Angular frequency ($=2\pi \cdot f$)	Hz

Таблиця 3.7 – Символи і одиниці електричної інженерії.

Символ	**Величина**	**Одиниця СІ**
A	Площа	$м^2$
a	Відстань	м
B	Густина магнітного потоку, індукція	$Тл = Вб/м^2 = В \cdot с/м^2$
C	Ємність	$Ф = Кл/В$
D	Густина електричного потоку, зміщення	$Кл/м^2$
E	Напруженість електричного поля	В/м
F	Сила	Н
f	Частота	Гц
G	Провідність	$См = 1/Ом$
H	Напруженість магнітного поля	А/м
I	Струм	А
J	Магнітна поляризація	Тл
k	Електрохімічний еквівалент[1])	кг/Кл
L	Індуктивність	$Гн = Вб/А = В \cdot s/А$
l	Довжина	м
M	Електрична поляризація	$Кл/м^2$
P	Потужність	$Вт = В \cdot А$
P_s	Повна потужність[2])	$В \cdot А$
P_q	Реактивна потужність[3])	вар
Q, q	Кількість електрики, електричний заряд	$Кл = А \cdot с$
q	Площа поперечного перерізу	$м^2$
R	Електричний опір	$Ом = В/А$
t	Час	с
r	Радіус	м
U	Напруга	В
V	Магнітний потенціал	А
W	Робота, енергія	$Дж = Вт \cdot с$
w	Кількість витків в обмотці	–
X	Реактивний опір	Ом
Z	Імпеданс	Ом
ε	Діелектрична проникність	$Ф/м = Кл/(В \cdot м)$
ε_0	Постійна електричного поля $= 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	
ε_r	Відносна діелектрична проникність	–
θ	Струмозв'язок	А
μ	Проникність	$Гн/м = В \cdot с/(А \cdot м)$
μ_0	Постійна магнітного поля $= 1{,}257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м	
μ_r	Відносна проникність	–

ρ	Питомий опір[4])	Ом · м
σ	Питома провідність ($=1/\rho$)	1/(Ом · м)
Ф	Магнітний потік	Вб = В · с
φ	Кут фазового зсуву	° (градуси)
φ	(Р) Потенціал у точці Р	В
ω	Кутова частота ($=2\pi \cdot f$)	Гц

Additional symbols and units are given in the text.

[1]) *The unit in common use is g/C.*

[2]) *Apparent power is usually given in V · A rather than in W.*

[3]) *Reactive power is usually given in var (volt-ampere reactive) rather than in W.*

[4]) *The unit in common use is Ω mm²/m, with the wire cross-section in mm² and wire length in m; conversion: 1 Ω mm²/m = 10⁻⁶ Ωm = 1 μΩm.*

Додаткові символи і одиниці наведено в тексті.

[1]) *Загальноприйнята одиниця – г/Кл.*

[2]) *Повна потужність зазвичай подається у В · А, а не у Вт.*

[3]) *Реактивна потужність зазвичай подається у варах (вольт-ампер реактивна), а не у Вт.*

[4]) *Загальноприйнята одиниця – Ом мм²/м, з поперечним перерізом дроту в мм² і довжиною дроту в м; перетворення:*
1 Ом мм²/м = 10⁻⁶ Ом · м = 1 мкОм · м.

Conversion of obsolete units (see Quantities and units)

Magnetic field strength H:
1 Oe (oersted) = 79.577 A/m
Magnetic flux density B:
1 G (gauss) = 10^{-4} T
Magnetic flux Φ:
1 M (maxwell) = 10^{-8} Wb

Перетворення застарілих одиниць (див. Величини і одиниці)

Напруженість магнітного поля H:
1 Е (ерстед) = 79,577 А/м
Густина магнітного потоку B:
1 Гс (гаус) = 10^{-4} Тл
Магнітний потік Φ:
1 М (максвелл) = 10^{-8} Вб

3.8 Actuators

Actuator – in *automatic control systems* – a device that directly performs mechanical movement (or rotation) of the control body of the control object and changes its state.

They constitute one of the last links of the automatic control system. They are used to control control bodies. The actuator, as a rule, consists of three main devices: a *servomotor* (*servomotor*), a *power source* and a *load*.

By the type of energy consumed, actuators are divided into *electric*, *pneumatic* and *hydraulic*. Electric VMs are the most widespread. Pneumatic and hydraulic actuators are used when it is necessary to obtain high power when

3.8 Приводи
(Виконавчі механізми)

Привод, *виконавчий механізм*, *виконавчий елемент* (англ. *actuator*) – у *системах автоматичного регулювання* – пристрій, що безпосередньо здійснює механічне переміщення (чи поворот) органу регулювання об'єкта управління і змінює його стан.

Складають одну з останніх ланок системи автоматичного регулювання. Використовуються для управління органами регулювання. Приводи, як правило, складається з трьох основних пристроїв: *сервомотора* (*серводвигуна*), *джерела живлення* і *навантаження*.

За видом споживаної енергії приводи поділяють на *електричні*, *пневматичні* і *гідравлічні*. Найбільшого поширення

moving the working body and in explosive environments.

The designs of actuators are diverse. First of all, they differ in the nature of the movement of the output link (*direct* and *rotary*) and in the type of sensitive element that converts the energy of the command signal into the movement of the output link. The type of energy used also affects the design of the actuator.

набули електричні приводи. Пневматичні і гідравлічні приводи застосовуються у разі необхідності отримання великої потужності при переміщенні робочого органу і у вибухонебезпечних середовищах.

Конструкції приводів різноманітні. У першу чергу вони розрізняються за характером руху вихідної ланки (*прямохідні* і *поворотні*) і за видом чутливого елемента, який перетворює енергію командного сигналу в переміщення вихідної ланки. Вид використовуваної енергії також позначається на конструктивному оформленні приводу.

Types of actuators

Mechanical. An actuator can be just a *mechanism* that is directly driven by the motions or forces of other parts of the system. An example is the camshafts that drive the intake and exhaust valves in *internal combustion engines*, driven by the engine itself. Another example is the mechanism that strikes the hours in a traditional *grandfather clock* or *cuckoo clock*.

A *hydraulic actuator* typically uses the pressure of a liquid (usually oil) to cause a piston to slide inside a hollow cylindrical tube into linear, rotary, or oscillatory motion.

Since liquids are nearly impossible to compress, a hydraulic actuator can exert a large force. The drawback of this approach is its limited acceleration. They respond quickly to input changes, have little inertia, can operate continuously over a relatively large working range, and can hold their position without any significant energy input.

A hydraulic actuator can be used to displace the rack of a rack and pinion mechanism, causing the pinion to turn. This arrangement is used, for example, to operate

Типи приводів

Механічний. Привід може бути просто *механізмом*, який безпосередньо приводиться в дію рухами або силами інших частин системи. Прикладом є розподільні вали, що приводять в дію впускні і випускні клапани в двигунах внутрішнього згоряння, що приводяться в рух самим двигуном. Іншим прикладом є механізм, який відбиває години в традиційному *годиннику-дідусі* або *годиннику з зозулею*.

Гідравлічний привід зазвичай використовує тиск рідини (зазвичай масла), щоб змусити поршень ковзати всередині порожнистої циліндричної трубки здійснюючи лінійний, обертальний або коливальний рух.

Оскільки рідини майже неможливо стиснути, гідравлічний привід може створювати велику силу. Недоліком цього підходу є його обмежене прискорення. Вони швидко реагують на зміни вхідних даних, мають невелику інерцію, можуть працювати безперервно у відносно великому робочому діапазоні та можуть утримувати своє положення без значних витрат енергії.

Гідравлічний привід може бути використаний для зміщення рейки

valves in pipelines and other industrial fluid transport installations [30].

A *pneumatic actuator* is similar to a hydraulic one but uses a gas (usually air) instead of a liquid [31]. Compared to hydraulic actuators, pneumatic ones are less complicated because they do not need pipes for the return and recycling of the working fluid. On the other hand, they still need external infrastructure such as compressors, reservoirs, filters, and air treatment subsystems, which often makes them less convenient than electrical or electromechanical actuators.

An *electric actuator* typically uses an electric motor to generate torque, which is then converted into linear or rotary motion to drive a mechanical system [32]. Electric actuators can be classified in the following groups:

an *electromechanical actuator* (*EMA*) uses mechanical means to convert the rotational force of an ordinary (rotary) electric motor into a linear movement. The mechanism may be a toothed belt or a screw (either a ball or a lead screw or planetary roller screw).

another approach is an *electrohydraulic actuator*, where the electric motor remains the prime mover but provides torque to operate a hydraulic accumulator that is then used to transmit actuation force in much the same way that diesel engine/hydraulics are typically used in heavy equipment.

electric rotary actuators use a rotary motor to turn the target part over a certain angle [33]. Rotary actuators can have up to a rotation of 360 degrees. This allows it to differ from a linear motor as the linear is bound to a set distance compared to the rotary motor. Rotary motors have the ability to be set at any given degree in a field making the device easier to set up still with durability and a set torque.

a *linear electric actuator* uses a linear

рейкового механізму, що призводить до обертання шестерні. Така конструкція використовується, наприклад, для керування клапанами в трубопроводах та інших промислових установках для транспортування рідин [30].

Пневматичний привід подібний до гідравлічного, але використовує газ (зазвичай повітря) замість рідини [31]. Порівняно з гідравлічними приводами, пневматичні менш складні, оскільки їм не потрібні труби для повернення і рециркуляції робочої рідини. З іншого боку, їм все ще потрібна зовнішня інфраструктура, така як компресори, резервуари, фільтри і підсистеми очищення повітря, що часто робить їх менш зручними, ніж електричні або електромеханічні приводи.

Електричний привід зазвичай використовує електродвигун для створення крутного моменту, який потім перетворюється на лінійний або обертальний рух для керування механічною системою [32]. Електричні приводи можна класифікувати за такими групами:

електромеханічний привід (*ЕМП*) використовує механічні засоби для перетворення обертальної сили звичайного (роторного) електродвигуна на лінійний рух. Механізм може бути зубчастим ременем або гвинтом (кульковим, ходовим або планетарним роликовим гвинтом);

інший підхід – це *електрогідравлічний привід*, де електродвигун залишається основним двигуном, але забезпечує крутний момент для роботи гідравлічного акумулятора, який потім використовується для передачі сили спрацьовування, так само, як дизельний двигун/гідравліка зазвичай використовуються у важкій техніці;

електричні поворотні приводи використовують поворотний двигун для повороту цільової деталі на певний кут [33]. Поворотні приводи можуть мати поворот до 360 градусів. Це дозволяє їм ві-

motor, which can be thought as a rotary electric motor which has been cut and unrolled. Thus, instead of producing a rotational movement, it produces a linear force along their length. Because it generally has lower friction losses than the alternatives, a linear electric actuator can last over a hundred million cycles.

Thermal. An actuator may be driven by heat through the expansion that most solid material exhibit when the temperature increases. This principle is commonly used, for example, to operate electric switches in thermostats. Typically, a (non-electronic) thermostat contains a strip with two layers of different metals, that will bend when heated.

Thermal actuators may also exploit the properties of shape-memory alloys [34].

Magnetic actuators are driven by externally applied magnetic fields. They typically contain parts made of ferromagnetic materials that are strongly attracted to each other when they are magnetized by the external field. An example are the reed switches that may be used as door opening sensors in a building security system.

Alternatively, magnetic actuators can use magnetic shape-memory alloys.

A *soft actuator* is made of a flexible material that changes its shape in response to stimuli including mechanical, thermal, magnetic, and electrical. Soft actuators mainly deal with the robotics of humans rather than industry which is what most of the actuators are used for. For most actuators they are mechanically durable yet do not have an ability to adapt compared to soft actuators. The soft actuators apply to mainly safety and healthcare for humans which is why they are able to adapt to environments by disassembling their parts [35].

дрізнятися від лінійного двигуна, оскільки лінійний двигун обмежений заданою відстанню порівняно з поворотним двигуном. Поворотні двигуни мають можливість встановлення на будь-який заданий градус у полі, що полегшує налаштування пристрою, зберігаючи при цьому довговічність та заданий крутний момент;

лінійний електричний привід використовує лінійний двигун, який можна розглядати як порізаний і розгорнутий обертовий електродвигун. Таким чином, замість того, щоб створювати обертальний рух, він створює лінійну силу вздовж своєї довжини. Оскільки він зазвичай має менші втрати на тертя, ніж альтернативи, лінійний електричний привід може витримати понад сто мільйонів циклів.

Термічний. Привід може приводитися в рух теплом через розширення, яке проявляє більшість твердих матеріалів при підвищенні температури. Цей принцип зазвичай використовується, наприклад, для керування електричними вимикачами в термостатах. Як правило, (неелектронний) Термостат містить смужку з двома шарами різних металів, які згинаються при нагріванні.

Термоприводи також можуть використовувати властивості сплавів з пам’яттю форми [34].

Магнітні приводи керуються зовнішніми магнітними полями. Зазвичай вони містять деталі, виготовлені з феромагнітних матеріалів, які сильно притягуються одна до одної, коли їх намагнічує зовнішнє поле. Прикладом є геркони, які можуть використовуватися як датчики відкриття дверей у системі безпеки будівель.

Альтернативно, магнітні приводи можуть використовувати магнітні сплави з пам'яттю форми.

М’який привод виготовлений з гнуч-

кого матеріалу, який змінює свою форму у відповідь на подразники, включаючи механічні, теплові, магнітні і електричні. М'які приводи в основному стосуються робототехніки людей, а не промисловості, для якої використовується більшість приводів. Більшість приводів механічно міцні, але не мають здатності адаптуватися порівняно з м'якими приводами. М'які приводи застосовуються в основному для безпеки і охорони здоров'я людей, тому вони здатні адаптуватися до навколишнього середовища шляхом розбирання своїх частин [35].

Actuators symbols and units

Символи і одиниці приводів

Table 3.8 – Actuators symbols and units.

Symbol	Quantity	Unit
A	Pole face; piston surface area	mm^2
B	Magnetic induction or magnetic flux density	T
F	Force	N
I	Electric current	A
l	Length of conductor in field	mm
M	Torque	$N \cdot m$
p	Pressure	Pa
Q	Volume rate of flow	l/min
Q_W	Heat flow	W
s	Distance, piston travel	mm
V	Volume	mm^3
V_{th}	Displaced volume per rotation	mm^3
α	Angle between current flow direction and magnetic lines of force	°
δ	Air-gap length	mm
μ_0	Permeability constant	
φ	Rotation angle	°

Таблиця 3.8 – Символи і одиниці приводів.

Символ	Величина	Одиниця
A	Поверхня полюса; площа поверхні поршня	$мм^2$
B	Магнітна індукція або густина (щільність) магнітна потоку	Тл
F	Сила	Н
I	Електричний струм	А
l	Довжина провідника в полі	мм

M	Момент сили, крутний момент	Н · м
p	Тиск	Па
Q	Об'ємна швидкість потоку	л/хв
Q_W	Тепловий потік	Вт
s	Відстань, хід поршня	мм
V	Об'єм	мм^3
V_{th}	Об'єм, що переміщується за оберт	мм^3
α	Кут між напрямком потоку струму та магнітними силовими лініями	°
δ	Довжина повітряного зазору	мм
μ_0	Константа проникності	
φ	Кут повороту	°

3.9 Technical optics

Optics is the branch of physics that studies the behaviour, manipulation, and detection of electromagnetic radiation, including its interactions with matter and instruments that use or detect it [36]. Optics usually describes the behaviour of *visible*, *ultraviolet*, and *infrared* light [37, 38]. The study of optics extends to other forms of electromagnetic radiation [36], including *radio waves* [39], *microwaves* [40], and *X-rays* [41]. The term optics is also applied to technology for manipulating beams of elementary charged particles [42].

Optical science

Most optical phenomena can be accounted for by using the classical electromagnetic description of light, however, complete electromagnetic descriptions of light are often difficult to apply in practice. Practical optics is usually done using simplified models. The most common of these, *geometric optics*, treats light as a collection of rays that travel in straight lines and bend when they pass through or reflect from surfaces. *Physical optics* is a more comprehensive model of

3.9 Технічна оптика

Оптика – це розділ фізики, що вивчає поведінку, маніпулювання і виявлення електромагнітного випромінювання, включаючи його взаємодію з речовиною і приладами, які його використовують чи виявляють [36]. Оптика зазвичай описує поведінку *видимого*, *ультрафіолетового* і *інфрачервоного* світла [37, 38]. Вивчення оптики поширюється на інші форми електромагнітного випромінювання [36], включаючи *радіохвилі* [39], *мікрохвилі* [40], і *X-промені* [41]. Термін «оптика» також застосовується до технології маніпулювання пучками елементарних заряджених частинок [42].

Оптична наука

Більшість оптичних явищ можна пояснити за допомогою класичного електромагнітного опису світла, проте повні електромагнітні описи світла часто важко застосувати на практиці. Практична оптика зазвичай виконується за допомогою спрощених моделей. Найпоширеніша з них, *геометрична оптика*, розглядає світло як сукупність променів, що рухаються по прямих лініях і згинаються, коли проходять через поверхні або відбиваються від них. *Фізична оптика* є

light, which includes wave effects such as *diffraction* and *interference* that cannot be accounted for in geometric optics. Historically, the ray-based model of light was developed first, followed by the wave model of light.

Some phenomena depend on light having both *wave-like and particle-like properties*. Explanation of these effects requires *quantum mechanics*. When considering light's particle-like properties, the light is modelled as a collection of particles called «*photons*». *Quantum optics* deals with the application of quantum mechanics to optical systems.

Optical science is relevant to and studied in many related disciplines including *astronomy*, various *engineering* fields, *photography*, and *medicine*, especially in *radiographic* methods such as *beam radiation therapy* and *CT scans* [43], and in the physiological optical fields of *ophthalmology* and *optometry*. Practical applications of optics are found in a variety of technologies and everyday objects, including *mirrors*, *lenses*, *telescopes*, *microscopes*, *lasers*, and *fibre optics*.

Optical engineering

Technical optics (*optical engineering*) is the field of engineering encompassing the physical phenomena and technologies associated with the generation, transmission, manipulation, detection, and utilization of light [44]. Optical engineers use the science of optics to solve problems and to design and build devices that make light do something useful [45]. They design and operate optical equipment that uses the properties of light using physics and chemistry [46], such as lenses, microscopes, telescopes, lasers, sensors, fiber-optic communication systems and optical disc systems (e.g. CD, DVD).

більш повною моделлю світла, яка включає хвильові ефекти, такі як *дифракція* і *інтерференція*, які неможливо врахувати в геометричній оптиці. Історично спочатку була розроблена променева модель світла, а потім хвильова модель світла.

Деякі явища залежать від світла, яке має як *хвильові, так і корпускулярні властивості*. Пояснення цих ефектів вимагає *квантової механіки*. Розглядаючи корпускулярні властивості світла, світло моделюється як сукупність частинок, які називаються «*фотонами*». *Квантова оптика* займається застосуванням квантової механіки до оптичних систем.

Оптична наука має відношення до багатьох суміжних дисциплін і вивчається в них, зокрема в *астрономії*, різних галузях *інженерії*, *фотографії* і *медицині*, особливо в *радіографічних* методах, таких як *променева терапія* і *комп'ютерна томографія* [43], а також у фізіологічних оптичних галузях *офтальмології* і *оптометрії*. Практичне застосування оптики знаходиться в різноманітних технологіях і повсякденних предметах, включаючи *дзеркала*, *лінзи*, *телескопи*, *мікроскопи*, *лазери* і *волоконну оптику*.

Оптична інженерія

Технічна оптика (*оптична інженерія*) – це галузь інженерії, що охоплює фізичні явища і технології, пов'язані з генерацією, передачею, маніпулюванням, виявленням і використанням світла [44]. Інженери-оптики використовують науку оптики для вирішення проблем, а також для проектування та створення пристроїв, які роблять світло корисним [45]. Вони проектують і експлуатують оптичне обладнання, яке використовує властивості світла за допомогою фізики і хімії [46], таке як лінзи, мікроскопи, телескопи, лазери, датчики, волоконно-оптичні системи зв'язку і системи оптичних

Optical engineering metrology uses optical methods to measure either micro-vibrations with instruments like the laser speckle interferometer, or properties of masses with instruments that measure refraction [46].

Nano-measuring and nano-positioning machines are devices designed by optical engineers. These machines, for example microphotolithographic steppers, have nanometer precision, and consequently are used in the fabrication of goods at this scale [47].

дисків (наприклад, CD, DVD).

Метрологія оптичної інженерії використовує оптичні методи для вимірювання мікровібрацій за допомогою таких інструментів, як лазерний спекл-інтерферометр, або властивостей мас за допомогою інструментів, що вимірюють заломлення [46].

Нановимірювальні і нанопозиціонуючі машини – це пристрої, розроблені інженерами-оптиками. Ці машини, наприклад, мікрофотолітографічні крокові пристрої, мають нанометрову точність і, отже, використовуються у виробництві товарів такого масштабу [47].

Technical optics symbols and units

Photometric quantities and units (see Photometric quantities and units for names of units).

Table 3.9 – Technical optics symbols and units.

Symbol	Quantity	Unit
A	Area	m^2
	A_1 Radiating area (surface)	
	A_2 Irradiated area (surface)	
E	Illuminance	$lx = lm/m^2$
I	Luminous intensity	cd
L	Luminance	cd/m^2
M	Luminous emittance	lm/m^2
P	Power	W
Q	Luminous energy	$lm \cdot s$
r	Distance	m
t	Time	s
ε_1	Incident angle of radiation (with respect to surface normal)	°
ε_2	Angle of refraction	°
ε_3	Angle of reflection	°
η	Luminous efficiency	lm/W
Φ	Luminous flux	lm
Ω	Solid angle	sr
λ	Wavelength	nm

Символи і одиниці технічної оптики

Фотометричні величини і одиниці (див. Фотометричні величини і одиниці для назв одиниць).

Таблиця 3.1 – Символи і одиниці технічної оптики.

Символ	Величина	Одиниця
A	Площа	$м^2$
	A_1 Випромінювальна площа (поверхня)	
	A_2 Опромінювана площа (поверхня)	
E	Освітленість	лк = $лм/м^2$
I	Сила світла	кд
L	Яскравість	$кд/м^2$
M	Світність, світловий коефіцієнт випромінювання	$лм/м^2$
P	Потужність	Вт
Q	Світлова енергія	лм · с
r	Відстань	м
t	Час	с
ε_1	Кут падіння випромінювання (відносно нормалі до поверхні)	°
ε_2	Кут заломлення	°
ε_3	Кут відбивання	°
η	Світлова ефективність	лм/Вт
Ф	Світловий потік	лм
Ω	Тілесний кут	ср
λ	Довжина хвилі	нм

REFERENCES **СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. White F. M. Fluid Mechanics, 7th Ed. McGraw-Hill, 2011. 862 p.
2. Tu J., Yeoh G. H., Liu C. Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach. Butterworth-Heinemann, 2012. 440 p.
3. Batchelor G. K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 2000. 631 p.
4. Bertin J. J., Smith M. L. Aerodynamics for Engineers, 5th Ed. NJ : Prentice Hall, 1998. 752 p.
5. Anderson J. D. Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Education, 2010. 1136 p.
6. Houghton E. L., Carpenter P. W. Aerodynamics for Engineering Students. Elsevier, 2003. 608 p.
7. Milne-Thomson L. M. Theoretical Aerodynamics. Courier Corporation, 1973. 430 p.
8. Milne-Thomson L. M. Theoretical Hydrodynamics. Courier Corporation, 1996. 743 p.
9. Birkhoff G. Hydrodynamics. Princeton University Press, 2015. 202 p.
10. Liddell H. G., Scott R. ἀκουστικός. A Greek-English Lexicon. Tufts University. Archived from the original on 23 January 2020.
11. Liddell H. G., Scott R. ἀκουστός. A Greek-English Lexicon. Tufts University. Archived from the original on 23 January 2020.
12. ἀκούω – Cambridge Greek Lexicon. Scaife ATLAS (Perseus). Retrieved 1 January 2026.
13. What is acoustics? Acoustical Research Group, Brigham Young University, archived from the original on 2021-04-16, retrieved 2021-04-16.
14. Grigsby L. L. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, 3rd Edition. CRC Press, 2012. 789 p.
15. Tobin P. PSpice for Digital Communications Engineering. Morgan & Claypool Publishers, 2007. 199 p.
16. Chandrasekhar T. Analog Communication (Jntu). McGraw-Hill Education, 2006. P. 21.
17. Bissell C. Control Engineering, 2nd Edition. CRC Press, 1996. 266 p.
18. McDavid R. A., Echaore-McDavid S. Career Opportunities in Engineering. Infobase Publishing, 2009. P. 95.
19. Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development. UNESCO. 2010. P. 127–8.
20. Bhushan B. Micro/Nanotribology and Its Applications. 1997. Springer. 676 p.
21. Mook W. M. The Mechanical Response of Common Nanoscale Contact Geometries. 2008. P. 149.
22. Sullivan D. M. Quantum Mechanics for Electrical Engineers. John Wiley & Sons, 2012. 448 p.
23. Tuzlukov V. Signal Processing Noise. CRC Press, 2010. 688 p.
24. Manolakis D. G., Ingle V. K. Applied Digital Signal Processing: Theory and Practice. Cambridge University Press, 2011. 1008 p.
25. Grant M. A., Bixley P. F. Geothermal Reservoir Engineering. Academic Press, 2011. 378 p.

26. Fredlund D. G., Rahardjo H., Fredlund M. D. Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, 2012. 944 p.
27. Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement. ASTM International, 1993. P. 154.
28. Jalote P. An Integrated Approach to Software Engineering. Springer, 2006. 566 p.
29. Lam H., O'Malley J. R. Fundamentals of Computer Engineering: Logic Design and Microprocessors. Wiley, 1988. 490 p.
30. The Role of Rack and Pinion Actuators in On-Off & Modulating Controls. Valve Magazine. Valve Manufacturers Association. Spring, 2010.
31. Pneumatic Valve Actuators Information - IHS Engineering360. www.globalspec.com. Archived from the original on 2016-06-24. Retrieved 2016-04-26.
32. Actuation Resources and Types: A Technical Compendium. Firgelli Automations (Technical Guide). Retrieved 2026-02-05.
33. What Are the Differences Between Linear and Rotary Actuators? RoboticsTomorrow. Retrieved 2022-07-13.
34. Ultra-compact: Valves with shape memory actuators. 2021.
35. El-Atab N., Mishra R. B., Al-Modaf F. et al. Soft Actuators for Soft Robotic Applications: A Review. *Advanced Intelligent Systems*. 2020. Vol. 2, № 10. 2000128.
36. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 5th Ed. McGraw-Hill, 1993.
37. Kasha M. Transmission Filters for the Ultraviolet. *Journal of the Optical Society of America*. 1948. Vol. 38, № 11. P. 929–934.
38. Frerichs R. New Optical Glasses with Good Transparency in the Infrared. *Journal of the Optical Society of America*. 1953. Vol. 43, № 12. P. 1153–1157.
39. Merritt E. The Optics of Radio-Transmission. *Journal of the Optical Society of America*. 1931. Vol. 21, № 2. P. 90–100.
40. Brown J. Microwave Optics. *Advances in Electronics and Electron Physics*. 1958. Vol. 10. P. 107–152.
41. Spiller E. X-Rays: Optical Elements. In: Hoffman C., Driggers R. (eds.). Encyclopedia of Optical Engineering, 2nd Ed. Taylor & Francis, 2015.
42. Ehrenberg W., Siday R. E. The refractive index in electron optics and the principles of dynamics. *Proceedings of the Physical Society. Section B*. 1949. Vol. 62, № 1. P. 8.
43. Born M., Emil W. 4.11: Image-reconstruction from projections (computerized tomography). Principles of Optics, 7th ed. Cambridge University Press, 1999.
44. Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century at NAP.edu. 1998. 339 p.
45. An Introduction to Optical Design | Synopsys. www.synopsys.com. Retrieved 2021-04-11.
46. Walker B. H. Optical Engineering Fundamentals. SPIE Press, 1998. P. 16.
47. Manske E. Nanopositioning and Nanomeasuring Machines. In: Gao W. (eds) Metrology. Precision Manufacturing. Singapore : Springer, 2019. P. 35–58.
48. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook, 8th Ed. Stuttgart : Wiley, 2012. 1280 p.
49. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook, 11th Ed. Stuttgart : Wiley, 2022. 2048 p.

Ф 50 Fedosov Serhii & Yashchynskiy Leonid. **Engineer's Physical Handbook : Tutorial** for applicants of the first (bachelor's) level of higher education technical and natural sciences full-time and part-time forms of study. Lutsk : LNTU, 2026. 94 p.

Computer typing and layout: Serhii Fedosov

Editor: Leonid Yashchynskiy

Signed for printing «__»_____2026
Format 60x84/16. Offset paper.
Times typeface. Conditional printed sheets 5.8.
Circulation of 50 approx.

Lutsk National Technical University
43018, Lutsk, Lvivska St., 75
Print – LNTU

Федосов С. А., Ящинський Л. В. **Фізичний довідник інженера : навчальний посібник** для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти технічних і природничих спеціальностей денної та заочної форм навчання. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 94 с.

Ф 50

Комп’ютерний набір та верстка: С. А. Федосов

Редактор: Л. В. Ящинський

Підп. до друку «__»_____2026 р.
Формат 60х84/16. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 5,8.
Тираж 50 прим.

Луцький національний технічний університет
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ЛНТУ