

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть первая. <b>ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛЬНЫХ ТЕЛ</b> .....	13
<b>1. Единицы величин в системе СИ</b> .....	14
Единицы величин .....	14
Приставки .....	14
Длина, площадь, объём .....	15
Масса и плотность вещества .....	16
<b>2. Производные единицы величин в системе СИ</b> .....	18
Электрический заряд .....	18
Сила .....	18
Работа, энергия .....	18
Мощность .....	19
Электрический потенциал и ЭДС .....	19
<b>3. Скалярные и векторные величины</b> .....	20
Скаляры и векторы .....	20
Обозначения векторов .....	21
<b>4. Структура и свойства вещества</b> .....	23
Элементы .....	23
Атомы .....	23
Молекулы .....	24
Химические соединения .....	24
Смеси .....	25
Растворы .....	25
Суспензии .....	26
Растворимость .....	26
Кристаллы .....	26
Металлы и сплавы .....	28
<b>5. Химические реакции</b> .....	29
Кислород .....	29
Коррозия .....	29
Химические уравнения .....	30
Кислоты и щёлочи .....	30
Основные свойства кислот .....	32
Основные свойства щелочей .....	32
<b>6. Символьные обозначения величин и их единиц</b> .....	33

Часть вторая. <b>ОТ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ К ТЕХНИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВАМ</b> .....	37
<b>7. Скорость: величина и направление</b> .....	38
Скорость .....	38
График «путь/время» .....	38
График «скорость/время» .....	39
Векторная скорость .....	40
<b>8. Ускорение</b> .....	43
График «векторная скорость/время» .....	43
Свободное падение и уравнение движения .....	44
<b>9. Сила, масса и ускорение</b> .....	46
Воздействие силы на физические тела .....	46
Законы движения Ньютона .....	46
Центростремительное ускорение .....	49
<b>10. Центр тяжести и равновесие</b> .....	51
Центр тяжести .....	51
Равновесие .....	51
<b>11. Силы, приложенные к одной точке</b> .....	53
Силы .....	53
Равнодействующая двух компланарных сил .....	53
Правило треугольника сил .....	54
Правило параллелограмма сил .....	55
Расчет равнодействующей двух компланарных сил .....	56
Равнодействующая трёх компланарных сил .....	57
Компланарные силы в равновесии .....	59
Разложение сил .....	60
Заключение .....	63
<b>12. Простые закреплённые балки</b> .....	64
Момент силы .....	64
Равновесие и равенство моментов .....	64
Простые закреплённые балки с точечными нагрузками .....	66
<b>13. Силы сдвига и изгибающий момент</b> .....	68
Силы сдвига .....	68
Изгибающий момент .....	68
<b>14. Напряжение при изгибе</b> .....	72
<b>15. Прямолинейное и вращательное движение</b> .....	75
Линейная и угловая скорости .....	75
Радиян .....	75
Линейная скорость .....	75
Угловая скорость .....	76
Линейное и угловое ускорение .....	77
Другие уравнения движения .....	79
Относительная векторная скорость .....	81

---

<b>16. Трение</b> .....	83
Сила трения .....	83
Коэффициент трения .....	83
Использование трения .....	84
Положительные и отрицательные стороны сил трения .....	85
Практическое применение .....	85
<b>17. Волны</b> .....	86
Волновое движение .....	86
Типы волн .....	86
Длина волны, частота и скорость распространения .....	87
Отражение и рефракция .....	87
Звуковые волны и их характеристики .....	88
<b>18. Интерференция и дифракция</b> .....	90
Интерференция .....	90
Дифракция .....	91
Дифракция рентгеновского излучения .....	94
<b>19. Световые лучи</b> .....	96
Отражение света .....	96
Простейший перископ .....	96
Рефракция света .....	97
Линзы .....	97
Выпуклые линзы и их применение .....	99
Вогнутые линзы .....	101
Микроскоп .....	102
Простейший проектор .....	102
<b>20. Работа, энергия и мощность</b> .....	104
Работа .....	104
Энергия .....	105
Некоторые примеры преобразования энергии .....	105
Мощность .....	107
<b>21. Потенциальная и кинетическая энергия</b> .....	108
Потенциальная энергия .....	108
Кинетическая энергия .....	109
Закон сохранения энергии .....	109
Кинетическая энергия вращения .....	110
Маховики .....	112
<b>22. Простые машины</b> .....	114
Машины .....	114
Отношение сил, отношение движения и коэффициент полезного действия .....	114
Блоки .....	116
Винтовой домкрат .....	118
Зубчатая передача .....	119
Рычаги .....	121

---

<b>23. Механическое воздействие силы на твёрдое тело</b> .....	124
Виды механического воздействия на тело .....	124
Растяжение .....	124
Сжатие .....	124
Сдвиг .....	125
Напряжение .....	125
Линейная деформация .....	126
Напряжение сдвига и деформация сдвига .....	126
Напряжение кручения и деформация кручения .....	127
Упругость и предел упругости .....	129
Закон Гука .....	130
Модуль Юнга .....	130
Жёсткость .....	130
Вязкость, хрупкость и ковкость .....	132
<b>24. Испытание на прочность</b> .....	133
<b>25. Испытание на твёрдость и ударную вязкость</b> .....	137
Твёрдость .....	137
Испытания на твёрдость .....	137
Метод Бринелля .....	137
Метод Виккерса .....	139
Метод Роквелла .....	139
Другие методы испытаний на твёрдость .....	139
Неразрушающие методы .....	140
Испытания на ударную вязкость .....	140
Метод Изода .....	140
Метод Шарпи .....	141
<b>26. Измерение напряжения</b> .....	142
Линейная деформация .....	142
Напряжение .....	142
Модуль упругости Юнга .....	142
Предел упругости .....	143
Необходимость измерения напряжения .....	143
Тензометры .....	144
Тензометр Линдлея .....	144
Тензометр Гугенберга .....	145
Тензометр Хоунсфильда .....	146
Датчики деформации .....	147
<b>27. Количество движения и импульс силы</b> .....	150
Количество движения (импульс тела) .....	150
Импульс силы и импульсные силы .....	151
<b>28. Момент силы</b> .....	154
Пара сил и момент силы .....	154
Совершённая работа и мощность, передаваемая постоянным моментом силы .....	155

---

Передача мощности с помощью ременного привода .....	157
Плоские и V-образные ремни .....	158
<b>29. Тепловая энергия .....</b>	<b>162</b>
Теплота и температура .....	162
Измерение температуры .....	162
Удельная теплоёмкость .....	163
Изменение состояния .....	164
Скрытая теплота плавления и парообразования .....	165
Принцип работы простейшего холодильника .....	166
Проводимость, конвекция и излучение .....	166
Теплопроводность .....	166
Практическое применение теплопроводности .....	166
Конвекция .....	167
Примеры конвекции .....	167
Излучение .....	167
Примеры теплового излучения .....	168
Вакуумный термос .....	168
Применение изоляции для сохранения тепла в помещениях .....	169
<b>30. Термическое расширение .....</b>	<b>170</b>
Практическое применение термического расширения .....	170
Расширение и сжатие воды и других жидкостей .....	171
Коэффициент линейного расширения .....	171
Коэффициент поверхностного расширения .....	172
Коэффициент объёмного расширения .....	173
<b>31. Измерение температуры .....</b>	<b>174</b>
Стеклянный жидкостный термометр .....	174
Устройство .....	174
Принцип действия .....	175
Преимущества .....	175
Недостатки .....	175
Достоинства и недостатки ртути и спирта .....	175
Ошибки измерения .....	176
Термопары .....	176
Принцип действия .....	176
Устройство .....	177
Применение .....	178
Преимущества .....	178
Источники ошибок .....	179
Резистивные термометры .....	179
Устройство .....	179
Принцип работы .....	180
Ограничения .....	181

Достоинства и недостатки платиновой катушки .....	181
Применение .....	182
Термисторы .....	182
Преимущества .....	182
Пирометры .....	182
Пирометр общего излучения .....	183
Оптические пирометры .....	184
Достоинства пирометров .....	184
Недостатки пирометров .....	185
Краски и мелки, отображающие температуру .....	185
Биметаллические термометры .....	186
Металлический ртутный термометр .....	186
Газовые термометры .....	187
<b>32. Давление в текучих средах .....</b>	<b>188</b>
Давление .....	188
Давление в текучих средах .....	188
Атмосферное давление .....	189
Закон Архимеда .....	190
Измерение давления .....	191
Подробнее о гидростатическом напоре .....	192
<b>33. Измерение давления .....</b>	<b>196</b>
Введение .....	196
Барометры .....	196
Устройство и принцип работы .....	197
Типы барометров .....	198
Абсолютное и манометрическое давление .....	199
Манометр .....	200
Манометр в виде U-образной трубки .....	200
Наклонные манометры .....	201
Манометр Бурдона .....	202
Вакуумные манометры .....	204
Манометр Маклеода .....	204
Манометр Пирани .....	204
<b>34. Законы идеального газа .....</b>	<b>205</b>
Закон Бойля—Мариотта .....	205
Закон Гей-Люссака .....	206
Закон Шарля .....	206
Закон парциального давления (Закон Дальтона) .....	207
Характеристическое уравнение состояния идеального газа .....	208
Кинетическая теория газов .....	209
<b>35. Свойства воды и пара .....</b>	<b>211</b>
Закон сохранения энергии .....	211
Внутренняя энергия .....	211

Энтальпия и удельная энтальпия .....	212
Удельная энтальпия воды .....	212
Насыщенный пар .....	213
Коэффициент влажности .....	213
Ненасыщенный пар .....	213
График «температура/удельная энтальпия» .....	214
Таблицы параметров парообразования .....	214
<b>36. Поверхностное натяжение и вязкость .....</b>	<b>217</b>
Поверхностное натяжение .....	217
Избыточное давление .....	219
Энергия разрыва межмолекулярных связей .....	220
Молярная скрытая энергия испарения .....	220
Вязкость .....	221
Формула Пуазейля .....	222
Закон Стокса .....	223
<b>37. Текучие среды в движении .....</b>	<b>225</b>
Уравнение Бернулли .....	225
Поток через отверстия .....	227
Удар струи .....	228
<b>38. Измерение потоков жидкостей и газов .....</b>	<b>230</b>
Дифференциальные расходомеры .....	230
Измерительная диафрагма .....	231
Устройство .....	231
Принципы работы .....	232
Достоинства измерительных диафрагм .....	232
Недостатки измерительных диафрагм .....	232
Применение .....	233
Трубка Вентури .....	233
Устройство .....	233
Достоинства трубки Вентури .....	234
Недостатки трубки Вентури .....	234
Расходомерное сопло .....	234
Трубка воздушных давлений (Дифференциальная трубка Пито—Прандтля) .....	235
Применение .....	236
Достоинства трубок воздушных давлений .....	236
Недостатки трубок воздушных давлений .....	236
Механические расходомеры .....	237
Расходомер с поворотной лопастью .....	237
Турбинные измерители .....	237
Поплавковый расходомер с конической трубкой .....	239
Принцип работы .....	239
Достоинства поплавкового расходомера .....	240

---

Недостатки поплавкового расходомера .....	240
Применение .....	240
Электромагнитный расходомер .....	241
Основные достоинства электромагнитных расходомеров .....	241
Применение .....	242
Термоанемометр проволочный .....	242
Достоинства проволочного термоанемометра .....	242
<b>39. Простое гармоническое движение и собственные колебания ....</b>	<b>243</b>
Простое гармоническое движение .....	243
Колебания витой пружины .....	245
Колебания маятника .....	247
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>249</b>



---

Часть первая

Физические

величины

и свойства

материальных

тел

# 1. ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СИ

## Единицы величин

*Единицы величин*, применяемые в науке и технике, образуют международную систему единиц (Système Internationale d'Unités), обозначаемую аббревиатурой СИ (SI в латинской транскрипции. — *Прим. переводчика*). Утвержденная в 1960 году Генеральной конференцией по мерам и весам, эта система, основанная на метрической системе, в настоящее время официально признана в большинстве стран мира.

Ниже перечислены *основные единицы величин* системы СИ и их краткое обозначение.

Величина	Единица величины	Обозначение	
		международное	русское
Время	секунда	s	с
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Сила электрического тока	ампер	A	А
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
Термодинамическая температура	кельвин	K	К

## Приставки

Единицы величин системы СИ можно увеличивать или уменьшать с помощью приставок, обозначающих либо умножение, либо деление базовой единицы на определённое число. Ниже перечислены двенадцать основных множителей и их обозначения.

Приставка	Сокращенное обозначение		Множитель
	международное	русское	
тера	T	Т	$\times 1\,000\,000\,000\,000$ , или $\times 10^{12}$
гига	G	Г	$\times 1\,000\,000\,000$ , или $\times 10^9$
мега	M	М	$\times 1\,000\,000$ , или $\times 10^6$
кило	k	к	$\times 1\,000$ , или $\times 10^3$
гекто	h	г	$\times 100$ , или $\times 10^2$
дека	da	да	$\times 10$ , или $\times 10^1$
деци	d	д	$\times 0,1$ , или $\times 10^{-1}$
санти	c	с	$\times 0,01$ , или $\times 10^{-2}$
милли	m	м	$\times 0,001$ , или $\times 10^{-3}$
микро	$\mu$	мк	$\times 0,000\,001$ , или $\times 10^{-6}$
нано	n	н	$\times 0,000\,000\,001$ , или $\times 10^{-9}$
пико	p	п	$\times 0,000\,000\,000\,001$ , или $\times 10^{-12}$

### Длина, площадь, объём

*Длина* — это расстояние между двумя точками. Единица длины — *метр* [м], однако, очень часто применяют его дольные и кратные значения: сантиметр [см], миллиметр [мм] и километр [км].

$$1 \text{ см} = 10 \text{ мм.}$$

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см, или}$$

$$1 \text{ м} = 1\,000 \text{ мм.}$$

$$1 \text{ км} = 1\,000 \text{ м.}$$

*Площадь* — величина, характеризующая размеры поверхности. Площадь поверхности прямоугольной фигуры, например, вычисляется умножением длины одной стороны на длину другой. Если длины сторон представлены в метрах, то единица площади в этом случае — *квадратный метр* [м<sup>2</sup>].

$$1 \text{ м}^2 = 1 \text{ м} \times 1 \text{ м.}$$

$$1 \text{ м}^2 = 100 \text{ см} \times 100 \text{ см, или}$$

$$1 \text{ м}^2 = 10\,000 \text{ см}^2, \text{ или}$$

$$1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2.$$

$$1 \text{ м}^2 = 1\,000 \text{ мм} \times 1\,000 \text{ мм, или}$$

$$1 \text{ м}^2 = 1\,000\,000 \text{ мм}^2, \text{ или}$$

$$1 \text{ м}^2 = 10^6 \text{ мм}^2.$$

Соответственно

$$1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2.$$

*Объём* — величина, характеризующая пространство, занимаемое телом. Объём тела, ограниченного прямоугольными гранями, определяется тремя отрезками прямой линии (длиной, шириной и высотой) и вычисляется их перемножением. Если размеры представлены в метрах, то единица объёма в этом случае — *кубический метр* [м<sup>3</sup>].

$$1 \text{ м}^3 = 1 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 1 \text{ м.}$$

$$1 \text{ м}^3 = 100 \text{ см} \times 100 \text{ см} \times 100 \text{ см, или}$$

$$1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ см}^3.$$

$$1 \text{ м}^3 = 1\,000 \text{ мм} \times 1\,000 \text{ мм} \times 1\,000 \text{ мм, или}$$

$$1 \text{ м}^3 = 10^9 \text{ мм}^3.$$

Соответственно

$$1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$1 \text{ мм}^3 = 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Существует и другая единица объёма, часто применяемая для характеристики объёма жидкостей. Эта единица — *литр* [л]. За один литр принимают объём, равный 1 000 см<sup>3</sup>.

**Масса и плотность вещества**

*Масса* — характеристика тела, занимающего определённый объём и содержащего соответствующее количество вещества. Единица массы — килограмм [кг]. На практике часто массу удобно измерять в *граммах* [г] или в *тоннах* [т].

$$1 \text{ кг} = 1\,000 \text{ г},$$

$$1 \text{ кг} = 0.001 \text{ т} = 10^{-3} \text{ т}.$$

Соответственно

$$1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг},$$

$$1 \text{ т} = 1\,000 \text{ кг}.$$

*Плотность* — это масса в единице объёма вещества, то есть эта величина образована соотношением двух величин: массы  $m$  и объёма  $V$ . Её обозначают символом  $\rho$  ( $\rho$  — буква греческого алфавита).

Единица плотности соответственно образована двумя основными единицами системы СИ (килограмм [кг] и метр, возведённый в третью степень [ $\text{м}^3$ ]), то есть единица плотности — килограмм на кубический метр [ $\text{кг}/\text{м}^3$ ].

Такие единицы называют *производными единицами* (см. гл. 2).

$$\text{Плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объём}},$$

то есть

$$\rho = \frac{m}{V}$$

откуда следует

$$m = \rho V$$

и

$$V = \frac{m}{\rho}$$

где  $m$  — масса, измеряемая в килограммах [кг],

$V$  — объём, измеряемый в кубических метрах [ $\text{м}^3$ ],

$\rho$  — плотность, измеряемая в килограммах на кубический метр [ $\text{кг}/\text{м}^3$ ].

Некоторые часто встречающиеся значения плотности материалов:

Алюминий	2 700 $\text{кг}/\text{м}^3$	Сталь	7 800 $\text{кг}/\text{м}^3$
Чугун	7 000 $\text{кг}/\text{м}^3$	Бензин	700 $\text{кг}/\text{м}^3$
Пробка	250 $\text{кг}/\text{м}^3$	Свинец	11 400 $\text{кг}/\text{м}^3$
Медь	8 900 $\text{кг}/\text{м}^3$	Вода	1 000 $\text{кг}/\text{м}^3$

**Например**, определим плотность  $50 \text{ см}^3$  меди массой  $445 \text{ г}$ .

$$\begin{aligned} \text{Плотность} &= \frac{\text{масса}}{\text{объём}} = \frac{445 \times 10^{-3} \text{ кг}}{50 \times 10^{-6} \text{ м}^3} = \frac{445}{50} \times 10^3 = \\ &= 8.9 \times 10^3 \text{ кг/м}^3, \text{ или } 8\,900 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Точно так же можно вычислить объём  $20 \text{ кг}$  вазелинового масла (в литрах), плотность которого  $800 \text{ кг/м}^3$ .

$$\text{Объём} = \frac{m}{\rho} = \frac{20 \text{ кг}}{800 \text{ кг/м}^3} = \frac{1}{40} \text{ м}^3 = \frac{1}{40} \times 10^6 \text{ см}^3 = 25\,000 \text{ см}^3.$$

$$1 \text{ литр} = 1\,000 \text{ см}^3,$$

поэтому

$$V = 25\,000 \text{ см}^3 = \frac{25\,000}{1\,000} = 25 \text{ л.}$$

*Относительная плотность* вещества — это отношение плотности данного вещества к плотности воды, то есть

$$\text{относительная плотность} = \frac{\text{плотность вещества}}{\text{плотность воды}}$$

Относительная плотность — безразмерная величина, так как является отношением двух одноименных величин. Ниже приведены относительные плотности некоторых веществ, вычисленные по вышеприведённой формуле (известно, что плотность воды  $1\,000 \text{ кг/м}^3$ ):

Алюминий	2.7	Пробка	0.25
Бензин	0.7	Свинец	11.4
Вода	1.0	Сталь	7.8
Медь	8.9	Чугун	7.0

**Например**, относительная плотность стального бруска плотностью  $7\,850 \text{ кг/м}^3$  — это отношение плотности стали к плотности воды, то есть

$$\text{относительная плотность} = \frac{\text{плотность стали}}{\text{плотность воды}} = \frac{7\,850}{1\,000} = 7.85.$$

Относительная плотность жидкости или газа может быть измерена с помощью *ареометра*.

## 2. ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СИ

*Производные единицы величин* представляют собой комбинации основных единиц, и их достаточно много. (Наиболее часто встречающиеся в науке и технике величины и их единицы приведены в гл. 6.)

Вот только два примера:

скорость — метры в секунду [м/с],

ускорение — метры в секунду в квадрате [м/с<sup>2</sup>].

### Электрический заряд

Единица электрического заряда — *кулон* [Кл]. (1 кулон равен суммарному заряду  $6.24 \times 10^{18}$  электронов). Поскольку заряд определён как количество электричества, протекающего через данную точку электрической цепи, то один кулон равен силе тока в один ампер, поддерживаемой в цепи в течение одной секунды, то есть один кулон — это одна *ампер-секунда*. Следовательно, *заряд*, измеренный в кулонах:

$$Q = It$$

где  $I$  — сила тока, измеряемая в амперах [А],

$t$  — время, измеряемое в секундах [с].

### Сила

Единица силы — *ньютон* [Н]. Ньютон определён как сила, действующая на тело массой в один килограмм, и придающая ему ускорение, равное одному метру в секунду в квадрате, то есть один ньютон — это килограмм-метр в секунду в квадрате [кг·м/с<sup>2</sup>]. Следовательно, сила, измеренная в ньютонах:

$$F = ma$$

где  $m$  — масса, измеряемая в килограммах [кг],

$a$  — ускорение, измеряемое в метрах в секунду в квадрате [м/с<sup>2</sup>].

*Сила тяжести* — сила, с которой тело притягивается к Земле. Вблизи земной поверхности сила тяжести равна  $mg$ , где  $g = 9.81$  м/с<sup>2</sup>.

### Работа, энергия

Единица и *работы* и *энергии* — *джоуль* [Дж]. Джоуль определён, как совершённая работа или переданная энергия силой в один ньютон, действующей на протяжении одного метра, то есть один джоуль — это один ньютон-метр [Н·м].

Следовательно, работа, совершённая над телом и измеренная в джоулях:

$$W = Fs$$

где  $F$  — сила, измеряемая в ньютонах [Н],

$s$  — расстояние, преодоленное телом в направлении действия приложенной силы и измеряемое в метрах [м].

Энергия — это способность к выполнению работы.

## Мощность

Единица мощности — *ватт* [Вт]. *Мощность* определена как темп выполнения работы или передачи энергии, то есть один ватт — это один джоуль в секунду.

Следовательно, мощность, измеренная в ваттах:

$$P = \frac{W}{t}$$

где  $W$  — совершённая работа или переданная энергия, измеряемая в джоулях [Дж],

$t$  — время, измеряемое в секундах [с].

Тогда энергия, измеренная в джоулях:

$$W = Pt$$

## Электрический потенциал и ЭДС

Единица электрического потенциала — *вольт* [В]. Вольт определён как разность потенциалов между двумя точками в проводнике, выделяющем мощность в один ватт, при протекании через него тока силой в один ампер, то есть один вольт — это один джоуль на кулон.

Значит,

$$\begin{aligned} \text{вольт} &= \frac{\text{ватт}}{\text{ампер}} = \frac{\text{джоуль в секунду}}{\text{ампер}} = \\ &= \frac{\text{джоуль}}{\text{ампер-секунда}} = \frac{\text{джоуль}}{\text{кулон}}, \end{aligned}$$

то есть

$$V = \frac{P}{I} = \frac{W/c}{I} = \frac{W}{It} = \frac{W}{Q}.$$

Изменение электрического потенциала между двумя точками электрической цепи называют *разностью потенциалов*.

*Электродвижущая сила* (ЭДС) обеспечивается источниками энергии, такими, как батарея или генератор, и измеряется в вольтах.

### 3. СКАЛЯРНЫЕ И ВЕКТОРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

#### Скаляры и векторы

Применяемые в науке и технике величины можно разделить на две группы:

*Скалярные величины* (часто их называют просто *скалярами*) имеют только численные значения, и для их характеристики не требуется никаких других данных. Следовательно, 10 сантиметров, 50 секунд, 7 литров, 3 килограмма,  $25^{\circ}\text{C}$ , 250 рублей,  $10\text{ см}^3$ , 10 джоулей, — всё это примеры скалярных величин.

*Векторные величины* (или просто *векторы*) кроме численных значений, называемых *модулем вектора*, имеют ещё и направление, называемое линией действия данной величины. Следовательно, скорость 50 километров в секунду в восточном направлении, ускорение 9.81 метра в секунду в квадрате, направленное вертикально вниз, сила 15 ньютонов, действующая под углом в 30 градусов к поверхности тела, и северо-западный ветер, скорость которого 15 узлов — всё это примеры векторных величин.

*Скорость* тела может быть установлена и без упоминания направления движения данного тела. Следовательно, скорость в этом случае — скалярная величина. Однако если направление движения для нас важно так же, как и численное значение скорости, то эту величину определяют как векторную скорость (в английском языке для понятия «векторная скорость» существует специальный термин — *velocity*. — *Прим. переводчика*).

К примеру, *вес* тела в двадцать ньютонов может показаться скалярной величиной; однако вес тоже имеет направление, ведь тело устремлено вниз (к центру Земли). Значит, вес — векторная величина.

Когда говорят, что человек прошёл 7 км, то не упоминают о направлении. Следовательно, расстояние — это скалярная величина. Однако если человек проходит 4 км на запад, а потом 3 км на север, как показано на **Рис. 3.1**, то он оказывается в точке С, а это в 5 км от пункта его отправления А (в соответствии с теоремой Пифагора).

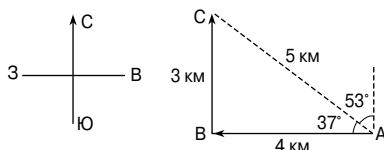


Рис. 3.1

Такое изменение местоположения называется *перемещением*. Значит, 7 км — это пройденное расстояние — *путь* (скалярная



величина), а 5 км в направлении  $37^\circ$  на северо-запад от исходной точки — это перемещение, то есть векторная величина.

Итак, величина, характеризующаяся численным значением и направлением, называется векторной, а величина, имеющая только численное значение, — скалярной.

## Обозначения векторов

Векторная величина графически может быть представлена отрезком прямой линии, причём длина линии прямо пропорциональна модулю этой величины, а направление линии то же, что и направление действия этой величины.

Стрелка свидетельствует, что речь идёт о векторе, и указывает, что действие вектора направлено, например, вправо, а не влево. Стрелку ставят на конец вектора и называют «носом» вектора. На **Рис. 3.2**, например, графически изображена векторная скорость, равная 20 м/с, вектор которой направлен под углом  $45^\circ$  к горизонтали, и о ней можно сказать, что это «вектор  $oa = 20$  м/с под углом  $45^\circ$  к горизонтали».

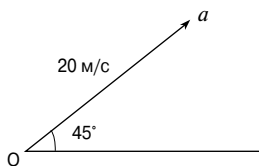


Рис. 3.2

и о ней можно сказать, что это «вектор  $oa = 20$  м/с под углом  $45^\circ$  к горизонтали». (Горизонталью принято называть прямую линию, параллельную линии горизонта.)

Есть несколько способов изображения векторных величин, отличающих их от скалярных.

### Например:

- **жирный шрифт**:  $oa$  или  $OA$ ;
- две заглавные буквы со стрелкой наверху, обозначающей векторную величину:  $\overrightarrow{AB}$ , где  $A$  — это начальная, а  $B$  — конечная точка вектора;
- линия над буквами:  $\bar{A}$  или  $\bar{a}$ ;
- буквы со стрелками наверху:  $\vec{a}$ ,  $\vec{A}$ ;
- подчёркнутые буквы:  $\underline{a}$ ;
- $xi + yj$ , где  $i$  и  $j$  — оси, находящиеся под прямым углом друг к другу; например,  $3i + 4j$  означает 3 единицы по оси  $i$  и 4 единицы по оси  $j$ , как показано на **Рис. 3.3**;
- матрица:  $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ . Например, вектор  $OA$ , изображённый на **Рис. 3.3**, можно представить как  $\begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}$ .

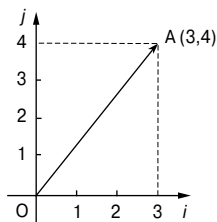


Рис. 3.3

Следовательно, вектор на **Рис. 3.3** можно изобразить как

$$\mathbf{OA} \equiv \overrightarrow{OA} \equiv \overline{OA} \equiv 3i + 4j \equiv \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}.$$

Итак,  $\mathbf{OA}$  представляет векторную величину, а  $OA$  — модуль вектора  $\mathbf{OA}$ . Следует учесть, что положительные углы откладываются *против часовой стрелки* от горизонтали, а отрицательные — *по часовой*, то есть вниз от горизонтали. Тогда прямая, находящаяся под углом  $+90^\circ$  к горизонтали, — это вертикаль, направленная вверх от горизонтали, а прямая, находящаяся под углом  $-90^\circ$ , — вертикаль, направленная вниз.