

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации и ремонта летательных
аппаратов и авиационных двигателей

Ю.И. Самуленков, С.Н. Яблонский, К.Н. Матюхин

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Учебно-методическое пособие
по проведению практического занятия
«Основное уравнение измерений.
Перевод внесистемных единиц
в единицы физических величин СИ»

*для студентов II курса
направлений 20.03.01 и 25.03.01
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2018

УДК 006.9:629.7(07)
ББК 531.7
С179

Рецензент:

Босых Н.Н. – канд. техн. наук, зав. каф.

Самуленков Ю.И.

С179

Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практического занятия «Основное уравнение измерений. Перевод внесистемных единиц в единицы физических величин СИ» / Ю.И. Самуленков, С.Н. Яблонский, К.Н. Матюхин. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 28 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» по учебному плану для студентов II курса направлений 20.03.01 и 25.03.01 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 06.02.2018 г. и методического совета 07.02.2018 г.

УДК 006.9:629.7(07)
ББК 531.7

В авторской редакции

Подписано в печать 08.05.2018 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 1,75 Усл. печ. л. 1,63

Заказ № 285/0403-УМП18 Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2018

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тема практического занятия (ПЗ) – Основное уравнение измерений. Перевод внесистемных единиц в единицы физических величин СИ

1.1. Цель практического занятия

Целью ПЗ является: закрепление знаний по разделу «Основы метрологии» рабочей программы учебной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация»; приобретение навыков в пересчете физических величин Международной системы физических величин (СИ) во внесистемные физические величины (Британской и Американской системы физических величин).

1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению по теме ПЗ

К числу основных вопросов по теме ПЗ относятся:

1. Основные, дополнительные и производные величины СИ.
2. Эталоны основных физических величин.
3. Физические величины Британской (Американской) системы величин, их соотношение с величинами СИ.
4. Основное уравнение измерений.
5. Дольные и кратные приставки физических величин.
6. Физические величины, применяемые в авиации, их единицы измерения.
7. Физические величины для измерения давления. Виды давлений.
8. Физические величины для измерения высот полета. Виды высот.
9. Физические величины для измерения скорости полета. Виды скоростей.
10. Основные понятия и определения метрологии.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Метрология в окружающем мире

Метрология (ГОСТ Р 8.000-2015) – (от греч. Metron – мера, logos – наука, мысль, причина) наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения заданного уровня точности. Если сказать более просто: метрология – наука об измерениях.

Измерения являются одним из путей познания мира. Только с помощью измерений можно узнать, удастся ли накрутить данную гайку на данный болт, хватит ли топлива для полета до заданного аэродрома, правильно ли выдержаны углы при заходе самолета на посадку без видимости земли и т. д. Только измерив различные величины, можно решить ту или иную задачу. Метрология прошла в своем развитии путь от описания всякого рода мер по их наименова-

ниям, подразделениям и взаимному соотношению до точной науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Современная метрология позволяет математически точно сформулировать измерительную задачу и решить её.

Метрология является прикладной наукой, широко используемой во всех без исключения отраслях науки и техники. Ее прикладной характер состоит, прежде всего, в решении практических задач обеспечения единства и повышения точности измерений. Каждая новая цифра после запятой позволяет с большей уверенностью говорить о том или ином значении измеряемой величины. Как говорят физики: «Каждая новая цифра после запятой в результате измерения может привести к открытию нового физического закона».

Первые полеты производились при оценке летчиком высоты «на глаз», первые бомбы летчик сбрасывал вручную после того, как он визуально («собственными глазами») видел цель. Для захода на посадку при плохой видимости были установлены радиоконпас, курсовой и глиссадный приёмники, обеспечивающие заход на посадку по сигналам соответствующих наземных маяков. Подобное оборудование устанавливалось и на других самолетах. Естественно, что такое достаточно точное оборудование нуждалось в соответствующей настройке, на современном языке – в соответствующем метрологическом обеспечении.

Известен случай, когда в 1984 году канадский пассажирский самолет «Боинг-647» произвел вынужденную посадку на автомобильный полигон после того, как при полете на высоте 10 тыс. метров отказали двигатели по причине полной выработки топлива из заполненных перед вылетом топливных баков. Объяснением этого, казалось бы, невероятного события явилось то, что на самолете приборы были градуированы в галлонах (примерно 3,8 л), а приборы канадской авиакомпании, заправлявшей самолет, были градуированы в литрах. Таким образом, горючего было заправлено почти в 4 раза меньше, чем требовалось.

2.2. Основные понятия и определения

2.2.1. Общие сведения

Метрология подразделяется на

- теоретическую (фундаментальную);
- законодательную;
- практическую (прикладную).

Теоретическая (фундаментальная) метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которой является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Практическая (прикладная) – раздел метрологии, предметом которой являются вопросы практического применения положений законодательной метрологии.

В метрологии, как и в любой другой науке, установлены основные понятия и определения [1].

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них (рис. 1).



Рис. 1. Классификация физических величин

Величина (измеряемая) – характерный признак (атрибут) явления, тела или вещества, которое может выделяться качественно и определяться количественно.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо нее.

Аддитивная физическая величина – величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга. Пример – масса, длина, давление, скорость и др.

Неаддитивная физическая величина – физическая величина, для которой суммирование, умножение на числовой коэффициент или деление друг на

друга не имеет физического смысла. Пример – температура.

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих соотношение измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Пример – измерение активности радионуклиды в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно. Пример – измерение детали микрометром, измерение силы тока амперметром, измерение массы на весах.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины определяется на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Средство измерений – техническое устройство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Погрешность результата измерений – отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины (1), (2).

$$\Delta X = X_{изм} - X_{ист} \quad (1)$$

$$\Delta X = X_{изм} - X_{\delta} \quad (2)$$

Поверка средств измерений – установление органами государственной власти пригодности средств измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Принцип измерения – физическое явление или эффект, положенный в основу измерений.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Международная система единиц (СИ – фр. Le Système International d'Unités, SI) была принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 году, некоторые последующие конференции внесли в СИ ряд изменений.

С 1 января 1963 года в СССР был введен ГОСТ 9867 – 61 «Международ-

ная система единиц» и СИ была введена в качестве предпочтительной во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

В России действует ГОСТ 8.417 – 2002, предписывающий обязательное использование единиц СИ. В нём перечислены единицы физических величин, разрешённые к применению, приведены их международные и русские обозначения и установлены правила их использования (табл. 1).

В Приложении 5 к Конвенции о международной организации ИКАО «Единицы измерения, подлежащие использованию в международных и наземных операциях» определены единицы измерений физических величин, порядок их применения на основе международных стандартов и прежде всего с использованием СИ и соотношения с внесистемными единицами (табл. 2).

Таблица 1

Основные физические величины в системе СИ

Величина	Единица измерения	Сокращённое обозначение единицы	
		Русское	международное
Длина	метр	М	<i>m</i>
Масса	килограмм	Кг	<i>kg</i>
Время	секунда	С	<i>s</i>
Сила эл. Тока	ампер	А	<i>A</i>
Термодин. темп-ра	кельвин	К	<i>K</i>
Сила света	кандела	Кд	<i>cd</i>
Кол-во вещества	моль	Моль	<i>mol</i>

Таблица 2

Единицы, применяемые в Англии и США, и их перевод в единицы СИ

Величина	Единица измерения	Значение СИ	Обозначение единицы	
			Русское	Международное
Длина	миля	1609 м	миля	<i>mi</i>
	морская миля	1852 м	морская миля	<i>nmi</i>
	Международный кабельтов	185.2 м	кабельтов	<i>cablen(s) length</i>
	ярд	0.9144 м	ярд	<i>yd (yard)</i>
	фут	0.3042 м	фут	<i>ft (foot)</i>
	дюйм	25.4 мм	дюйм	<i>in (inch)</i>
Масса	фунт	0.4536 кг	фунт	<i>lb</i>
Единицы объема	баррель	159 л	баррель	<i>bbl (barrel)</i>
	галлон жидкостный (США)	3.8 (3.785 точно) л	галлон	<i>Gal</i>
	американская кварта для жидкостей	0.9463 л	кварта	<i>qt (quart)</i>
Скорость	1 морская миля в час	1.852 км/ч или 0.514 м/с	узел	<i>kn (knots)</i>

2.2.2. Применение внесистемных физических величин в гражданской авиации

Килограмм – сила (русское обозначение: кгс или кГ; международное: kgf или kgF) – единица силы в системе единиц МКГСС; наряду с метром и секундой является основной единицей этой системы. III Генеральная конференция по мерам и весам (1901 г.) дала этой единице следующее определение: «килограмм – сила равен силе, которая сообщает покоящейся массе, равной массе международного прототипа килограмма, ускорение, равное нормальному ускорению свободного падения (9.80665 м/с^2)» [6].

В настоящее время Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) относит килограмм-силу к тем единицам измерения, «которые должны быть изъяты из обращения как можно скорее там, где они используются в настоящее время, и которые не должны вводиться, если они не используются» [7].

В Российской Федерации единицы килограмм-сила и грамм-сила допущены к использованию в качестве внесистемных единиц без ограничения срока действия с областью применения «все области». В соответствии с Положением о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации, единица килограмм-сила используется только в тех случаях, когда количественные значения величин «невозможно или нецелесообразно» выражать в единицах Международной системы единиц (СИ) [8, 9].

Килограмм-сила примерно равна силе, с которой тело массой один килограмм давит на весы на поверхности Земли (примерно, потому что вес немного зависит как от широты – поскольку от неё зависит ускорение свободного падения g ввиду вращения Земли и возникающей из-за вращения центробежной силы, которая имеет разное значение на полюсах и экваторе – так и от гравитационных аномалий).

Килограмм-сила удобна тем, что её величина равна весу тела массой в 1 кг, поэтому человеку легко представить, например, что такое сила 5 кгс.

$$1 \text{ кгс} = 9.80665 \text{ ньютонов (точно [5])} \approx 10 \text{ Н}$$

$$1 \text{ Н} \approx 0.10197162 \text{ кгс} \approx 0,1 \text{ кгс}$$

Другое удобство использования килограмм-силы состоит в том, что единица давления килограмм-сила на квадратный сантиметр (техническая атмосфера) с хорошей точностью равна нормальному атмосферному давлению, что удобно для оценок (Приложение 2).

Реже применяются кратная и дольная единица:

$$\text{– тонна-сила (русское обозначение: тс; международное: tf): } 1 \text{ тс} = 10^3 \text{ кгс} = 9806.65 \text{ Н};$$

$$\text{– грамм-сила (русское обозначение: гс; международное: gf): } 1 \text{ гс} = 10^{-3} \text{ кгс} = 9.80665 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

Раньше килограмм-силу обозначали кГ (kG), в отличие от килограмм-массы – кг (kg); аналогично, грамм – силу обозначали Г (G), а грамм-массу – г

(g), тонна – силу обозначали Т (Т), а тонна – массу – т (t).

Метрическая лошадиная сила определяется как мощность, развиваемая силой 75 кгс, приложенной к телу, движущемуся со скоростью 1 м/с: 1 л. с. = 75 кгс·м/с.

$100 \text{ кгс/м}^2 \approx 1 \text{ кПа} = 1 \text{ кН/м}^2$ – связь с другими величинами (такой перевод часто используется в строительстве при расчётах, т. к. раньше кгс использовался в СНиП)

Приложение 5 к Конвенции о международной гражданской авиации устанавливает 3 таблицы единиц измерения (табл. 3), (ICAO, Blue – Голубая, Si) и дает возможность государствам избирать и использовать любую из них, известив об этом ИКАО, а также единицы измерения, подлежащие использованию в наземных и воздушных операциях (рис. 2).

Таблица 3

Таблица единиц измерения по ICAO

№	Измеряемые Величины	ICAO Table	Blue Table	SI Table	
				Основная	Запасная
1	Расстояния, используемые в навигации, донесениях о местонахождении, превышающие 2 –3 морские мили)	морские мили	морские мили	километры	морские мили
2	Сравнительно короткие расстояния, применяемые в аэропортах	Метры	Метры	метры	-
3	Абсолютные высоты, превышения относительной высоты	Метры	Футы	метры	Футы
4	Горизонтальная скорость полета, скорость ветра	Узлы	Узлы	км / ч	Узлы
5	Вертикальная скорость полета	метры в секунду	футы в минуту	метры в секунду	футы в минуту
6	Направление ветра на посадке и взлете	градусы от магнитного меридиана			
7	Направление ветра для всех других целей	градусы от истинного меридиана			
8	Видимость	километры, на ВПП и менее 5 км - метры			
9	Установка атмосферного давления на высоте	милибары	милибары	гектопаскали	-
10	Температура	градусы Цельсия			
11	Масса	тонны или килораммы		килограммы	-
12	Время	часы и минуты, сутки начинаются в полночь по всемирному времени UTC			

ваться в сухопутных милях в час;

- направление ветра на взлете и на посадке может указываться не в градусах, а в румбах от магнитного меридиана, а направление ветра на высоте - в румбах от истинного меридиана;

- температура может указываться в градусах Фаренгейта.

Принятая государством система измерения и отклонения от международных стандартов публикуются в:

- Приложении 5 к Чикагской конвенции;
- сборниках информационных данных по обеспечению международных полетов для экипажей гражданской авиации;
- сборниках Jeppesen в разделе «Таблицы и коды», стр. 27 – 30;
- саплиментах AERAD в разделе Air Traffic Control;
- AIP государств в разделе General.

Экипажи воздушных судов при передаче сообщений наземным станциям должны применять единицы измерений, опубликованные для той наземной станции, которой адресуется информация. При этом международные стандарты предусматривают допущение, если экипаж извещает о временной невозможности пользования опубликованной таблицей, при котором наземная станция должна передавать информацию в тех единицах, которые запрашивает экипаж воздушного судна. Такое допущение введено для случаев временной невозможности пользоваться опубликованными таблицами из-за отсутствия на борту воздушного судна пересчетных таблиц или несоответствия самолетного оборудования для пользования опубликованными единицами измерения [4].

2.2.3. Виды высот полета и их измерение

Различают три высоты полета (рис. 3):

- абсолютная (Altitude – барометрическая высота), высота относительно уровня моря;

- относительная, высота относительно какого-либо места, например, аэродрома взлета или посадки;

- истинная (height – истинная высота), высота над пролетаемой местностью.

Абсолютную высоту полета важно знать при испытаниях самолетов и при эшелонировании.

Относительная и истинная высота должна быть известна при взлете и посадке. Истинная высота определяется, как правило, с помощью радиотехнических средств.

Высоту полета относительно уровня с давлением 760 мм рт. ст. и называют «абсолютной барометрической высотой».

При выполнении полетов по воздушным трассам Российской Федерации, при вертикальном, экипажи руководствуются Постановлением Правительства РФ от 05.09.2011 N743 (ред. от 02.12.2017) «О внесении изменений в Федераль-

ные правила использования воздушного пространства Российской Федерации». Эшелонирование осуществляется в соответствии с эшелонами, указанными в Приложении 5.

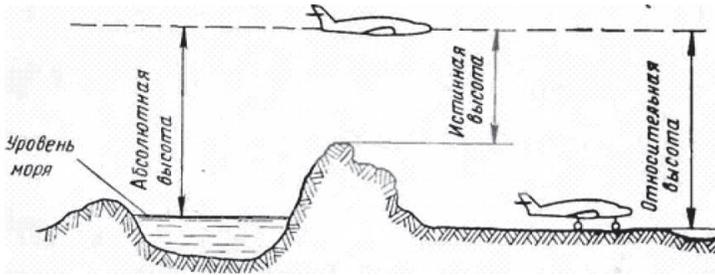


Рис. 3. Виды высот, применяемые в авиации

2.2.4. Виды давления и их измерение

Различают следующие виды давления:

- барометрическое;
- абсолютное;
- избыточное;
- вакуум.

Атмосферное давление $P_{\text{атм}}$ – это абсолютное давление атмосферного воздуха у поверхности Земли. Атмосферное давление зависит от высоты над уровнем моря, ускорения свободного падения и метеоусловий и находится обычно в пределах 93...104 кПа (700...780 мм рт. ст.). Нормальное атмосферное давление принято равным 101,325 кПа (760 мм рт. ст., 1 атм).

Барометрическое (атмосферное) давление зависит от высоты места над уровнем моря и от состояния погоды. На свободную поверхность водных потоков, а также естественных и искусственных водоемов действует барометрическое давление.

Давлением называется физическая величина, характеризующая интенсивность механического воздействия среды на поверхность тела в направлении, перпендикулярном к этой поверхности, и численно равная отношению усредненной перпендикулярной составляющей силы к величине поверхности (3):

$$p = \frac{F_n}{S} \quad (3)$$

F_n – усредненная перпендикулярная составляющая силы, S – площадь поверхности, где эта сила действует.

Избыточное давление, т.е. разность между абсолютным давлением и ба-

рометрическим, не определяет состояния вещества и не является, следовательно, параметром состояния, поскольку зависит также от состояния окружающей среды (давления окружающего воздуха) [3].

Физический смысл давления не сводится только к механической нагрузке, которую оказывает жидкость или газ на стенки трубопровода или резервуара. Давление является одной из ключевых теплотехнических величин и определяет, например, скорость и направление движения жидких и газообразных сред, плотность газов, агрегатное состояние вещества при заданной температуре, скорость и направление протекания многих химических реакций. Единицей давления в системе СИ, как следует из его определения, является $1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ кг/(м}\cdot\text{с}^2)$. Данная единица имеет специальное наименование «паскаль» и обозначение «Па» (международное обозначение – «Ра»). Согласно ГОСТ 8.417 – 2002, паскаль вместе со своими десятичными кратными и дольными единицами (кПа, МПа и т. д.) является единственной допущенной к применению в технике единицей давления. Однако в силу традиций, а также соображений удобства (1 Па – слишком маленькая единица для большинства практических целей) на производстве до сих пор применяется ряд внесистемных единиц давления (табл. 4):

- «килограмм-сила на квадратный сантиметр», называемая также «технической атмосферой» ($1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 98.0665 \text{ кПа}$);
- «килограмм-сила на квадратный метр», численно равная «миллиметру водяного столба» ($1 \text{ мм вод.ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 = 9.80665 \text{ Па}$);
- «миллиметр ртутного столба» или «торр» ($1 \text{ мм рт. ст.} = 1 \text{ торр} = 133.322 \text{ Па}$);
- «бар» ($1 \text{ бар} = 100 \text{ кПа} = 0.1 \text{ МПа}$);
- «физическая атмосфера» ($1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101.325 \text{ кПа}$).

Таблица 4

Соотношение единиц давления

	Паскаль (Ра, Па)	Бар (бар, бар)	Техниче- ская атмосфе- ра (ат, ат)	Физиче- ская атмосфера (атм, атм)	мм рт.ст. (мм рт.ст., mm Hg)	Метр водяного столба (м вод. ст., m H ₂ O)	Фунт- сила на кв. дюйм
1 Па	1 Н/м^2	10^{-5}	$10.197^* \cdot 10^{-6}$	$9.8692 \cdot 10^{-6}$	$7.5006^* \cdot 10^{-3}$	$1.0197^* \cdot 10^{-4}$	$145.04^* \cdot 10^{-6}$
1 бар	10^5	$1 \cdot 10^6$ дин/см ²	1.0197	0.98692	750.06	10.197	14.504
1 ат	98066.5	0.980665	1 кгс/см^2	0.96784	735.56	10	14.223
1 атм	101325	1.01325	1.033	1 атм	760	10.33	14.696
1 мм рт.ст.	133.322	$1.3332 \cdot 10^{-3}$	$1.3595 \cdot 10^{-3}$	$1.3158 \cdot 10^{-3}$	1 мм рт.ст.	$13.595 \cdot 10^{-3}$	$19.337^* \cdot 10^{-3}$
1 м вод. ст.	9806.65	$9.80665^* \cdot 10^{-2}$	0.1	0.096784	73.556	1	1.4223
1 psi	6894.76	$68.948^* \cdot 10^{-3}$	$70.307^* \cdot 10^{-3}$	$68.046^* \cdot 10^{-3}$	51.715	0.70307	11 bf/in^2

Кроме того, у контрольно–измерительных приборов производства США, Великобритании и других стран, давление указывается в единицах системы мер, принятых в этих странах: «psi» – «фунт силы на квадратный дюйм» ($1 \text{ psi} = 6.894757 \text{ кПа}$), «inH₂O» – «дюйм водяного столба» ($1 \text{ inH}_2\text{O} = 249.089 \text{ Па}$) и т. д.

Наименования, обозначения и соотношения всех применяющихся на практике единиц давления даны в Приложениях 2, 4, 5, 6..

2.2.5. Виды скоростей полета

Для рассмотрения скоростей полета используется скоростная система координат $OX_aY_aZ_a$ связанная с вектором V скорости движения самолета относительно воздушной среды, называемой истинной воздушной скоростью (рис. 4).

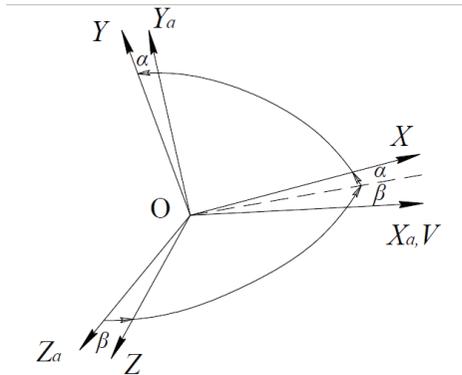


Рис. 4. Скоростная система координат

Ось OX_a скоростной системы координат совпадает с направлением вектора V .

Положение скоростной системы координат $OX_aY_aZ_a$ по отношению к связанной $OXYZ$, определяется углами α и β .

Угол α между проекцией вектора истинной воздушной скорости на плоскость симметрии самолета XOY и связанной осью OX называется **углом атаки**.

Угол β между вектором истинной воздушной скорости и плоскостью симметрии самолета XOY называется **углом скольжения**.

В авиации используются следующие скорости полета:

- индикаторная (приборная);
- истинная (воздушная);
- путевая;
- вертикальная.

Индикаторная V_i – это истинная воздушная скорость, приведенная к

нормальной плотности воздуха.

Истинной воздушной скоростью называется скорость движения самолета относительно воздушных масс.

Путевая V_n – это горизонтальная составляющая скорости самолета относительно земли. При наличии ветра путевая скорость равна геометрической сумме горизонтальных составляющих истинной воздушной скорости и скорости ветра.

Вертикальная скорость – это вертикальная составляющая скорости движения самолета относительно земли.

Приборная (индикаторная) скорость позволяет с определенной точностью судить о величине скоростного напора в полете, от величины которого зависят аэродинамические силы, действующие на самолет, характеристики устойчивости и управляемости и главное – минимальная безопасная скорость полета. Информация о величине приборной скорости необходима летчику для пилотирования. Информация об истинной воздушной и путевой скоростях требуется для решения задач самолетовождения.

2.2.6. Основное уравнение измерений. Кратные и дольные приставки физических величин

Если имеется некоторая величина X , принятая для неё единица измерения равна $[X]$, то значение физической величины будет определяться выражением:

$$X = q [X], \quad (4)$$

где q – числовое значение величины X .

$[X]$, – принятая единица измерения физической величины.

Уравнение (4) в метрологии называют основным уравнением измерений, показывающим, что числовое значение величины зависит от размера принятой единицы измерений. Например, за единицу электрического тока принят 1А. Тогда значение силы тока I электрической сети можно записать в виде:

$$I = q[I] = 6[1A] = 6A.$$

В данном примере числовое значение q равно 6, но если единицу силы тока принять, например, $[1mA]$, то q примет иное значение.

Международная система единиц, разработанная и контролируемая Генеральной конференцией по мерам и весам (CGPM), применяется в гражданской авиации с учетом рекомендаций содержащихся в п. 3.2 и 3.3 положений в качестве стандартной системы единиц в Приложении 5 к Конвенции о международной авиации.

В документах ИКАО приводится перечень кратных и дольных приставок физических величин (рис. 5).

<i>Множитель</i>	<i>Приставка</i>	<i>Обозначение</i>
1 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸	экса	Э
1 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵	пета	П
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	тера	Т
1 000 000 000 = 10 ⁹	гига	Г
1 000 000 = 10 ⁶	мега	М
1 000 = 10 ³	кило	к
100 = 10 ²	гекто	г
10 = 10 ¹	дека	да
0,1 = 10 ⁻¹	деци	д
0,01 = 10 ⁻²	санти	с
0,001 = 10 ⁻³	милли	м
0,000 001 = 10 ⁻⁶	микро	мк
0,000 000 001 = 10 ⁻⁹	нано	н
0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	пико	п
0,000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	фемто	ф
0,000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	атто	а

Рис. 5. Перечень кратных и дольных приставок физических величин

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

В процессе подготовки к ПЗ (заблаговременно – за 2-3дня до ПЗ) студенты знакомятся с содержанием данного учебно–методического пособия (раздел 2. Методические указания).

Для проведения ПЗ студенты группы делятся на бригады по два-три человека. Расчеты проводятся в соответствии с указанным преподавателем вариантом.

В процессе выполнения ПЗ студенты:

- 1) готовят краткие письменные ответы на предложенные вопросы для включения их в отчеты по ПЗ;
- 2) используя основное уравнение измерений определяют числовые значения физических величин, согласно своему варианту (Приложение 1);
- 3) заполняют таблицу летно-технических характеристик ВС используя метрическую и британскую систему исчисления согласно своему варианту (Приложение 1).

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ИТОГАМ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Отчет по ПЗ оформляется студентами на листах формата А4 и должен содержать:

1. Титульный лист, Приложение 8.
2. Письменные ответы на вопросы раздела 1.2.

3. Результаты пересчета значений физических величин, в соответствии со своим вариантом.
4. Результаты пересчета значений ЛТХ ВС, в соответствии с вариантом.

ЛИТЕРАТУРА

1. РМГ 29 – 2013 Метрология Основные термины и определения. – Официальное издание М.: Стандартинформ, 2014
2. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. – Питер, 2013. – 494 с.
3. Кириллин В. А. Техническая термодинамика. – Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
4. Приложение 5 к Конвенции о международной гражданской авиации. Единицы измерения, подлежащие использованию в воздушных и наземных операциях/ Номер заказа: AN 5 ISBN 978-92-9231-563-4– ИКАО, 2010. – 60 с.
5. Постановление Правительства РФ от 05.09.2011 N 743 (ред. от 02.12.2017) «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации».
6. Деньгуб В. М., Смирнов В. Г. Единицы величин. Словарь справочник. — М.: Издательство стандартов, 1990. С. 64. – 240 с
7. Международный документ МОЗМ D2. Узаконенные (официально допущенные к применению) единицы измерений. Приложение В
8. Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации. Утверждено Постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. N 879.
9. О внесении изменений в приложение №3 к Положению о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации. Утверждено Постановлением Правительства РФ от 15 августа 2015 г. N 847

Варианты задания

Вариант задания	Значение физической величины		Перевод физической величины
1	910 Вт	210 Па	Значения физических величин нужно записать с приставками от атто до экза
2	220 В	50 Гц	
3	15 А	35 Ом	
4	25 Ф	245 бит	
5	25 00 Н	345 Па	
6	233 Вт	60 Гц	
7	380 В	400 Гц	

Варианты задания

Вариант задания	Тип воздушного судна
1	Ил – 76
2	SSJ – 100
3	Ил –96 –400
4	Boeing 737 – 400
5	Boeing 777 – 300
6	Airbus A320 – 100 – 200
7	Airbus A330 – 300

Соотношение единиц измерения	Формулы для пересчета
Давление	
760 мм рт.ст.=1013.2mb=1013.2hpa=29.92inch 1мм рт.ст.=1.333mb=1,333hpa=0.0394inch 1mb=1hpa=0,75мм рт.ст.=0.0295inch 1hpa=1mb=0.75мм рт.ст.=0.0295inch 1inch=33.86mb=33.86hpa=25.4мм рт.ст.	$P_{ммрт.ст.} = 3/4 P_{mb} = P_{inch} / 0,0394$ $P_{mb} = P_{hpa} = 4/3 P_{ммрт.ст.} = P_{inch} / 0,295$ $P_{inch} = P_{mb} / 33.86 = P_{ммрт.ст.} / 25.4$ $P_{ммрт.ст.} = 3/4 P_{mb}$ $P_{mb} = P_{hpa} = 4/3 P_{ммрт.ст.}$
Расстояние	
1nm=1.852км=1.151sm=1.151am 1sm=1am=1.609км=0.869 nm 1км=0.54 nm=0.622sm=0.622am 1ft=0.3м=12 inch 1 inch=0.254 м=2.54 см=25.4 мм 1 м =3.28ft=39.36inch	$S_{nm} = S_{км} / 1.852 = S_{sm} / 1.151$ $S_{sm} = S_{am} = S_{км} / 1.609 = S_{nm} / 0.869$ $S_{км} = S_{nm} / 0.54 = S_{sm} / 0.622$ $S_{ft} = S_{м} / 0.3 = S_{inch} / 12$ $S_{inch} = S_{см} / 2,54 = S_{ft} \cdot 12$ $S_{м} = S_{ft} / 3.28 = S_{inch} / 39.36$ $S_{nm} = S_{км} / 2 + 0.1 (S_{км} / 2)$ $S_{км} = S_{nm} \cdot 2 + (S_{nm} \cdot 2)$
Скорость	
1м/с=196.8ft/min=60м/мин=1.96knot=3.6км/ч 1knot=1nm/h=101.2ft/min=30.87м/мин=0.51м/с 1км/ч=0.54knot 1knot=1.852км/ч	$V_{м/с} = V_{ft/min} / 196.8 = V_{knot} / 1.96 = V_{км/ч} / 3.6$ $V_{knot} = V_{ft/min} / 101.2 = V_{м/мин} / 30.87 = V_{м/с} / 0.51$ $V_{км/ч} = V_{knot} / 0.54 = V_{knot} \cdot 1.852$ $V_{knot} = V_{км/ч} / 1.852 = V_{км/ч} \cdot 0.54$ $1 м/с = 200ft/min; 5 м/с = 1000ft/min$ $V_{м/с} = V_{knot} / 2 = V_{ft/min} / 200$ $V_{ft/min} = V_{knot} \cdot 100$ $V_{knot} = V_{ft/min} / 100$
Масса	
1фунт(pound)=1lbs=0.453кг 1кг=2.21lbs=2.21pound	$M_{pound} = M_{lbs} = M_{кг} / 0.453 = M_{кг} \cdot 2.21$ $M_{кг} = M_{pound} \cdot 0.453 = M_{pound} / 2.21$
Температура	
	$t^{\circ}F = 9/5 t^{\circ}C + 32$ $t^{\circ}C = 5/9 (t^{\circ}F - 32)$ $^{\circ}C = (t^{\circ}F - 32) / 2 + 0,1 (t^{\circ}F - 32) / 2$ $t \llcorner C \gg 5/9^{\circ}F - 18$

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Применяемый измеритель	Единицы физических величин
Пилотажно-навигационные параметры				
Углы	рыскания	$\Delta\psi$	Гиropолукомпас, курсовая система	° градус
	тангажа	ν	Авиагоризонт, гиpовертикаль	
	крена	γ	Авиагоризонт, гиpовертикаль	
	курса	$\psi, \psi_M, \psi_K, \psi O$	Гиpоиндукционный компас,	
	угол атаки	α	Датчик угла атаки	
	скольжения	β	Датчик угла скольжения	
	угол сноса	βc	Доплеровский измеритель скорости и угла сноса	
Скорость	Истинная воздушная скорость	V	Измеритель скорости, система воздушных сигналов	км/час, узел
	Индикаторная скорость	V_H	Измеритель скорости, система воздушных сигналов	
	Путевая скорость	V_{II}	Доплеровский измеритель скорости и угла сноса	
	Число Маха	M	система воздушных сигналов	безразмерная
	Вертикальная скорость	V_y	Вариометр, дифференцирующее устройство	м/сек, фут/сек
Высота полета	Истинная	$H_{ист}$	Корректор датчик высоты, система воздушных сигналов	метр, фут
	Относительная	$H_{отн}$		
	Абсолютная	H		
Перегрузка	Вертикальная	n_y	Датчик перегрузок	Безразмерная
	Боковая	n_z		
Температура		T	термопара	$^{\circ}K, ^{\circ}C, ^{\circ}F$
Параметры режимов работы силовых установок				
Тяга двигателя	Для ТРД	Рдв	Измеритель тяги (стенде), косвенные параметры	кг- с, Н

Частота вращения	Роторов двигателя	n	тахометры	об/мин
Температура в двигателе	перед турбиной	T_4	Термопара	$^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$
	за турбиной	T_5		
	на входе в двигатель	T_1		
	масла	T_m		
Давление	за компрессором	P_3	Манометр	$\text{гг}/\text{см}^2$, Па, bar, psi
	на входе в двигатель	P_1		
	Масла	P_m		
	топлива	P_T		
	перепад давления на турбине	Δp	Дифференциальный манометр	безразмерная
	перепад давления на топливных фильтрах	Δp_T		
Расход	Топлива	Q_T	Расходомер	кг/час, л/мин
	Воздуха (СКВ)	Q_B		
Запас топлива			Топливомер	литр, кг
Вибрация	Амплитуда вибрации	a_v	Датчики вибрации	мм
	Частота вибрации	f_v		Гц
	Виброскорость	v_v		мм/сек
	Виброускорение	a_v		мм/сек ²
Параметры окружающей среды				
Плотность	Плотность	ρ		кг/м ³
	Относительная плотность	Δp		Безразмерная
Температура		T	Термометр	$^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$
Давление		P	Барометр	мм рт.ст., ГПа
Влажность		χ	Гигрометр	%
Скорость ветра		W	Измеритель скорости	м/с

Значение величин в СИ	Значение внесистемных величин	Значение внесистемных величин	Значение величин в СИ	Примечание
1 бар	14.5037 фунт/кв.дюйм	1 фунт/кв.дюйм	0,0689 бар	
1 мм ²	0.0016 кв.дюйм	1 кв.дюйм	645.1600 мм ²	
1 см ²	0.1550 кв.дюйм	1 кв.дюйм	6.4516 см ²	
1 даН	2.2481 фунт-вес	1 фунт-вес	0.4448 даН	
1 г	0.0353 унции	1 унция	28.3495 г	
1 гПа	0.0295 дюйм рт.ст.	1 дюйм рт.ст.	33.8640 гПа	
1 кг	2.2046 фунта	1 фунт	0.4536 кг	
1 кг мин	2.2046 фунт мин	1 фунт мин	0.4536 кг мин	
1 л	0.2641 галлон	1 галлон	3.7854 л	
1 л	1.057 кварта	1 кварта	0.9463 л	
1 л/мин	0.2641 галлон в минуту	1 галлон в мину- ту	3.7854 л/мин	

Летно-технические характеристики ВС

Характеристики	Ил-76	SSJ-100-95LR	Ил-96-400	Boeing 737-400	Boeing 777-300	Airbus A320-100/-200	Airbus A330-300
Размах крыла, м	50.5	27,80 м	60,105	28,88	60,9 м	34,1 м	60.304
Длина, м	46.59	29,94 м	63,939	36,40	73,9 м	37,57 м	63.658
Высота, м	14.76	10,28 м	15,717	11,07	18,5 м	11 м	16.910
Площадь крыла, м ²	300	77	391,6	105.4	427	122,6	361.63
Мах взл масса, кг	210 000	49 450	270 000	62 823	299 370	77 000	233 000
Полезная нагрузка, кг	52 000	12 245 кг	58 000	18 260	83 000	18 000	51 700
Кол. пассажир.	-	До 108	435	168	451	До 180	До 440
Крейсерская скорость, км/ч	800	830	870	795	905	840	871
Максимальная скорость, км/ч	820	860	900	807	945	850	913
Мах число M _{мах}	0.72	0.81	0.82	0.82	0.89	0.82	0.86
Практический потолок, м	12 000	12 200	12 000	11 300	13140	12 000	12 500
L полёта (при макс. нагрузке), км	5 000	4578	13 000	5000	7035	6150	10 400
Двигатели	4х1ПС-90А	2×SaM146-1S18	4х1ПС-90А-1	2×CFM56-3B2	2×GE90-94В	2 ×CFMI CFM56-5В	2×R-R Trent 772В
Тяга на мах. (крейсерском) режиме, кН	142.2 (32.4)	79.0 (16.7)	170.6 (34.3)с	121.6 (68.0)	410.0 (198.0)	121.6 (68.0)	316.0 (134.0)
Удельный расход на крейсерском режиме, кг/кгс.час	0.59	0.629	0,595	0.587	0.578	0.587	0,56
Часовой расход, кг/час (на СУ)	8600	2500	8600	5000	7500	5000	10400
Объем топливной системы, л	109 500	15805	116 400	20 102	171 160	30 190	97 530
Мах давл в тормозах	62 ⁺¹³	55 ⁺¹⁰	150 ₋₂₀	55 ⁺¹⁰	170 ⁺¹⁰	55 ⁺¹⁰	185 ⁺¹⁵
Давление ГДС, кг/см ²	210 ⁺¹⁵ ₋₁₀	210 ⁺¹⁵ ₋₁₅	210 ⁺¹⁵ ₋₁₀	210 ⁺¹⁵ ₋₁₅	210 ⁺¹⁵ ₋₁₅	210 ⁺¹⁵ ₋₁₅	210 ⁺¹⁵ ₋₁₅

Вертикальное эшелонирование воздушных судов в воздушном пространстве
Российской Федерации

Истинный путевой угол от 000° до 179°						Истинный путевой угол от 180° до 359°					
Полеты по ППП			Полеты по ПВП			Полеты по ППП			Полеты по ПВП		
Эшелон полета	метры	футы	Эшелон полета	метры	футы	Эшелон полета	метры	футы	Эшелон полета	метры	футы
010	300	1000	-	-	-	020	600	2000	-	-	-
030	900	3000	035	1050	3500	040	1200	4000	045	1350	4500
050	1500	5000	055	1700	5500	060	1850	6000	065	2000	6500
070	2150	7000	075	2300	7500	080	2450	8000	085	2600	8500
090	2750	9000	095	2900	9500	100	3050	10000	105	3200	10500
110	3350	11000	115	3500	11500	120	3650	12000	125	3800	12500
130	3950	13000	135	4100	13500	140	4250	14000	145	4400	14500
150	4550	15000	155	4700	15500	160	4900	16000	165	5050	16500
170	5200	17000	175	5350	17500	180	5500	18000	185	5650	18500
190	5800	19000	195	5950	19500	200	6100	20000	205	6250	20500
210	6400	21000	215	6550	21500	220	6700	22000	225	6850	22500
230	7000	23000	235	7150	23500	240	7300	24000	245	7450	24500
250	7600	25000	255	7750	25500	260	7900	26000	265	8100	26500
270	8250	27000	-	-	-	280	8550	28000	-	-	-
290	8850	29000	-	-	-	300	9150	30000	-	-	-
310	9450	31000	-	-	-	320	9750	32000	-	-	-
330	10050	33000	-	-	-	340	10350	34000	-	-	-
350	10650	35000	-	-	-	360	10950	36000	-	-	-
370	11300	37000	-	-	-	380	11600	38000	-	-	-
390	11900	39000	-	-	-	400	12200	40000	-	-	-
410	12500	41000	-	-	-	430	13100	43000	-	-	-
450	13700	45000	-	-	-	470	14350	47000	-	-	-
490	14950	49000	-	-	-	510	15550	51000	-	-	-
и т. д.	и т. д.	и т. д.	-	-	-	и т. д.	и т. д.	и т. д.	-	-	-

ППП - правила полётов по приборам.

ПВП - правила визуальных полетов.

Величина	Устаревшая физическая величина	Значение в системе СИ
Длина	1 верста = 50 сажений= 1500 аршин	1 068 м
	1 сажень = 3 аршина = 48 вершков	2.1336 м
	1 аршин = 16 вершков	71.12 см
	1 сажень = 7 фугов = 84 дюйма	2.1336 м
	1 пядь=1/12 сажени=1/4 аршина= 4 вершка	17.78 см
	7 пядей= 1 лоб	124.48 см
	1 дюйм = 10 линий = 100 точек	2.54 см
Масса	1 линия = 10 точек	2.54 см
	1 берковец = 10 пудам = 400 фунтов	163.895 кг
	1 пуд = 40 фунтам = 120 лотов	16.3805 кг
	1 фунт = 32 лота = 86 золотников	409.512 г
	1 лот = 3 золотника = 288 долей	12.797 г
	1 золотник	4.26 г
Площадь	1 доля	44.4349 г
	1 десятая = 2400 квадратных сажений	10 925.4 м ²
Объем (вместимость для жидких тел)	1 бочка = 40 ведер = 400 штофов	491.98 дм ³
	1 ведро = 10 штофов = 20 бутылок	12.2994 дм ³
	1 штоф = 2 бутылки = 10 чарок	1.22994 дм ³
	1 бутылка – 5 чарок = 10 шкаликов	0.61497 дм ³

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Кафедра «Техническая эксплуатация летательных
аппаратов и авиационных двигателей»**

Практические занятия

(зачтено, не зачтено)

(руководитель: уч. степень, звание, Ф.И.О)

_____ « ___ » _____ 20...г.

(подпись) (дата)

ОТЧЕТ

по практическим занятиям
по дисциплине

«Метрология, стандартизация и сертификация»

**Тема ПЗ - Основное уравнение измерений. Перевод внесистемных единиц в
единицы физических величин СИ**

1. Цель занятия
2. Краткие теоретические сведения
3. Основное уравнение измерений.

Пример: за единицу электрического тока принят 1А. Тогда значение силы тока I электрической сети можно записать в виде:

$$I = q[I] = 6[1A] = 6A.$$

В данном примере числовое значение q равно 6, но если единицу силы тока принять, например, [1mA], то q примет иное значение.

4. Летно-технические характеристики ВС

Характеристики	Тип ВС	
	ЛТХ в системе СИ	ЛТХ во внесистемных ФВ
Размах крыла		
Длина		
Высота		
Площадь крыла		
$m_{\text{тахвл}}$		
Полезная нагрузка		
Макс. пассажировместимость		
$V_{\text{крейс}}$		
$V_{\text{тах}}$		
Число $M_{\text{тах}}$		
Практический потолок		
Дальность полёта L_n (при тах. нагрузке)		
Двигатели		
Тяга на крейсерском режиме		
Удельный расход на крейсерском режиме		
Часовой расход		
Объем топливной системы		
$R_{\text{мах}}$ основное тормозной системы		
$R_{\text{гдс}}$		

Отчет подготовил студент
группы _____
(номер группы)

_____ (Ф.И.О.)

« ____ » _____ 20... г.

Москва – 20...г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
1.1. Цель практического занятия.....	3
1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению по теме ПЗ	3
2. Методические указания	3
2.1. Метрология в окружающем мире	3
2.2. Основные понятия и определения	4
2.2.1. Общие сведения.....	4
2.2.2. Применение внесистемных физических величин в гражданской авиации.....	8
2.2.3. Виды высот полета и их измерение.....	11
2.2.4. Виды давления и их измерение	12
2.2.5. Виды скоростей полета	14
2.2.6. Основное уравнение измерений. Кратные и дольные приставки физических величин.....	15
3. Порядок проведения практического занятия	16
4. Оформление отчета по итогам практического занятия	16
Литература	17
Приложения	18