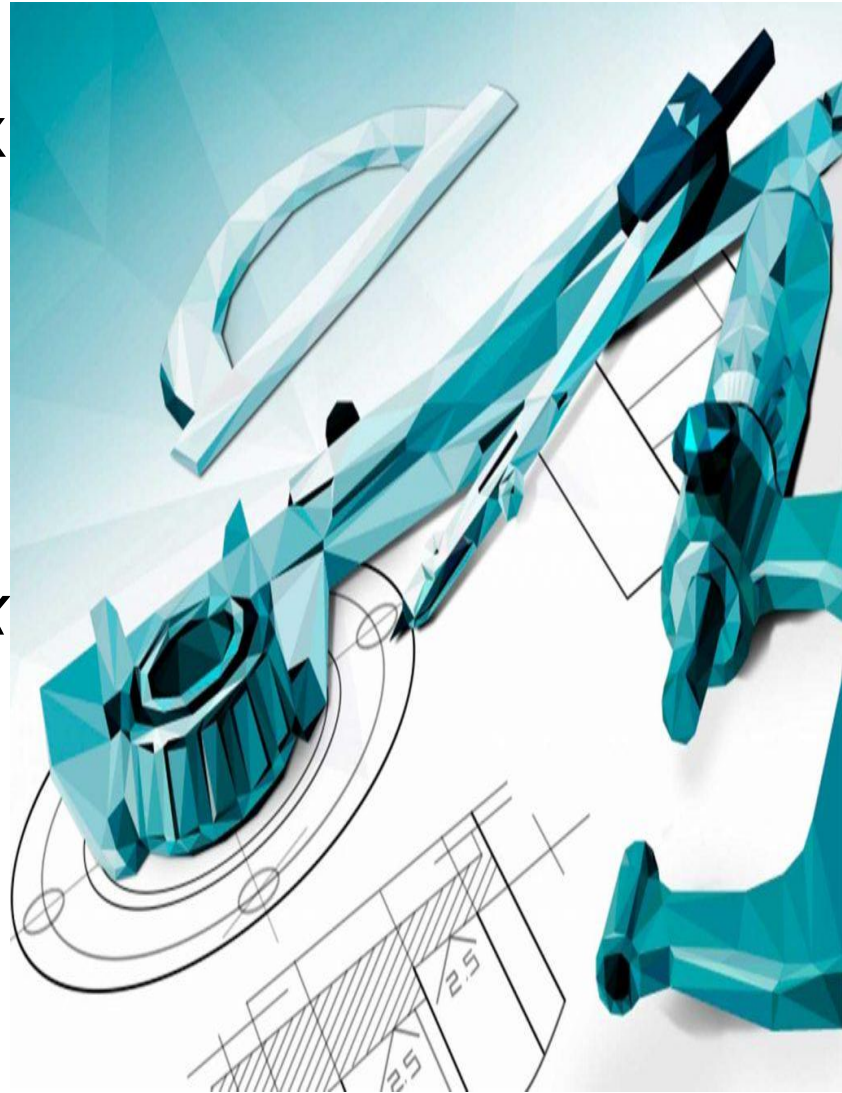


# МЕТРОЛОГИЯ

- **Метрология** – наука об измерениях, обеспечении их единства, методах и средствах достижения требуемой точности.

*«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять»  
(Д.И.Менделеев)*



# ИЗМЕРЕНИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

**Любая** техническая **отрасль** (в том числе и **строительство**) **не может существовать без системы измерений**, определяющей управление, контроль за технологическими процессами и качество выпускаемой продукции.

**Для выполнения измерений** **используется** **строительная техника**, начиная от **простейших измерительных средств** и заканчивая **сложными измерительными комплексами**, позволяющими измерить физическую величину с наивысшей точностью.

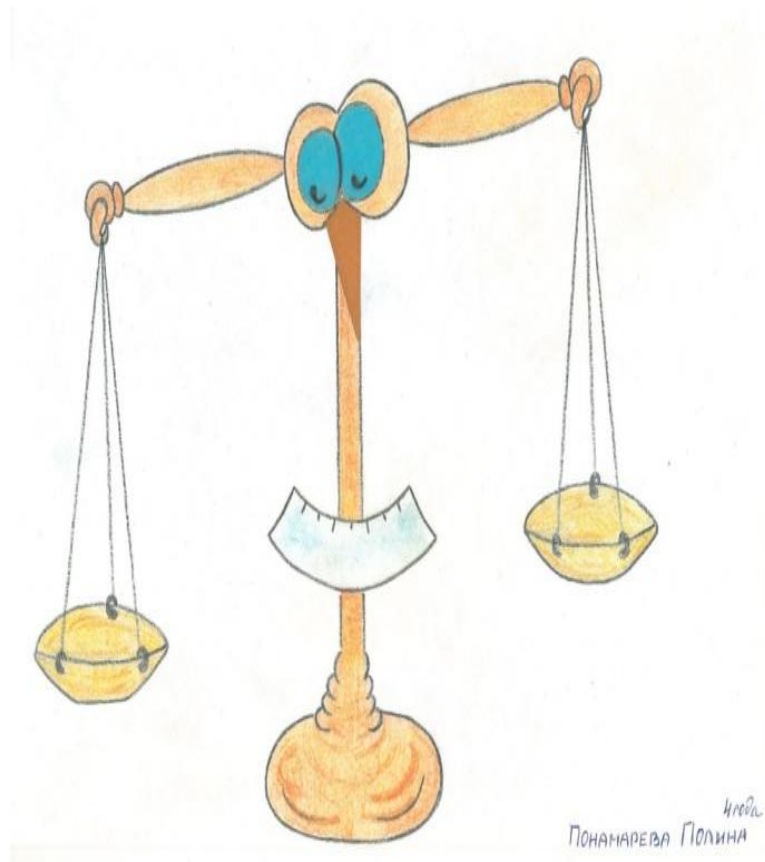


# ИЗМЕРЕНИЯ

**Измерение** – это совокупность операций по применению технических средств, хранящих единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

**Измерение** – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

**Измерение** – совокупность операций, выполняемых для определения количественного



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Средство измерений** - техническое средство, предназначенное для измерений.

**Средства измерений:** меры, измерительные приборы, измерительные установки, измерительные преобразователи, измерительные принадлежности (которые не могут применяться самостоятельно, но служат для расширения диапазона измерений, повышения точности, передачи результатов на расстояние).

**Мера** (носитель единиц физических величин) – средство измерений в виде тела или устройства, предназначенного для воспроизведения величины одного или нескольких размеров, значения которых она содержит с необходимой для измерений точностью.

**Меры:** гири, мерные колбы, концевые меры длины.

Мера позволяет воспроизвести величины, значения которых связаны с принятой единицей





# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

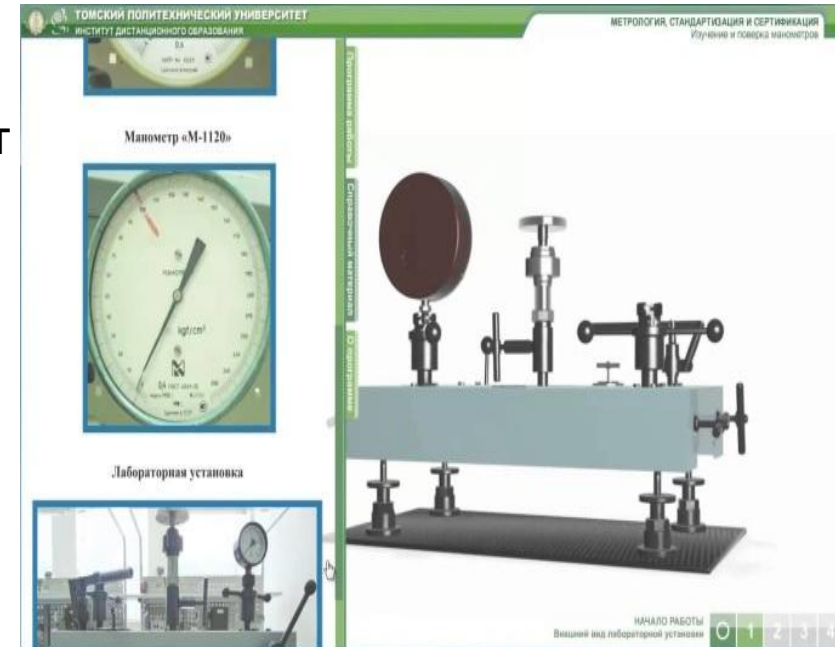
**По способу получения числового значения** измеряемой величины **все измерения** подразделяются на четыре основных вида:

1. **Прямое измерение** – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

**Примеры:** измерение длины линейкой; температуры – термометром, массы – взвешиванием и т.д.

2. **Косвенное измерение** – определение искомого значения величины на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

**Пример:** прочность бетона определяют путем измерения разрушающего усилия и площади поперечного сечения образца или путем измерения времени прохождения через бетон ультразвука-



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

3. **Совокупные измерения** – одновременные измерения нескольких одноименных величин, при которых искомую величину определяют решением уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

**Пример:** состав бетонной смеси определяют путем отбора из одного замеса двух проб, одну из которых взвешивают до и после прокаливания (определение расхода воды), а вторую пробу взвешивают до и после отсева с промывкой и высушиванием (определение расхода песка и щебня). Расход цемента определяют по результатам двух измерений, решая уравнение.

4. **Совместные измерения** – одновременные измерения двух или нескольких разнородных (не одноименных) величин для нахождения зависимостей между ними.

**Пример:** для измерения с необходимой точностью прочности бетона ультразвуковым методом предварительно проводят совместные измерения: измеряют скорость ультразвука в бетонных образцах и затем измеряют прочность этих образцов



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Точность измерения** – степень приближения результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Для количественной оценки точности применяют обратную величину – **Погрешность измерения.**

**Абсолютная погрешность измерения** – разность между полученным при измерении  $X$  и действительным  $X_d$  значениями измеряемой величины:

$$\Delta = X - X_d.$$

**Относительная погрешность** – погрешность, выраженная в процентах или долях значения измеряемой величины:



# ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**Точные измерения** неоднократно **позво-**  
**ляли делать фундаментальные открытия.**

- Повышение точности,
- расширение диапазонов измерений,
- повышение быстродействия

измеритель-  
ной аппаратуры позволяют измерять то, что ранее было неизмеримо, и стимулировать по-явление и развитие новых направлений в науке и технике.

В свою очередь, **решение научных проб-**  
**лем** нередко **открывает новые пути совершенствования измерений.**



**РОЛЬ МЕТРОЛОГИИ**

**В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ  
ПРОГРЕССЕ:**

**чем крупнее научная и техническая проб-**



# СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1. **В строительстве**, начиная от производ-ства строительных материалов и заканчивая возведением зданий и сооружений, **исполь-зуется огромное количество измерений различных видов**: измеряют массу и плот-ность, силу и давление, температуру, пара-метры электрического тока и другие физиче-ские величины.

2. **Для измерения основных физичес-ких величин** используют **стандартные изме-рительные средства** с известными метроло-гическими характеристиками. Применяе-мые **измерительные средства имеют**, как правило, некоторый «запас по точности», т.е. **погрешность**



# СПЕЦИФИКА ИЗМЕРЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

3. При определении **специальных свойств** различных строительных материалов **стандартные измерительные средства** применяются **в качестве вспомогательных в комплекте со специальными измерительными приборами**, разработанными только для данного конкретного испытания. Точность определения заданного параметра при данном испытании зависит, как правило, от ряда специальных операций, выполняемых по условиям испытания.

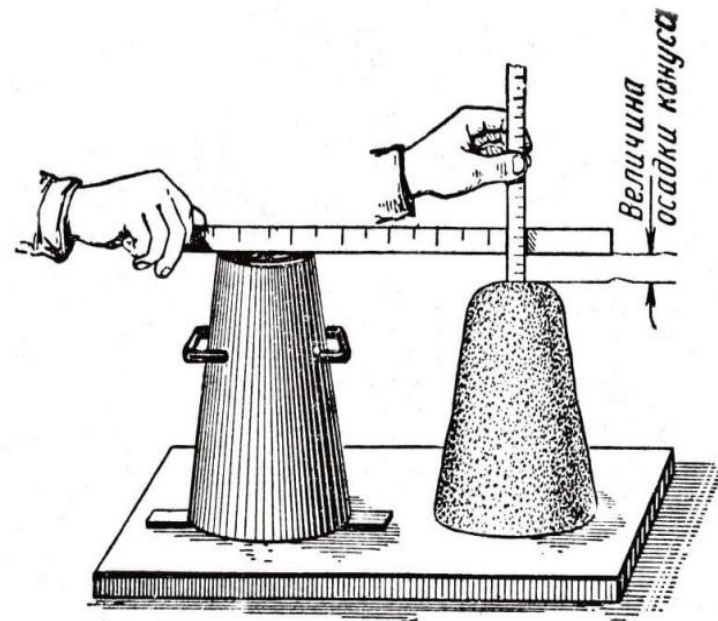
**Пример:** при определении нормальной плотности цементного теста точность определения зависит не от точности взвешивания цемента и воды, а от операций перемешивания, уплотнения (встряхивания) и операций, выполняемых при пользовании



# Специфика измерений в строительстве

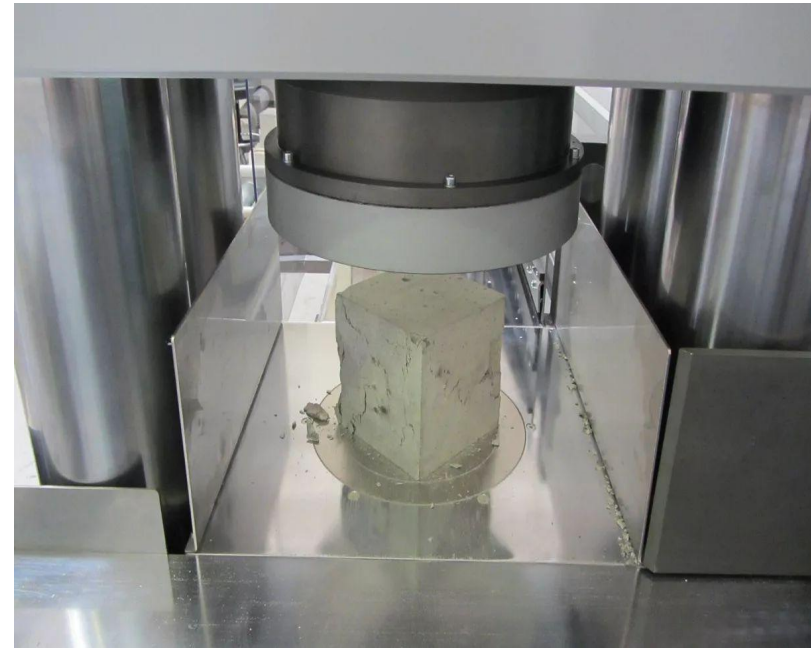
4. Большинство методов и средств испытаний строительных материалов **регламентированы только строительными стандартами** и **не проходили метрологическую экспертизу.**

**Пример:** при определении подвижности бетонной смеси, морозостойкости бетона, прочности бетона с использованием неразрушающих методов **погрешность измерений** нередко **остаётся неизвестной**. При этом допуск на определяемый параметр, как правило не задан. Однако **отсутствие метрологического обеспечения не снижает значимости этих испытаний.** Используемые приборы имеют простые и надёжные конструкции, и точность определения параметра оказывается достаточной для осущес-



# СПЕЦИФИКА ИЗМЕРЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

5. При определении наиболее ответственных функциональных параметров (Пример: прочность бетона с помощью разрушения контрольных кубов) **учитываются возможные отклонения** от значений, полученных при испытании. Область технологического рассеивания результатов здесь хорошо изучена. При этом погрешность стандартного измерительного средства (пресса) ничтожно мала по сравнению с рассеиванием, связанным с неоднородностью материала, и не учитывается при





# СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## 6. *Качество возведения*

зданий и сооружений во многом *определяется*

также *точностью геометрических параметров*, для контроля которых *используются* в основном *стандартные измерительные средства*

При этом геодезические средства измерений, как наиболее ответственные, полностью обеспечиваются поверкой.

В последние годы разработаны новые электронные средства линейно-угловых измерений высокой точности, которые



# ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

**Физическая величина** – свойство, общее в **качественном отношении** для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

**Единица величины** – фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется **для количественного выражения** однородных с ней величин.

При количественной оценке той или другой величины следует употреблять термин «размер» (количественная определенность величины).

**Пример:** размер давления, размер скорости.

**Значение величины** – **количественная оценка конкретной величины**, выраженная в виде некоего числа единиц данной величины. Отвлеченное число, входящее в «значения» величины, называется **числовым**



# УНИФИКАЦИЯ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

- Первоначально единицы физических величин **выбирались произвольно** без какой-либо связи друг с другом. Это затрудняло сравнение результатов измерений, произведенных различными наблюдателями.

- В каждой стране, а иногда даже в каждом городе **создавались свои единицы физических величин**.

- Существовало **разнообразие единиц, применяемых в различных отраслях науки, техники, промышленности** и т.п.

В различных отраслях человеческой деятельности создавались новые единицы тех или иных величин, характерных для данной отрасли.

- **Соотношения между дольными и кратными единицами** были необычайно **разнообразны**.

**Пример** (некоторые единицы, применявшиеся в России до Октябрьской революции):

1 аршин = 16 вершков = 28 дюймов = 0,71120 м;



# ВЕЛИЧИН

1 верста = 500 саженой = 1,0668км;

1 десятина = 2400 кв. сажени = 10925 кв.м;

1 пуд = 40 фунтов = 16,38кг;

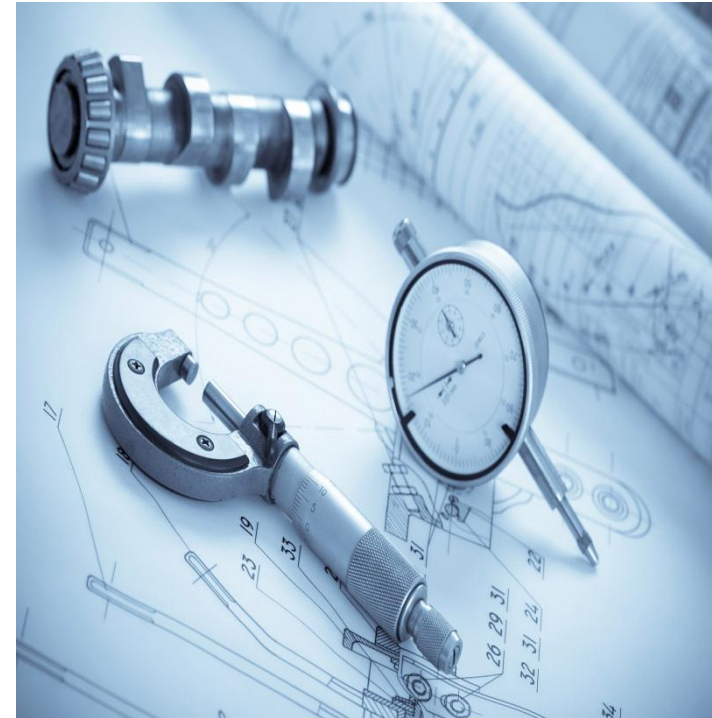
1 фунт = 96 золотников = 409,5г;

1 золотник = 96 долей = 4,266г.

- По мере развития науки, а также между-народных связей **трудности использования результатов измерений возрастали и тормозили дальнейший научно-технический прогресс**. Большой ущерб причиняла множественность единиц и науке.

- Во второй половине XVIII в. **в Европе насчитывалось:**

- до сотни футов различной длины;
- около полусотни различных миль;
- свыше 120 различных фунтов.





# ВЕЛИЧИН



В 1790г. во Франции было **принято решение о создании системы новых мер**, «основанных на неизменном прототипе, взятом из природы, с тем, чтобы ее могли принять все нации».

1) Было предложено считать единицей длину десяти-миллионной части четверти меридиана Земли, проходящего через Париж. Эту единицу назвали **МЕТРОМ**. Для определения размера метра с 1792 по 1799гг. были проведены измерения дуги парижского меридиана.

2) За единицу массы была принята масса 0,001м<sup>3</sup> (1дм<sup>3</sup>) чистой воды при температуре наибольшей ее плотности (+4 градуса). Эта единица была названа **КИЛОГРАММОМ**.

## Вывод:

При введении метрической системы **была** не только **установлена единица длины, взятая из природы**, но и **принята десятичная система образования кратных и дольных единиц**, соответствующая десятичной системе нашего числового счета. **Десятичность метрической системы является одним из важнейших ее преимуществ.**



# УНИФИКАЦИЯ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Однако как показали последующие измерения, в  $\frac{1}{4}$  парижского меридиана содержится не 10000000, а 10000856 первоначально определенных метров. Но и это число нельзя было считать окончательным, так как еще более точные измерения могли дать другое значение.



В 1872г. Международной комиссией по прототипам метрической системы **было решено перейти от единиц длины и массы, основанных на естественных эталонах, к единицам, основанным на условных материальных эталонах (прототипах).**

В 1875г. была **созвана дипломатическая конференция**, на которой 17 государств, в том числе и Россия, **подписали метрическую конвенцию**, в соответствии с которой:

- Устанавливались международные **прототипы метра и килограмма**;
- Создавалось Международное **бюро мер и весов** – научное учреждение, средства на содержание которого обязались выделять государства, подписавшие конвенцию;
- Учреждался Международный **комитет мер и весов**, состоящий из ученых разных стран, одной из функций которого было руководство деятельностью Международного бюро мер и весов;

Устанавливался размер единиц в шести раз Генеральной международной

# УНИФИКАЦИЯ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

- Были *изготовлены образцы метра и килограмма* из сплава платины и иридия.
  - В 1889г. в Париже *состоялась I Генеральная конференция по мерам и весам*, утвердившая международные прототипы из числа вновь изготовленных образцов.
  - *Прототипы метра и килограмма* были *переданы на хранение Международному бюро мер и весов*.
  - После установления международных прототипов метра и килограмма I Генеральная *конференция распределила остальные образцы* по жребию *между государствами*, подписавшими Метрическую конвенцию. Россия получила два метра (№11 и 28) и два килограмма (№12 и 26). Из них метр №28 и килограмм №12 были утверждены в качестве Государственных эталонов России.
- Вывод:** в 1899г. было **завершено установление метрических мер.**

# СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Понятие о системе единиц физических величин ввел немецкий ученый К.Гаусс.

По его методу построения систем единиц различных величин *сначала устанавливают или выбирают произвольно несколько величин независимо друг от друга*. Единицы этих величин называют **ОСНОВНЫМИ**, так как они являются основой построения системы единиц других величин.

Основные единицы *устанавливают* (или выбирают) *таким образом, чтобы, пользуясь закономерной связью между величинами, можно было образовать единицы других величин.*

**Закономерная связь между величинами** – возможность математически выразить зависимость одной величины от других.

*Единицы, выраженные через основные единицы,* называют **ПРОИЗВОДНЫМИ**.

*Полная совокупность основных и производных единиц, установленных таким путем, и является **СИСТЕМОЙ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.***



# ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

1) **Метод** построения системы **не связан с конкретными размерами основных единиц**. Устанавливаются или выбираются величины, единицы которых должны стать основой системы. Размеры производных единиц зависят от размеров основных единиц.

**Пример:** в качестве одной из основных единиц можно выбрать единицу длины, но какую именно – безразлично. Но производная единица измерения площади, будет зависеть от того, какая единица длины выбрана.

2) **Построение системы** единиц **возможно для любых величин, между которыми имеется связь, выражаемая в математической форме в виде уравнения**.

3) **Выбор величин, единицы которых должны стать основными, ограничивается** соображениями рациональности и в первую очередь тем, **что позволило бы образовать максимальное число произвольных единиц**.

4) **Система** единиц **должна быть когерентна**.

**Когерентность (согласованность) системы** единиц заключается в том, что **во всех формулах**, определяющих производные единицы в зависимости от основных, **коэффициент всегда равен единице**. Это

# СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Первоначально были созданы системы единиц, основанные на трех единицах. Эти системы охватывали большой круг величин, условно называемых механическими. Они строились на основе тех единиц физических величин, которые были приняты в той или иной стране. Предпочтение отдается системам, построенным на единицах **длины – массы – времени** как основ-ных. Одной из систем, построенных по этой схеме для метри-ческих единиц, является система **метр - килограмм – секунда (МКС)**.*

В научных трудах по физике *до сих пор применяется система **сантиметр – грамм – секунда (СГС)**, разработанная в 1861 – 1870гг. и построенная по той же схеме: **длина – масса – время**. Система **МКС**, а также система **СГС** в части единиц механических величин когерентны.*

# СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В течение некоторого времени *применяли* так называемую *техническую систему единиц*, построенную по схеме **длина – сила – время**. При применении метрических единиц *основными единицами* этой *системы является метр – килограмм- сила – секунда (МКГСС)*.

Преимущество: применение в качестве одной из основных единицы силы упрощало вычисления и выводы зависимостей для многих величин, применяемых в технике.

## Недостатки:

1) Единица массы получается производной и равной  $\approx 9,81\text{кг}$ . Это нарушает метрический принцип десятичности мер;

2) Сходность наименования *единицы силы – килограмм-сила* и *метрической единицы массы – килограмма*. Это нередко приво-дило к путанице;

- Несогласованность с практическими электрическими единицами.

# СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Некоторое время *применялась система* единиц **метр – тонна – секунда**.

Так как *системы механических единиц охватывали не все физические величины*, для отдельных отраслей науки и техники системы единиц *расширялись путем добавления еще одной основной единицы*. Так появилась *система тепловых единиц метр – килограмм – секунда – градус температурной шкалы (МКСГ)*.

*Система единиц для электрических и магнитных измерений получена добавлением единицы силы тока – **ампера (МКСА)***.

*Система световых единиц содержит* в качестве четвертой основной единицы – **канделу (свечу)** – единицу силы света.

**Серьезные трудности** встретились **при применении системы СГС для измерения электрических и магнитных величин**.

Всего было составлено семь видов единиц СГС электрических и магнитных величин.

**Большинство** указанных **недостатков** было **устранено введением единой универсальной международной системы единиц (СИ)**, которая принята в настоящее время большинством стран.

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Наличие ряда систем единиц физических величин, действовавших в мире в первой половине XX в., и большое число внесистемных единиц вызывали **значительные неудобства, связанные с пересчетами при переходе от одной системы к другой.**



**Возникла необходимость создания единой универсальной системы единиц**, которая охватывала бы все отрасли науки и техники и была бы принята в международном масштабе.

В результате большой работы, выполненной Международным комитетом мер и весов, по опросу научных, технических и педагогических кругов многих стран и обобщению результатов опроса, а также в результате работы IX, X и XI Генеральных конференций по мерам и весам (1948, 1954, 1960 гг.) в 1960г. была **принята Международная система единиц (Systeme International) или сокращенно СИ (SI).**

**Международная система единиц** является **наиболее совершенной и универсальной** из всех существовавших до настоящего времени. Она охватывает физические величины:

- механики,
- электродинамики,
- термодинамики и
- оптики,



# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Преимущества системы **СИ** настолько сильны, что она за короткое время **получила широкое международное признание и распространение.**

На систему СИ перешли и те страны, в которых ранее использовалось значительное количество национальных единиц (Австралия, Великобритания, Канада).

С 1970 г. Международное бюро мер и весов (МБМВ) издает документ «Международная система единиц (СИ)».

В последнем шестом издании учтены решения, принятые МБМВ в 1988, 1989, 1990 гг. и изменения, внесенные Консультативным комитетом по единицам измерения в 1990 г.

**В СССР переход к системе СИ начался в 1955 г.** Утверждением стандартов на отдельные группы физических величин. Однако более широкое внедрение системы произошло только в 1970 – 1985 гг., начиная с издания массовым тиражом проекта стандарта «Единицы физических величин».

**В настоящее время система СИ в РФ регламентирована ГОСТ 8.417 – 2002 «ГСИ. Единицы величин»,** который определяет наименования, обозначения и правила применения величин

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

## ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

- 1) **Секунда** – интервал времени;
- 2) **Метр** - расстояние;
- 3) **Килограмм** – единица массы;
- 4) **Кельвин** – единица термодинамической температуры;
- 5) **Ампер** – сила неизменяющегося электрического тока;
- 6) **Канделла** – сила света;
- 7) **Моль** – количество вещества системы.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

- 1) **Радан** – единица плоского угла;
- 2) **Стерadian** – единица телесного угла.

Угловые единицы не могут быть введены в число основных, так как это вызвало бы затруднение в трактовке размерностей величин, связанных с вращением (дуги окружности, площади круга, работы пары сил и т.д.) Вместе с тем они не являются и производными единицами, так как не зависят от выбора основных единиц.

Дополнительные единицы СИ использованы для образования единиц угловой скорости, углового ускорения и некоторых других величин.

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

## ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

*Производные единицы* системы СИ образуются на основании законов, устанавливающих связь между величинами, или на основании определений размеров величин.

Соответствующие производные единицы СИ выводятся из уравнения связи между величинами (определяющего уравнения), выражающего данный физи-ческий закон или определение, если другие величины выражаются в единицах СИ.

**К производным единицам СИ относятся:**

- Модуль упругости;
- Предел прочности;
- Площадь;
- Объем;
- Скорость;
- Плотность;
- Удельная теплоемкость;
- Теплопроводность и многие другие.

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

## ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Наравне с основными, дополнительными и производными единицами СИ **допускается** также **применение некоторых внесистемных единиц не входящих ни в одну из принятых систем:**

- 1) Масса (тонна, атомная единица массы);
- 2) Время (минута, час, сутки);
- 3) Плоский угол (градус, минута, секунда);
- 4) Объем (литр);
- 5) Длина (астрономическая единица, световой год, парсек);
- 6) Оптическая сила (диоптрия);
- 7) Площадь (гектар);
- 8) Энергия (электрон-вольт);
- 9) Полная мощность (вольт-ампер).

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Наиболее прогрессивным способом образования кратных и дольных единиц является принятая в метрической системе мер **десятичная кратность** между большими и меньшими единицами.

Десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ **образуются путем присоединения приставок**, взятых из латинского, греческого и датского языков.

Множитель	Приставка	Обозначение русское	Множитель	Приставка	Обозначение русское
18	Экса	Э	-1	Деци	Д
15	Пета	П	-2	Санتي	С
12	Тера	Т	-3	Милли	М
9	Гига	Г	-6	Микро	Мк
6	Мега	М	-9	Нано	Н
3	Кило	к	-12	Пико	П
2	Гекто	г	-15	Фемто	Ф
1	Дека	да	-18	Атто	А



# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕДИНИЦ СИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- *Переход к системе СИ в строительной отрасли* завершился до 1990 г.
- *Единицы СИ используются* в проектной и нормативной документации.
- *Обучение* в средних и высших строительных учебных заведениях *ведется* только с использованием указанных единиц.
- *Переградуировано* большое количество *измерительных средств*.

## ОСОБЕННОСТИ:

1) Применявшаяся ранее для оценки напряжений или прочностных свойств материалов единица давления **килограмм-сила на квадратный сан-тиметр** была **более удобной** (более «ощутимой»), чем мелкогазмерная единица **Паскаль**, требующая применения приставки мега.

2) При проведении ряда расчетов теперь **требуется** вычислять вес конструкций с использованием **коэффициента 9,81**.

3) **Неудобства** для производственных лабораторий созданы введением характеристики **«класс бетона» по прочности**, которая необходима и используется только при расчете железобетонных