

Комплекс Э. должен быть взаимно согласованным: поскольку значения ряда производных единиц и шкал можно воспроизвести, применяя различные комбинации Э. основных и производных единиц и шкал, любое такое комбинирование Э. в измерит. процедурах должно давать сопоставимые (одинаковые в пределах объявленных погрешностей) результаты измерений. Проблема согласования Э. усложнилась с введением квантовых Э. производных единиц вольт и ома, воспроизводимых независимо от осн. электр. единицы — ампера, и тесно сопряжена с согласованием соответствующих ФФК.

Формирование комплекса Э. осуществляется с учётом правовых принципов организации системы обеспечения единства измерений (СОЕИ), гарантирующей правильность результатов многообразных измерений на междунар., региональном или государственном уровнях. Возможны два предельных варианта построения СОЕИ.

Первый вариант — полностью централизованный, он опирается на единые междунар. или национальные Э., воспроизводящие систему шкал и единиц измерений, и на строго иерархический порядок передачи их с заданной точностью. Второй вариант связан с разработкой спецификаций, опирающихся на стабильные природные явления и позволяющих создать государственные Э. осн. шкал и единиц измерений, изначально воспроизводящие эти шкалы и единицы с гарантированной точностью; этот путь приводит к построению децентрализованной СОЕИ. Первый вариант неизбежен, когда значения осн. единиц системы выбраны произвольно и не связаны с природными явлениями. Соответствующая СОЕИ громоздка, неизбежны большие потери точности при передаче шкал и размеров единиц рабочим средствам измерений, сопряжена с принципиальной возможностью утраты соответствующих Э., т. е. с потерей шкал и размеров единиц. СОЕИ, построенная по второму варианту, свободна от большинства этих недостатков, но требует знания достаточно точных, согласованных на междунар. уровне значений комплекса ФФК, возможности точного воспроизведения квантовых эффектов и физ.-матем. принципов. Оба пути построения СОЕИ не антагонистичны и дополняют друг друга.

Эталонные основные единицы СИ

1. **Эталон единицы длины — метра.** Шкала длин (расстояний) является шкалой интервалов. Её особенность — отсутствие единого фиксированного в пространстве нуля отсчёта. Измеряются всегда только интервалы протяжённости — расстояния. Условный перемещаемый в пространстве нуль средства измерения длины (нуль шкалы отсчётного устройства) при измерении совмещается с нек-рой точкой измеряемого объекта.

В табл. 1 приведены все существовавшие определения метра и принципы построения СОЕИ длин.

Табл. 1.

Определение	Год принятия	Характер СОЕИ
Одна десятиллионная часть четверти Парижского меридиана	1791	Децентрализованная
Длина «архивного метра» (платинового стержня, изготовленного в 1799)	1872	Централизованная
Расстояние между штрихами на X-образной платино-иридиевой линейке (международном прототипе)	1889	Централизованная
1650763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86	1960	Децентрализованная
Длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды*	1983	Децентрализованная

* Скорость света в вакууме (для целей метрологии) возведена в ранг абсолютно точной ФФК.

Определение, принятое в 1983, удобно для измерения больших и сверхбольших расстояний, когда фигурируют достаточно длит. интервалы времени. Относительно небольшие длины определяют косвенным методом: с помощью радиооптич. частотных мостов (РОЧМ; см. ниже), входящих в состав Э. времени и частоты, измеряют частоты излучения стабилизированных лазеров и вычисляют соответствующие длины волн; затем с помощью оптич. *интерферометров* аттестуют и поверяют меры длины. Эта операция формально совпадает с процедурой воспроизведения размера метра с помощью криптоновой лампы, но в этом случае могут применяться гелий-неоновые лазеры, работающие на частотах ок. 88, 473, 489 и 520 ТГц (погрешности $1,3 \cdot 10^{-10}$ — $1,1 \cdot 10^{-9}$), аргоновый лазер на частоте ок. 582 ТГц (погрешность $1,3 \cdot 10^{-9}$), а также спектральные лампы ^{86}Kr , ^{198}Hg , ^{114}Co (погрешности ок. $4 \cdot 10^{-9}$) и т. д. Радиооптич. мост России позволяет определить значение частоты перевозимого стабилизированного лазера с большей точностью, $\text{СКО} \leq 1 \cdot 10^{-11}$ и $\text{НСП} \leq 2 \cdot 10^{-11}$, а также (с несколько меньшей точностью) определить частоту лазера, входящего в состав Э. метра России, СКО к-рого не превышает $2 \cdot 10^{-11}$, а НСП — $1 \cdot 10^{-9}$.

2. **Эталон единицы массы — килограмма.** Шкала масс — аддитивная шкала отношений. Определения килограмма и принципы построения СОЕИ масс приведены в табл. 2.

Табл. 2.

Определение	Год принятия	Характер СОЕИ
Масса 1 дм ³ воды при температуре её максимальной плотности	1791	Децентрализованная
Масса «архивного килограмма» (платиновой цилиндрической гири, изготовленной в 1799)	1872	Централизованная
Масса международного прототипа — платино-иридиевой гири высотой и диаметром 39 мм, равная массе «архивного килограмма»	1889	Централизованная

Междунар. прототип Э. массы хранится в Междунар. бюро мер и весов (МБМВ, Париж). Его копия — государственный Э. массы России — имеет абс. погрешность $2 \cdot 10^{-3}$ мг.

Определение килограмма не связано с ФФК или др. осн. единицами СИ. Междунар. прототип, безусловно, подвержен износу, степень к-рого определить принципиально невозможно, поэтому поиск путей создания Э. килограмма, опирающегося на ФФК или атомные константы, — важная проблема метрологии. Так, напр., ведутся работы по определению килограмма через вольт и ом с помощью обращённых ампер-весов (см. ниже). Теоретически Э. килограмма мог бы служить идеальный кристалл, содержащий известное число атомов определ. хим. элемента, но способ выращивания такого кристалла пока нет.

С Э. массы связана др. осн. единица СИ — моль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов (атомов, молекул, ионов и т. п.), сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. Масса 1 моля разл. веществ различна, поэтому Э. моля нет. Моль — счётная единица, численно равная числу Авогадро, т. е. он равен массе $6,025 \cdot 10^{23}$ частиц. Включение моля в состав осн. единиц СИ обоснованно оспаривается.

3. **Эталон единицы времени (длительности) — секунды.** Шкала времени — типичная шкала разностей (интервалов). Секунда, как и шкалы счёта времени, занимает особое место среди др. осн. единиц СИ. Прежде всего, необратимость времени — одна из фундам. характеристик нашей Вселенной. Кроме того, существует стремление выразить через ФФК и секунду (или герц) др. единицы СИ.

В метрич. системе 1791 секунда не входила, измерение времени считалось задачей астрономов, а не метрологов. В последующие системы секунда была включена как осн.