

Взвешивайте правильно



Советы и рекомендации  
Учет внешних факторов  
Сокращение ошибок  
Точность результатов

Руководство

## Правила взвешивания на лабораторных весах

METTLER TOLEDO



---

## Правила взвешивания на лабораторных весах

Введение	5
Выбор места установки весов	6
Работа с весами	8
Воздействие физических факторов	12
Технические термины	20
Эффективный подход к взвешиванию (GWP® – Good Weighing Practice™)	28



## Введение

Взвешивание – одна из наиболее частых операций, выполняемых в лаборатории. Современные микровесы, полумикровесы, аналитические и прецизионные весы достигли такого уровня совершенства, что для их установки не требуется специальных помещений.

Технологический процесс в области электроники позволил во многом упростить работу с весами и значительно сократить время взвешивания. Кроме того, теперь весы можно легко интегрировать в любой производственный процесс.

Несмотря на достигнутый прогресс, неблагоприятным факторам окружающей среды по-прежнему нужно уделять достаточно внимания. К числу таких факторов обычно относятся физические воздействия, которые влияют на показания аналитических весов и микровесов. Эти эффекты не могут быть скомпенсированы весами, так как связаны с реальным изменением веса (например, вследствие медленного испарения или поглощения влаги). Это могут быть также силы, действующие на чашу весов или взвешиваемый образец (например, магнитные поля, электростатические разряды), которые интерпретируются весами как изменение веса.

Цель настоящего руководства — рассказать о наиболее важных факторах, которые необходимо учитывать в процессе работы с лабораторными весами для получения точных и воспроизводимых результатов взвешивания.

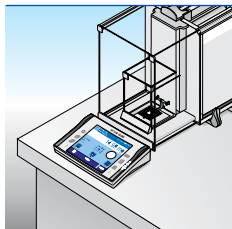
После рассмотрения кратких рекомендаций по выбору места установки весов и правил эксплуатации весов мы более подробно рассмотрим влияние помех и внешних условий на процесс измерения. Большинство этих воздействий проявляется в медленном изменении показаний веса (т. н. дрейф).

Правильная интерпретация технических данных также играет важнейшую роль в оценке результатов взвешивания, поэтому в конце приведено пояснение технических терминов, использованных в данном тексте.

---

## Выбор места установки весов

Точность и воспроизводимость результатов взвешивания напрямую зависят от места установки весов. Для выбора наилучших условий работы весов соблюдайте следующие рекомендации:



### Весовой стол должен быть

- Устойчивым (лабораторный стол, каменная плита, специализированный весовой стол).

Весовой стол не должен прогибаться и качаться при работе, должен в минимальной степени передавать вибрации.

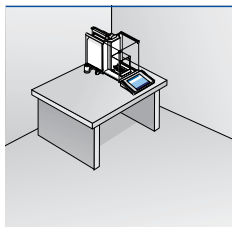
- Немагнитным (не используйте стальные плиты).
- Защищенным от электростатических зарядов (не должно быть пластика или стекла).
- Закреплен на полу или прикреплен к стене.

Весовой стол должен стоять или на полу или крепиться к стене, но одновременно к стене и к полу (в этом случае стол будет передавать вибрации и от стены и от пола).

- Отдельно выделен для весов.

Место установки и весовой стенд не должны прогибаться и должны быть достаточно устойчивыми, чтобы показания весов не изменялись, когда кто-то прислонится к столу. Не подкладывайте мягкие коврики под весы, такие как пишущие пленки.

Лучше располагать весы непосредственно над ножками стола, так как эта область в наименьшей степени подвержена вибрациям.



### Рабочее помещение

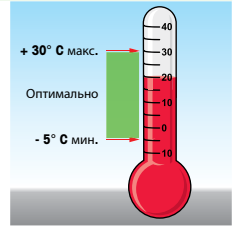
- Малый уровень вибраций
- Защита от сквозняков

Устанавливайте стол для взвешивания в углу комнаты. В этих областях здания уровень вибраций наименьший. В идеале помещение для весов должно располагаться в комнате с раздвижными дверями, что позволит снизить влияние от движения дверей.

## Температура

- По возможности поддерживайте в помещении постоянную температуру. Температура влияет на результаты взвешивания! (температурный дрейф показаний: 1-2 ppm/°C).
- Не производите взвешивание вблизи радиаторов или окон.

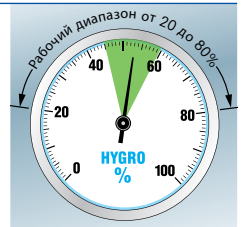
Весы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО со встроенной функцией «ФАСТ» (Полностью автоматическая технология калибровки) способны компенсировать практически любой температурный дрейф. Именно поэтому функция «ФАСТ» должна быть всегда включена.



## Атмосферная влажность

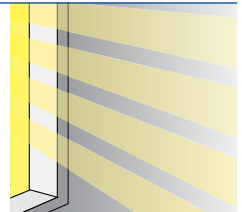
- Относительная влажность воздуха (% RH) должна находиться в пределах от 45 до 60%. Не следует проводить взвешивание, если относительная влажность выходит за пределы диапазона от 20 до 80%.

При работе с микровесами рекомендуется постоянно следить за влажностью в помещении. Любые изменения должны корректироваться всегда, когда это возможно.



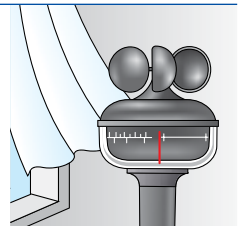
## Освещение

- По возможности, размещайте весы у стены без окна. Прямой солнечный свет (тепловое излучение) влияет на результаты взвешивания.
- Не размещайте весы вблизи осветительных приборов во избежание воздействия теплового излучения. В первую очередь это касается ламп накаливания. Используйте лампы дневного света.



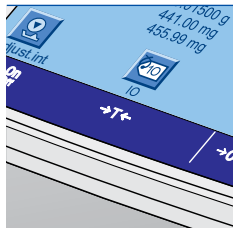
## Воздух

- Не устанавливайте весы на пути прохождения воздушных потоков кондиционеров воздуха или устройств, оборудованных вентиляторами, например компьютеры или большое лабораторное оборудование.
- Весы должны устанавливаться на достаточном расстоянии от радиаторов отопления. Наряду с тепловым излучением возле них часто возникают сильные воздушные потоки.
- Не устанавливайте весы рядом с дверью.
- Избегайте установку весов вблизи мест, где часто ходят сотрудники. Они могут создавать нежелательные воздушные потоки в месте взвешивания.



## Работа с весами

Микро-, полумикро-, аналитические и прецизионные весы — это измерительные приборы высокой точности. Для получения надежных результатов взвешивания соблюдайте следующие рекомендации.



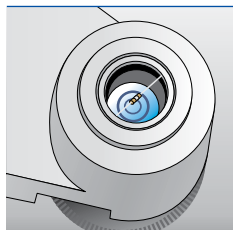
### Включение

- Никогда не отключайте весы от источника питания и держите их всегда включенными. Это позволит обеспечить весам необходимое тепловое равновесие.
- Отключение весов выполняется нажатием клавиши на дисплее (на некоторых устаревших моделях — клавиши "Тара"). В этом случае весы переходят в ждущий режим. Электронные компоненты при этом находятся под напряжением, и периода прогрева не требуется.

**СОВЕТ:** При первом включении весов их рекомендуется прогреть. Время прогрева зависит от модели весов :

- До 12 часов для микровесов.
- Около 6 часов для полумикровесов и аналитических весов.
- Приблизительно 3 часа для прецизионных весов.

Помимо этих рекомендаций, всегда выдерживайте минимальное время, указанное в руководстве пользователя.



### Установка по уровню

- Периодически проверяйте уровень весов. Убедитесь в том, что пузырек располагается в центре индикатора уровня. Для выравнивания весов используйте регулируемые опоры. После корректировки уровня необходимо выполнить калибровку весов. Описание процедуры можно найти в руководстве по эксплуатации весов.

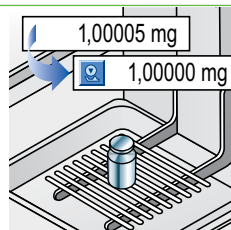
**СОВЕТ:** Для того чтобы гарантировать правильную установку весов по уровню и протоколировать выполняемые операции в соответствии с требованиями, GxP<sup>1)</sup> рекомендуется использовать весы серии Excellence Plus со встроенной функцией контроля уровня «LevelControl».

<sup>1)</sup> Надлежащая лабораторная практика GLP и надлежащая производственная практика GMP



## Настройка (калибровка)

- Регулярно выполняйте настройку весов, особенно
  - При первом использовании весов.
  - При установке весов в новом месте.
  - После настройки уровня весов.
  - После значительных изменений температуры, влажности или давления воздуха.

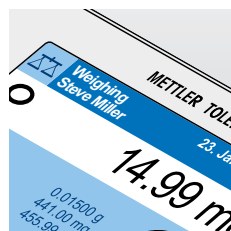
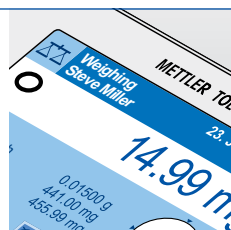


- СОБЕТ:** Если вам необходима автоматическая калибровка после изменения температуры, то имеет смысл приобрести весы со встроенной функцией «ФАСТ», в которых калибровка выполняется автоматически. При использовании этих моделей можно увеличить интервал между периодическими тестированиями весов.

## Считывание показаний

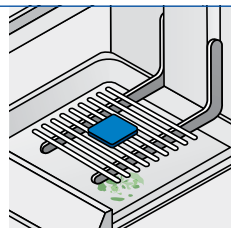
- Перед каждым взвешиванием убедитесь в том, что весы показывают точно ноль. При необходимости выполните тарирование, чтобы избежать ошибок.
- Считывайте результат только после того, как маленький кружок в верхнем левом углу исчезнет. Результат взвешивания можно считывать, когда гаснет индикатор нестабильности.

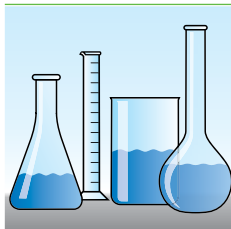
- СОБЕТ:** В весах серии Excellence Plus усовершенствован детектор стабильности показаний. На этих весах нестабильные значения отображаются на дисплее **синим** цветом. После стабилизации показания будут отображаться **черным** цветом и кружок в верхнем левом углу исчезнет. Это позволяет быстрее, безопаснее и надежнее считывать результат взвешивания.



## Чашка весов

- Всегда размещайте образец строго в центре весовой чашки. Это позволит избежать ошибок угловой нагрузки.
- При работе с микровесами и полумикровесами после относительно длительного перерыва (>30 мин), необходимо сначала кратковременно нагрузить чашу весов, чтобы устранить «эффект первого взвешивания».





## Сосуд/контейнер для взвешивания

- Подбирайте сосуды минимальных размеров.
- Избегайте использования весовых емкостей из пластика, если атмосферная влажность падает ниже уровня 30–40%. В этих условиях они могут накапливать электростатический заряд.

Материалы-диэлектрики, например стекло и пластик, склонны к накоплению электростатического заряда. Это может существенно исказить результат взвешивания. Поэтому необходимо применять соответствующие корректирующие действия (дополнительную информацию см. на с. 14: Электростатические заряды).

- Температура весовой емкости и взвешиваемого образца должна совпадать с температурой окружающей среды. Разность температур может привести к возникновению воздушных потоков, искажающих результат взвешивания (см. с. 7: Температура).

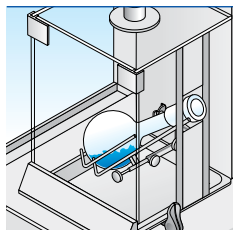
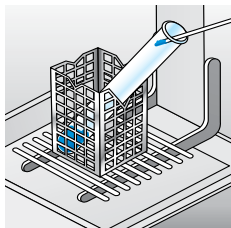
После извлечения весовой емкости из сушильной печи или посудомоечной машины дайте ей остыть в течение некоторого времени перед установкой на весы.

- По возможности старайтесь не прикасаться руками к весовой емкости, размещая ее в весовой камере. Это может изменить температуру и влажность воздуха в камере, что окажет неблагоприятное воздействие на процесс измерений.



**СОВЕТ:** Для быстрого и безошибочного дозирования применяются различные держатели (см. рисунки).

Держатель контейнеров «ErgoClip Basket».



Круглодонная колба на специальных держателях контейнеров «ErgoClip Flask» и «MinWeigh Door».

## Защитный кожух

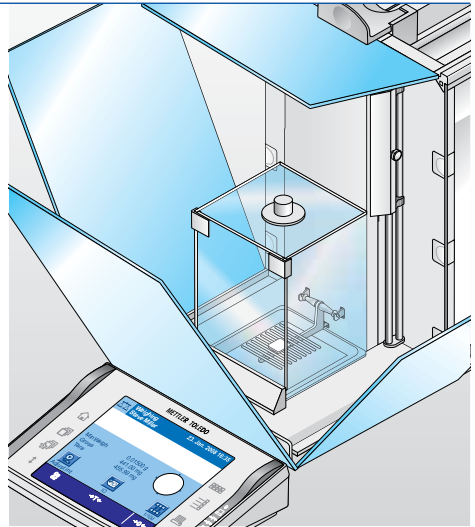
- Открывайте защитный кожух настолько, насколько это необходимо. Это позволит сохранить микроклимат внутри весовой камеры и исключить влияние внешних факторов на результат.
- Настраивайте весы с автоматическим защитным кожухом, например весы серии Excellence Plus, на минимальный зазор при открывании.

**! СОВЕТ:** Для упрощения и повышения точности взвешивания даже в самых неблагоприятных условиях мы рекомендуем использовать специальные принадлежности, входящие в комплект поставки весов серий Excellence и Excellence Plus. Эти весы обеспечат наилучшие результаты даже при взвешивании очень малых количеств образцов с малыми допусками. Специальная дверка для кожуха «MinWeigh Door» рассчитана на использование в боксах или под тягой. Она обладает рядом преимуществ и при использовании в обычных условиях. Использование дверцы позволяет улучшить воспроизводимость примерно на два порядка!

Решетчатая весовая чаша «SmartGrid» настолько эффективно стабилизирует процесс взвешивания, что дверцу защитного кожуха аналитических ( $d = 0,1$  мг) весов можно оставлять открытой во время взвешивания.

## Уход за весами

- Содержите весовую камеру и чашу весов в чистоте.
- Для взвешивания используйте только чистые емкости.
- Для чистки весов можно применять обычное средство для мойки окон.
- Не используйте ткань, загрязненную сивушными маслами.
- Старайтесь не сметать частицы загрязнений в отверстие.
- Перед началом чистки отсоедините все съемные компоненты, такие как стекла, чаша для взвешивания, поддон.



**! СОВЕТ:** Стекла кожухов весов Excellence можно быстро снять и вымыть в посудомоечной машине.

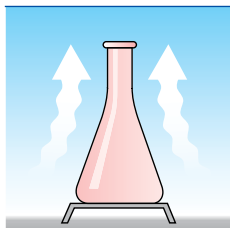
---

## Воздействие физических факторов

Если показания на дисплее весов не стабилизируются, результат медленно возрастает или уменьшается в одном направлении, либо если на дисплее отображаются ошибочные показания, то это зачастую связано с нежелательным воздействием физических факторов. Наиболее частые причины:

- Влияние взвешиваемого образца.
- Влияние на весы факторов окружающей среды.
- Накопление или потеря влаги взвешиваемым образцом.
- Электростатический заряд образцов или емкостей.
- Магнитичивание образцов или весовых емкостей.

В следующем разделе мы более подробно рассмотрим эти помехи и их причины, а также рассмотрим корректирующие меры.



---

### Температура

#### Проблема

Показания на дисплее постоянно изменяются в одну сторону.

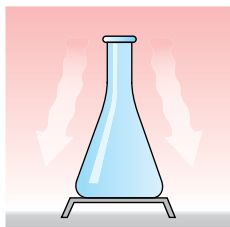
#### Возможные причины

Весы недостаточно долго подключены к источнику питания.

Разница температур между взвешиваемым образцом и окружающей средой может привести к образованию потоков воздуха вдоль стенок весового контейнера. Поток воздуха вдоль стенок контейнера создает восходящую или нисходящую силу, которая искажает результат взвешивания. Этот эффект называется динамической выталкивающей силой. Этот эффект не исчезнет, пока не будет достигнуто равновесие температур. Действуют следующие правила: Холодный объект кажется тяжелее, теплый — легче. Этот эффект может осложнять процессы дифференциального взвешивания на полумикровесах, микровесах.

#### Пример

Для проверки динамической выталкивающей силы можно провести следующий эксперимент: Взвесьте коническую колбу или колбу аналогичной формы и запишите показание веса. Подержите колбу в руке



примерно в течение одной минуты и повторите взвешивание. Из-за более высокой температуры и возникшего температурного градиента колба окажется легче.

(Влага на ваших ладонях не играет никакой роли в возникновении этого эффекта. Иначе взвешиваемый образец был бы тяжелее).

### Корректирующие меры

- Никогда не взвешивайте образцы сразу же после извлечения из сушильного шкафа или холодильника.
- Следует обязательно выдерживать образец для акклиматизации к температуре лаборатории и камеры взвешивания.
- Берите образцы пинцетом.
- Не дотрагивайтесь руками до внутренней поверхности камеры взвешивания.
- Выбирайте емкости для образцов с малой площадью поверхности.

### Поглощение/испарение влаги

#### Проблема

Показания на дисплее постоянно изменяются в одну сторону.

#### Возможные причины

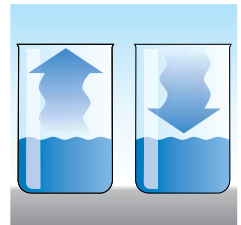
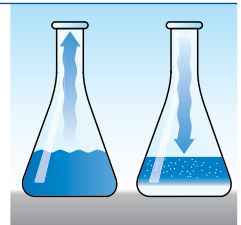
Вы измеряете потерю массы летучих веществ (например, испарение воды) или увеличение веса гигроскопичных взвешиваемых образцов (поглощение влаги воздуха).

#### Пример

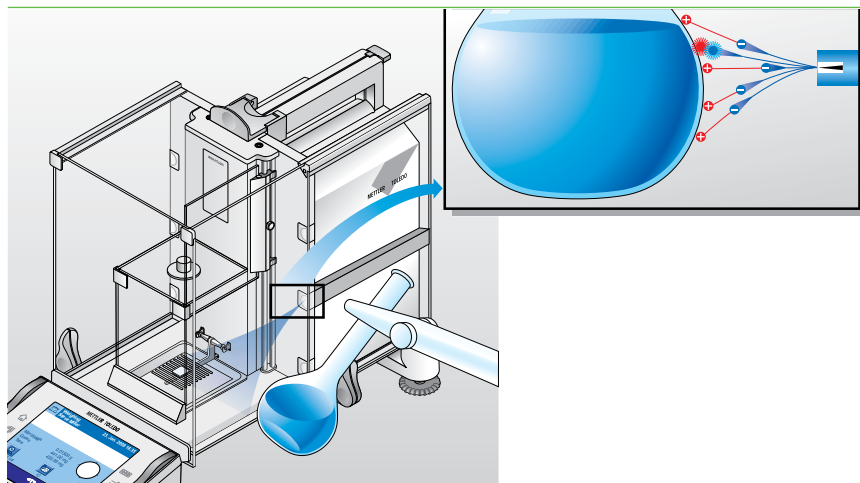
Этот эффект можно наблюдать при взвешивании спирта или силикагеля.

### Корректирующие меры

Используйте чистые и сухие емкости для взвешивания. Не допускайте загрязнения или попадания капель воды на чашу для взвешивания. Используйте емкости с узким горлышком и закрывайте их крышками или пробками. Не устанавливайте колбы с круглым основанием на пробковые или картонные подставки. Эти материалы могут накапливать или отдавать значительные объемы влаги. Нейтральными в этом отношении являются металлические треугольные держатели или приспособления «ErgoClips» для весов серий Excellence и Excellence Plus.



При использовании емкостей с широким горлом повышается риск возникновения погрешностей измерения вследствие испарения или конденсации.



## Электростатика

### Проблема

Результаты взвешивания одного и того же образца не совпадают. Регистрируемый дисплеем вес не стабилен. Плохая воспроизводимость результатов.

### Возможные причины

Накопление электростатического заряда емкостью для взвешивания или образцом. Материалы с низкой электропроводностью, например стекло, пластмасса, порошковые или гранулированные вещества, могут накапливать и удерживать электростатический заряд длительное время (в течение нескольких часов). Это происходит в основном при трении в процессе приготовления или транспортировки материалов. Вероятность возникновения этого эффекта повышается в условиях сухого воздуха при влажности менее 40%.

Ошибки при взвешивании возникают вследствие взаимодействия образца и окружающей среды. Эти взаимодействия фиксируются микро-, полумикро- и аналитическими весами и приводят к описанным проблемам при взвешивании.

### Пример

Пронаблюдать эффект можно при взвешивании стеклянного или пластикового сосуда, натертого шерстяной тканью.

## Корректирующие меры

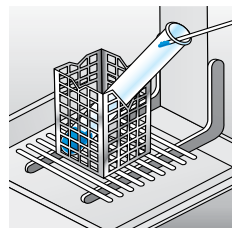
- Повышение атмосферной влажности.  
Проблема электростатического заряда особенно проявляется в зимнее время в отапливаемых помещениях. В помещениях с кондиционированием воздуха можно настроить кондиционер на поддержание относительной влажности на уровне 45-60%.
- Использование антистатических комплектов.  
Устанавливайте емкость для взвешивания в металлический контейнер.
- Подберите другие емкости для взвешивания.  
Пластик и стекло быстро заряжаются, поэтому их применение нежелательно. Лучше использовать металлические емкости.
- Используйте антистатические пистолеты.  
При этом помните, что доступные в продаже изделия помогают не во всех случаях.
- Используйте внешние или встраиваемые антистатические комплекты, предлагаемые компанией МЕТТЛЕР ТОЛЕДО.

Примечание. Весы и следовательно весовая чаша должны быть постоянно заземлены. Во всех весах МЕТТЛЕР ТОЛЕДО с трехконтактными электрическими вилками заземление обеспечивается автоматически.



**СОВЕТ:** Держатель контейнеров «ErgoClip Basket» отлично снимает статическое электричество и тем самым исключает возникновение описанных проблем с пробирками и колбами.

Держатель контейнеров «ErgoClip Basket».



## Магнетизм

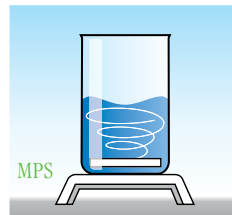
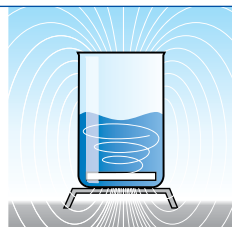
### Проблема

Масса взвешиваемого образца зависит от местоположения на весовой чаше. Плохая воспроизводимость результатов, но показания весов при этом стабильны.

### Возможные причины

Вы взвешиваете магнитный материал. Магнитные материалы взаимно притягиваются. Возникающие при этом дополнительные силы неверно интерпретируются весами как нагрузка.

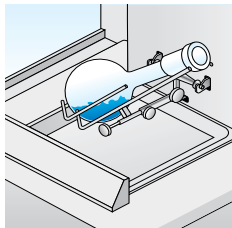
Практически все предметы, изготовленные из железа (стали), отличаются сильной магнитной проницаемостью (ферромагнетизмом).



## Корректирующие меры

По возможности нейтрализуйте магнитные силы. Для этого помещайте взвешиваемый образец в емкость, например из материала на основе никелевого сплава. Поскольку магнитная сила уменьшается с увеличением расстояния, образец можно расположить подальше от весовой чаши, установив его на немагнитной подставке (например, лабораторный стакан или алюминиевые опоры). Для этого можно также использовать нижний подвес весов. Возможность взвешивания под весами является стандартной для большинства лабораторных весов МЕТТЛЕР ТОЛЕДО. С целью минимизации этого эффекта в весах МЕТТЛЕР ТОЛЕДО использованы немагнитные материалы там, где это возможно.

Держатель контейнеров «ErgoClip Flask» для весов серий Excellence и Excellence Plus.



- ❗ **СОВЕТ:** Для взвешивания магнитных образцов среднего и крупного размера на прецизионных весах мы рекомендуем использовать антимагнитную грузоприемную чашку MPS (Magnetic Protection System). Для аналитических весов рекомендуется использовать треугольный держатель, увеличивающий расстояние между образцом и чашей для взвешивания. Для весов серий Excellence и Excellence Plus для этого предлагается специальный держатель «ErgoClips».

## Статическая выталкивающая сила воздуха

### Эффект

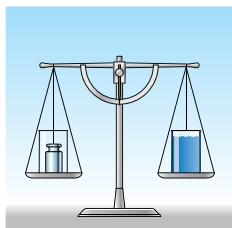
Результаты взвешивания образца в воздухе и в вакууме отличаются.

**Причина:** "Тело, погруженное в жидкость или газ, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им среда" (Закон Архимеда) Этим законом можно объяснить, почему судно остается на плаву, воздушный шар поднимается или почему на вес образца влияет атмосферное давление.

Взвешиваемый образец находится в воздушной среде. Плотность воздуха равна примерно  $1,2 \text{ кг/м}^3$  (в зависимости от температуры и атмосферного давления). Выталкивающая сила взвешиваемого образца таким образом равна  $1,2 \text{ кг/м}^3$ .

### Пример

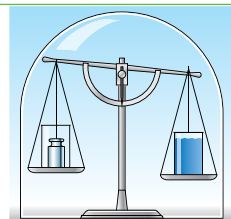
Если поместить калибровочную гиру весом 100 г в лабораторном стакане на рычажные весы и затем добавить воды в идентичный лабо-





раторный стакан на другую чашу весов и подождать, пока обе чаши не уравновесятся, то оба образца, взвешенные в воздушной среде, будут иметь одинаковый вес.

Если накрыть рычажные весы колоколом и внутри него создать вакуум, то чашка с водой опустится – весы выйдут из равновесия. Дело в том, что вода, имеющая больший объём, вытесняла больше воздуха, чем гиря, и обладала большей выталкивающей силой. В вакууме нет выталкивающей силы. Таким образом, в условиях вакуума вес воды в правой чаше весов превышает 100 г.



	Калибровочная гиря	Вода
Вес в воздухе	100 г	100 г
Плотность	8000 кг/м <sup>3</sup>	1000 кг/м <sup>3</sup>
Объем	12,5 см <sup>3</sup>	100 см <sup>3</sup>
Выталкивающая сила	15 мг	120 мг
Вес в вакууме	100,015 г	100,120 г

### Корректирующие меры

Настройка весов проводится с помощью эталонных гирь плотностью 8,0 г/см<sup>3</sup>. При взвешивании образцов другой плотности возникает ошибка выталкивающей силы воздуха. При измерениях с высокой точностью требуется корректировка полученных показаний.

Если измерения проводятся в разные дни (дифференциальное взвешивание, компарирование) проверяйте атмосферное давление, влажность и температуру и вычисляйте поправку на выталкивающую силу воздуха следующим образом:

### Процедура определения массы взвешиваемого образца:

$$\rho_a = \frac{0.348444 p - h(0.00252 t - 0.020582)}{273.15 + t}$$

1. Рассчитайте плотность воздуха

- ρ плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>
- P атмосферное давление в гПа (= мбар)  
(используйте давление весовой станции)
- h относительная атмосферная влажность в %
- t температура в °C

2. Определение массы взвешиваемого образца (с поправкой на выталкивающую силу воздуха)

$$m = \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} W$$

m масса образца

a плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>

ρ плотность взвешиваемого образца

c обычная объемная плотность (8000 кг/м<sup>3</sup>)

W Показание на дисплее весов

### Пример

На дисплее весов отображается значение 200,000 г

Атмосферное давление 1018 гПа

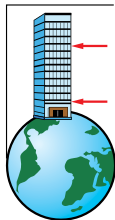
Относительная атмосферная влажность 70%

Температура 20 С

Плотность взвешиваемого образца 2600 кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_a = \frac{0.348444 \cdot 1018 - 70 (0.00252 \cdot 20 - 0.020582)}{273.15 + 20} = 1.2029 \text{ kg/m}^3$$

$$m = \frac{1 - \frac{1.2029 \text{ kg/m}^3}{8000 \text{ kg/m}^3}}{1 - \frac{1.2029 \text{ kg/m}^3}{2600 \text{ kg/m}^3}} 200 \text{ g} = 200.0625 \text{ g}$$



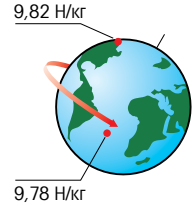
### Гравитация

#### Эффект

Разные показания весов при изменении высоты, на которой производится взвешивание. Например, показание веса на дисплее весов меняется, если взвешивание выполняется в точке, расположенной на 10 метров выше (например, после перехода с первого на четвертый этаж здания).

## Причина

При взвешивании весы фиксируют вес образца, то есть силу притяжения (силу гравитации) между землей и взвешиваемым образцом. Эта сила в значительной мере зависит от высоты места измерений и высоты над уровнем моря (расстояние от центра земли).



## Справедливы следующие правила:

1. Чем дальше от центра Земли находится предмет, тем меньше действующая на него сила притяжения. Сила притяжения убывает пропорционально квадрату расстояния.

$$F_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

2. Чем ближе к экватору, тем больше центробежное ускорение вследствие вращения земли. Центробежное ускорение противодействует силе притяжения (силе гравитации).

Полюса находятся на максимальном удалении от экватора и ближе всего к центру земли. Сила, действующая на образец, таким образом, максимальна на полюсах.

## Пример

При взвешивании тела массой 200 г на первом этаже здания на дисплее отображается в точности 200,00000 г; на четвертом этаже (в точке на 10 метров выше) показания веса будут отображаться следующим образом:

$$200 \text{ г} \frac{r_{\text{Erde}}^2}{(r_{\text{Erde}} + \Delta)^2} = 200 \text{ г} \frac{(6\,370\,000 \text{ м})^2}{(6\,370\,010 \text{ м})^2} = 199,99937 \text{ г}$$

## Корректирующие меры

Проводите регулировку уровня и настройку весов после каждого перемещения в другую точку установки либо перед первым использованием весов.

- ! **СОВЕТ:** В весах со встроенной функцией «ФАКТ» (полностью автоматической калибровки) этот вид калибровки выполняется автоматически. Весы МЕТТАЕР ТОЛЕДО серий Excellence
  - и Excellence Plus оснащены функцией «ФАКТ».

---

## Технические термины

---

### Дискретность показаний

Дискретность показаний весов - минимальная разность между двумя измеренными значениями, которая может быть отражена дисплеем. Если используется цифровой дисплей, то под этим понимается минимальное приращение числового значения, именуемое также ценой деления шкалы.

#### Стандартная дискретность (или цена деления шкалы) для различных типов весов

Ультрамикровесы	1d <sup>1)</sup> =	0,1 мкг =	0,0000001 г	7 разрядов
Микровесы	1d =	1 мкг =	0,000001 г	6 разрядов
Полумикровесы	1d =	0,01 мг =	0,00001 г	5 разрядов
Аналитические весы	1d =	0,1 мг =	0,0001 г	4 разряда
Прецизионные весы	1d =	от 1 г до 1 мг =	от 1 г до 0,001 г	от 0 до 3 разрядов

<sup>1)</sup> 1d = 1 дискрета = минимальное приращение числового значения на дисплее.



**СОВЕТ:** В весах «DeltaRange» и «DualRange» есть два диапазона взвешивания с разной дискретностью, благодаря чему эти весы являются привлекательными в плане цены.



### Точность

Качественное обозначение степени приближения результата измерений к эталонному значению, которое может быть истинным или ожидаемым в зависимости от определения или соглашения [DIN<sup>1)</sup> 55350-13].

Другими словами, это будет означать следующее: Насколько близко отображаемое на дисплее весов показание соответствует фактической массе взвешиваемого образца.

### Классы точности гирь

Наборы различных гирь с одинаковыми классами точности.

Стандарт OIML<sup>2)</sup> R111 устанавливает классы точности гирь E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3, регламентирует максимальные отклонения массы гирь от номиналов, а также требования к материалу и поверхности гирь. **[www.oiml.com](http://www.oiml.com)**

---

<sup>1)</sup> Немецкий институт стандартизации (DIN).

<sup>2)</sup> Международная организация метрологии (OIML).

В соответствии с требованиями стандартов по управлению качеством измерительное оборудование (в т. ч. весы) должны проходить калибровку или настройку через определенные интервалы времени с использованием "прослеживаемых" гирь. Для этого должны применяться сертифицированные гири соответствующего класса точности.

## Чувствительность

Изменение значения выходной переменной измерительного прибора, деленное на соответствующее изменение входной переменной ([VIM] 5.10)<sup>1)</sup>.

Для весов это означает изменение значения на дисплее  $\Delta W$ , деленное на изменение нагрузки  $\Delta m$ .

$$S = \frac{\Delta W}{\Delta m}$$

Чувствительность является одной из важнейших характеристик весов. Под чувствительностью весов обычно понимается чувствительность (крутизна или наклон), измеренная при номинальной нагрузке.

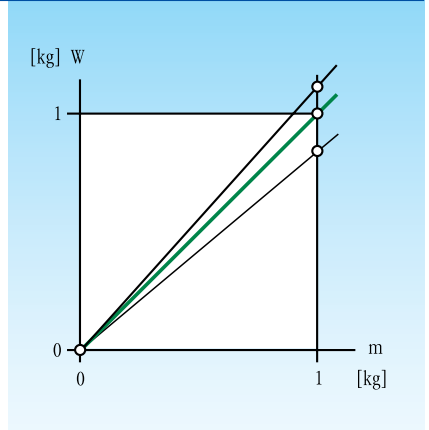


График чувствительности весов с наибольшим пределом взвешивания 1 кг. Средняя линия представляет собой характеристическую кривую весов с правильно настроенной чувствительностью. Верхняя характеристическая кривая отличается слишком крутым подъемом (слишком высокая чувствительность, намеренно увеличенная в целях иллюстрации), а нижняя кривая слишком пологая (слишком малая чувствительность).

## Температурный коэффициент чувствительности

Чувствительность зависит от температуры. Степень этой зависимости определяется как обратимое отклонение измеренного значения вследствие влияния изменения температуры окружающей среды. Она задается температурным коэффициентом чувствительности (ТС) и соответствует отклонению показания веса на дисплее в процентах на один градус Цельсия. Например, для весов серии XP температурный коэффициент чувствительности равен 0,0001%/°C.

Это значит, что при изменении температуры на 1 градус Цельсия чувствительность изменится на 0,0001% или на одну миллионную.

<sup>1)</sup> Международный глоссарий основных и общих терминов метрологии (VIM).

Температурный коэффициент вычисляется следующим образом:

$$TC = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{\frac{\Delta R}{m}}{\Delta T} = \frac{\Delta R}{m \Delta T}$$

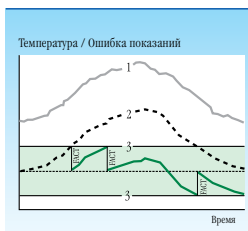
В этом уравнении  $\Delta S$  — изменение чувствительности, а  $\Delta T$  — изменение температуры. Изменение чувствительности  $\Delta S$  равно изменению результата  $\Delta R$ , деленному на нагрузку  $m$ . Преобразовав уравнение, можно вычислить отклонение результата измерения при заданном изменении температуры. Для значения, отображаемого на табло, получаем следующее:

$$\Delta R = (TC \Delta T) m$$

Если во время взвешивания груза (образца) весом в 100 г на аналитических весах серии XP/XS температура окружающего воздуха в лаборатории отличается от температуры с момента последней калибровки на 5 °С, это может привести к следующему максимальному изменению результата  $\Delta R$  (при температурном коэффициенте чувствительности весов XP 0,0001 %/°С) при самом неблагоприятном сценарии:

$$\Delta R = (TC \Delta T) m = (0,0001 \text{ \%}/^\circ\text{C} \cdot 5 \text{ }^\circ\text{C}) 100 \text{ g} = 0,5 \text{ mg}$$

С другой стороны, если вес груза составляет только 100 мг, то есть в 1000 раз меньше, то максимальное отклонение будет соответственно меньше и составит 0,5 мкг.



### Калибровка FACT (полностью автоматическая)

Сокращение от «Fully Automatic Calibration Technology» или «полностью автоматическая технология калибровки». Автоматическая калибровка чувствительности в зависимости от типа и линейности весов. Калибровка инициируется при превышении предварительно заданного изменения температуры.

В процессе производства весов выполняется подстройка встроенных калибровочных грузов под международные измерительные стандарты. Для этого применяется «первичная калибровка весов». В ходе этого процесса масса внутреннего груза определяется установкой на чашу весов сертифицированного эталонного груза с последующим сохранением этого показания в памяти весов.

## Калибровка proFACT

Сокращение от «Professional Automatic Calibration Technology» или «профессиональная полностью автоматическая технология калибровки». Профессиональная автоматическая настройка чувствительности.

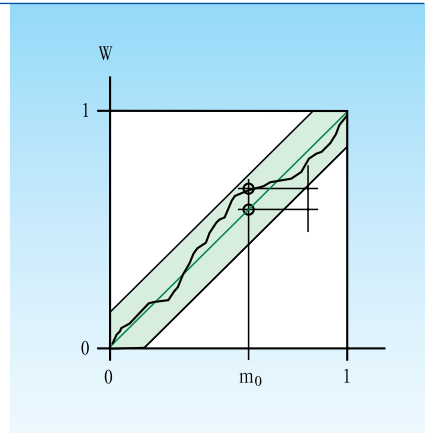


СОВЕТ: Полумикровесы и аналитические весы Excellence и Excellence Plus имеют два встроенных калибровочных груза. Это означает, что во время калибровки выполняется не только настройка чувствительности, но и линейности.

## Линейность (нелинейность)

Под линейностью понимается способность весов выдерживать линейное отношение между нагрузкой  $m$  и отображаемым на дисплее значением  $W$ . В данном случае характеристическую кривую взвешивания можно представить как прямую линию между нулем и точкой максимальной нагрузки.

С другой стороны, под нелинейностью понимается ширина интервала, в котором может наблюдаться положительное или отрицательное отклонение измеренного значения от идеальной характеристической кривой.



Например, для аналитических весов МЕТТЛЕР ТОЛЕДО серии Excellence Plus XP205DR отклонение от линейности характеристической кривой составляет не более  $\pm 0,15$  мг по всему диапазону взвешивания до 200 г.

## Воспроизводимость

Воспроизводимость — это показатель способности весов выдавать одинаковый результат при повторных взвешиваниях одного и того же груза в одинаковых условиях измерений ([OIML<sup>1</sup>] R 76 1] Т.4.3).

Серия измерений должна проводиться одним и тем же оператором, тем же методом взвешивания, в одном и том же месте, на той же опоре чаши взвешивания, в одном месте установки, при неизменных условиях окружающей среды и без перерыва.

<sup>1</sup>) Международная организация метрологии (OIML).

---

Мерой воспроизводимости является среднеквадратичное отклонение серии измерений (СКО).

В частности, на весах с высокой разрешающей способностью воспроизводимость зависит не только от весов. Воспроизводимость также зависит от условий окружающей среды (сквозняки, колебания температуры, вибрации), от свойств взвешиваемого образца и отчасти от мастерства оператора, выполняющего взвешивание.

Ниже представлен типичный пример серии измерений на полумикровесах с дискретностью 0,01 мг.

$x_1 = 27,51467$ г	$x_6 = 27,51467$ г
$x_2 = 27,51466$ г	$x_7 = 27,51467$ г
$x_3 = 27,51468$ г	$x_8 = 27,51466$ г
$x_4 = 27,51466$ г	$x_9 = 27,51468$ г
$x_5 = 27,51465$ г	$x_{10} = 27,51467$ г

Определим среднее значение и воспроизводимость результатов в этой серии измерений.

Среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$x_i$  =  $i$ -ый результат в последовательности

$N$ : Количество измерений (взвешиваний), обычно 10

Среднее значение  $x = 27,514667$  г.

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Среднеквадратичное отклонение  $s$  является показателем воспроизводимости. Следовательно, воспроизводимость результатов измерений в последовательности  $s = 0,0095$  г.

Погрешность измерения в два-три раза превышает воспроизводимость  $u \approx 2s \dots 3s$ , то есть истинный результат  $x$  лежит в интервале  $x - u < x < x + u$



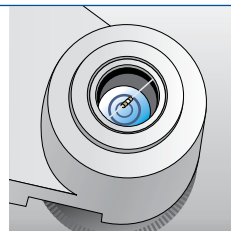
В нашей последовательности измерений  $u \approx 2s \approx 2 \times 0,01 \text{ мг} = 0,02 \text{ мг}$ , поэтому результат взвешивания можно выразить как  $x \pm u = 27,51467 \text{ г} \pm 0,02 \text{ мг}$ . Минимальное из всех измеренных значений, ожидаемое для этого груза, равно 27,51465 г, а максимальное значение составило 27,51469 г, что согласуется с данной серией измерений.

## Прослеживаемость

Прослеживаемость результата измерений означает, что этот результат измерений можно сравнить с национальным или международным стандартом величины через непрерывную цепь сравнительных измерений с учетом принятых неопределенностей. ([VIM]<sup>1)</sup> 6.10). Например, гири, используемые для калибровки и тестирования, должны быть прослеживаемыми вплоть до международного стандарта килограмма.

## Установка по уровню

Настройка весов в эталонное состояние, при котором вектор ускорения свободного падения строго перпендикулярен весовой чаше. Как правило, это настройка расположения корпуса весов по горизонтали. Корректирующие меры: Уровень весов настраивают с помощью регулируемых ножек.

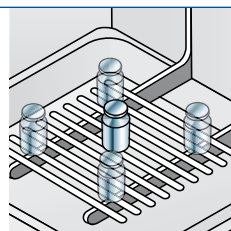


- ! **СОВЕТ:** Весы серии Excellence Plus имеют встроенную функцию автоматического контроля уровня LevelControl. Функция LevelControl автоматически выдает предупреждения и документирует нарушение
- уровня. Это повышает надежность измерений и устраняет риски, связанные с визуальным контролем уровня, например при работе в боксах.

## Угловая нагрузка

1. Угловая нагрузка – нагрузка, вызванная нецентральной положением груза на чаше весов. Угловая нагрузка приводит к возникновению угловой погрешности. Погрешность возрастает по мере увеличения массы груза и удаления его от центра чаши.

Если показания на дисплее остаются постоянными при расположении одного и того же груза в разных участках чаши, то в таких весах отсутствует угловая погрешность. По этой причине важно, чтобы при взвешивании на прецизионных весах образец всегда располагался точно по центру чаши.



Угловая нагрузка вызывает ошибку нецентрального нагружения.

<sup>1)</sup> Международный глоссарий основных и общих терминов метрологии (VIM).

---

## Погрешность измерения

Разница между результатом измерения и фактическим значением величины.

Погрешность измерений обычно выражается как стандартная погрешность  $u$  или расширенная погрешность измерения  $U$  (доверительный интервал). В рекомендациях GUM<sup>2)</sup> приведены инструкции по определению погрешностей измерений. Согласно рекомендациям GUM, погрешность измерения рассчитывается посредством суммирования квадратичных погрешностей, если они не являются взаимовлияющими.

### Примечание

Существуют различные методы вычисления погрешности измерений. В фармацевтической отрасли величина определяется по Фармакопее США. В других случаях погрешность измерений определяется по стандарту ISO<sup>3)</sup> 17025. Последнее относится к методике GUM.



СОВЕТ: В большинстве стран сервисная служба компании МЕТТЛЕР ТОЛЕДО оказывает услуги вычислений погрешностей измерения на местах по запросу клиентов.

---

## Минимальный вес

Значение веса для конкретных весов, ниже которого относительная ошибка взвешивания слишком велика.



СОВЕТ: Весы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Excellence Plus благодаря передовым технологиям обеспечивают высокую точность взвешивания самых малых образцов.

---

<sup>1)</sup> Международный глоссарий основных и общих терминов метрологии (VIM).

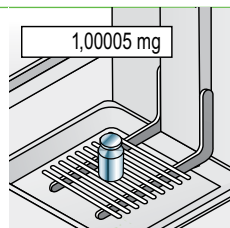
<sup>2)</sup> Руководство по вычислению погрешностей измерений GUM <sup>3)</sup> Международная Организация по Стандартизации (ISO).

## Калибровка

Определение отклонения между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины в заданных условиях.



СОВЕТ: Весы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО линеек Excellence и Excellence Plus обеспечивают протоколирование всех ошибок и передачу данных на ПК или на принтер.

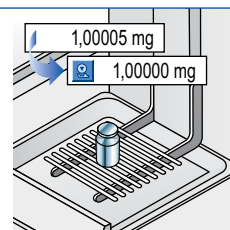


## Настройка

Определение отклонения между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины в заданных условиях с последующей корректировкой.



СОВЕТ: Весы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО линеек Excellence и Excellence Plus обеспечивают протоколирование всех ошибок и передачу данных на ПК или на принтер. В качестве программного обеспечения рекомендуем использовать «LabX balance» с интегрированными методиками тестирования в соответствии с рекомендациями Good Weighing Practice™ ([www.mt.com/GWP](http://www.mt.com/GWP)) компании МЕТТЛЕР ТОЛЕДО.



---

## Эффективный подход к взвешиванию (GWP® — Good Weighing Practice™)

---

**GWP®**  
Good Weighing Practice™

### Стандарт взвешивания

Все продукты и услуги, выбранные и реализованные на основе рекомендаций GWP®, — это гарантия точного соответствия вашим требованиям на всех этапах от подбора весов до их тестирования и обслуживания.



Стандарт GWP®, разработанный в соответствии с международными стандартами, универсален для всех рынков и является гарантией безопасности и надежности вашей продукции. Специалисты МЕТТЛЕР ТОЛЕДО учли все современные стандарты качества взвешивания, чтобы помочь вам эффективно применить эти стандарты в повседневной практике. Концепция GWP® гарантирует длительную эксплуатацию оборудования и точность получаемых результатов, а также обеспечивает постоянную готовность к аудитам.

## Проверка процесса взвешивания на основе концепции GWP® позволяет ответить на следующие вопросы:

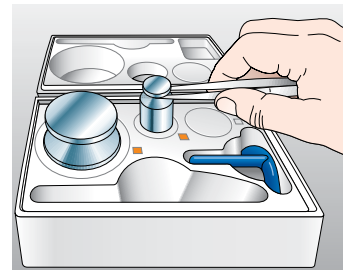
- Каковы лучшие методики взвешивания?
- Как следует тестировать весы?
- Как часто следует проводить тестирование весов?
- Как свести к минимуму затраты времени и финансов?

Для обеспечения стабильной точности взвешивания необходимо, чтобы ваши весы регулярно проходили профилактическое обслуживание и калибровку силами технических специалистов. Регулярное профилактическое обслуживание также способствует продлению срока службы весов.



Согласно рекомендациям GWP®, тестирование весов нужно проводить с использованием сертифицированных наборов гирь. В меню весов линейки XS/XP предусмотрена возможность оповещения пользователей о незавершенных испытаниях и операциях.

- ❗ **СОВЕТ:** При выполнении этих испытаний важно использовать соответствующие тестовые гири. С наборами гирь «CarePac» МЕТТЛЕР ТОЛЕДО пользователю не о чем беспокоиться при проведении тестирования. Эти наборы отвечают требованиям GWP® и включают эталонные гири, весовые пинцеты, перчатки и инструкции по проведению тестирования.



Набор гирь «CarePac» для периодического тестирования.

Дополнительные сведения об эффективном подходе к взвешиванию (Good Weighing Practice™) см. на веб-сайте [www.mt.com/GWP](http://www.mt.com/GWP).

---

**A**

Атмосферная влажность 7

---

**B**

Весовой стол 6

Включение весов 8

Воздух 7

Воспроизводимость 23

---

**Г**

Гравитация 18

---

**Д**

Дискретность показаний 20

---

**З**

Защитный кожух 10

---

**И**

Испарение 13

---

**К**

Калибровка 27

Калибровка FACT (полностью автоматическая) 22

Калибровка proFACT 23

Классы точности гирь 20

---

**Л**

Линейность (нелинейность) 23

---

**М**

Магнетизм 15

Минимальный вес 26

---

**Н**

Настройка 9, 27

---

**О**

Освещение	7
-----------	---

---

**П**

Поглощение/испарение влаги	13
Погрешность измерения	26
Прослеживаемость	25

---

**Р**

Рабочее помещение	6
-------------------	---

---

**С**

Сосуд/контейнер для взвешивания	10
Статическая выталкивающая сила	16
Считывание показаний	9

---

**Т**

Температура	7, 12
Температурный коэффициент чувствительности	21
Точность	20

---

**У**

Угловая нагрузка	25
Установка по уровню	8, 25
Уход за весами	11

---

**Ч**

Чашка весов	9
Чувствительность	21

---

**Э**

Электростатика	14
Эффективный подход к взвешиванию – GWP® (Good Weighing Practice™)	28
GWP® Excellence	29

---

---

**Mettler-Toledo AG**

CH-8606 Greifensee, Switzerland

Тел. +41-44-944 22 11

Факс: +41-44-944 30 60

<b>Австралия</b>	<b>Mettler-Toledo Ltd.</b> , Port Melbourne, Victoria 3207 Тел. (03) 9644 57 00, Факс (03) 9645 39 35
<b>Австрия</b>	<b>Mettler-Toledo GmbH.</b> , A-1230 Wien Тел. (01) 604 19 80, Факс (01) 604 28 80
<b>Бельгия</b>	<b>Mettler-Toledo s.a.</b> , B-1932 Zaventem Тел. (02) 334 02 11, Факс (02) 334 03 34
<b>Бразилия</b>	<b>Mettler-Toledo Ltda.</b> , 06455-000 Barueri/Sro Paulo Тел. (11) 4166 -7400, Факс (11) 4166 -7406
<b>Канада</b>	<b>Mettler-Toledo Inc.</b> , Онтарио, Канада Тел. 800-METTLER, Факс (905) 681-8036
<b>Китай</b>	<b>Mettler-Toledo China</b> , Shanghai 200233 Тел. (21) 6485 04 35, Факс (21) 6485 33 51
<b>Хорватия</b>	<b>Mettler-Toledo, d.o.o.</b> , HR-10000 Zagreb Тел. 01 29 58 130, Факс 01 29 58 140
<b>Чехия</b>	<b>Mettler-Toledo, spol, s.r.o.</b> , CZ-10000 Praha 10 Тел. 272 123 150, Факс 272 123 170
<b>Дания</b>	<b>Mettler-Toledo A/S</b> , DK-2600 Glostrup Тел. (43) 270 800, Факс (43) 270 828
<b>Франция</b>	<b>Mettler-Toledo SAS</b> , F-78222 Viroflay Тел. (01) 3097 17 17, Факс (01) 3097 16 16
<b>Германия</b>	<b>Mettler-Toledo GmbH</b> , D-35353 Giessen Тел. (0641) 50 70, Факс (0641) 507 128
<b>Гонконг</b>	<b>Mettler-Toledo (HK) Ltd.</b> , Kowloon Тел. (852) 2744 1221, Факс (852) 2744 6878
<b>Венгрия</b>	<b>Mettler-Toledo Kft.</b> , H-1139 Будапешт Тел.: 06 1 288 4040, Факс: 06 1 288 4050
<b>Индия</b>	<b>Mettler-Toledo India Pvt Ltd</b> , Mumbai 400 072 Тел.: (22) 4291 0111 Факс (22) 2857 5071
<b>Италия</b>	<b>Mettler-Toledo S.p.A.</b> , I-20026 Novate Milanese Тел. (02) 333 321, Факс (02) 356 29 73
<b>Япония</b>	<b>Mettler-Toledo K.K.</b> , Токуо 110-0008 Тел. (3) 5815 5155, Факс (3) 5815 5525
<b>Корея</b>	<b>Mettler-Toledo (Korea) Ltd.</b> , Seoul 137-130 Тел. 82-2-3498 -3500, Факс 82-2-3498 -3555



<b>Казахстан</b>	<b>Mettler-Toledo Central Asia</b> , 050009 Almaty Тел.: (07) 727 2980833, Факс (07) 7272980835
<b>Малайзия</b>	<b>Mettler-Toledo (M) Sdn. Bhd.</b> , 40150 Selangor Тел.: +60-3-7844 5888, Факс +60-3-784 58 773
<b>Мексика</b>	<b>Mettler-Toledo S.A. de C.V.</b> , Мiхiсo C.P. 06430 Тел. (55) 5547 5700, Факс (55) 5547 2128
<b>Нидерланды</b>	<b>Mettler-Toledo B.V.</b> , NL-4004 JK Tiel Тел. (0344) 638 363, Факс (0344) 638 390
<b>Норвегия</b>	<b>Mettler-Toledo A/S</b> , N-1008 Oslo Тел. 22 30 44 90, Факс 22 32 70 02
<b>Польша</b>	<b>Mettler-Toledo, Sp. z o.o.</b> , PL-02-822 Warszawa Тел. (22) 545 06 80, Факс (22) 545 06 88
<b>Россия</b>	<b>Mettler-Toledo C.I.S. AG</b> , 101000 Moskau Тел. (495) 651 98 86, Факс (499) 272 22 74
<b>Сингапур</b>	<b>Mettler-Toledo (S) Pte. Ltd.</b> , Singapore 139959 Тел. 65-6890 0011, Факс 65-6890 0012
<b>Словакия</b>	<b>Mettler-Toledo</b> , SK-83103 Bratislava Тел. (02) 4444 12 20-2, Факс (02) 4444 12 23
<b>Словения</b>	<b>Mettler-Toledo, d.o.o.</b> , SI-1261 Ljubljana – Dobrunje Тел. (01) 547 4900, Факс (01) 542 0252
<b>Испания</b>	<b>Mettler-Toledo S.A.E.</b> , E-08908 Barcelona Тел. 902 32 00 23, Факс 902 32 00 24
<b>Швеция</b>	<b>Mettler-Toledo AB</b> , S-12008 Stockholm Тел. (08) 702 50 00, Факс (08) 642 45 62
<b>Швейцария</b>	<b>Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH</b> , CH-8606 Greifensee Тел. (044) 944 47 60, Факс (044) 944 45 10
<b>Таиланд</b>	<b>Mettler-Toledo (Thailand) Ltd.</b> , Bangkok 10320 Тел. 66-2-723 0300, Факс 66-2-719 6479
<b>Тайвань</b>	<b>Mettler-Toledo Pac Rim AG</b> , Taipei Тел. (2) 2657 8898, Факс (2) 2657 0776
<b>Великобритания</b>	<b>Mettler-Toledo Ltd.</b> , Leicester, LE4 1AW Тел. (0116) 235 70 70, Факс (0116) 236 6399
<b>США</b>	<b>Mettler-Toledo, LLC</b> , Columbus, OH 43240 Тел. 800-METTLER, Факс (614) 438 4900
<b>Вьетнам</b>	<b>Mettler Toledo Vietnam LLC.</b> , Ho Chi Minh City Тел. +84-8-3551 -5924, Факс +84-8-3551 -5923
Все остальные страны	<b>Mettler-Toledo AG</b> PO Box VI-400, CH-8606 Greifensee Тел. +41-44-944 22 11, Факс +41-44-944 31 70

[www.mt.com](http://www.mt.com)

**Mettler-Toledo AG**

Laboratory & Weighing Technologies  
CH-8606 Greifensee, Швейцария

Возможны технические изменения  
© 05/2013 Mettler-Toledo AG  
Отпечатано в Швейцарии 30089060