

РУКОВОДСТВО ПО ВЗВЕШИВАНИЮ



**Эффективная интеграция взвешивания**  
для резервуаров, бункеров и других емкостей

**METTLER TOLEDO**



# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Взвешивание как наиболее универсальная технология</b> .	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Типовые технологические весы</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Выбор метода дозирования</b> .....	<b>8</b>
	Введение .....	8
	Одновременное дозирование .....	9
	Последовательное дозирование .....	9
	Накопительное дозирование .....	9
	Заключение .....	10
<b>5</b>	<b>Принцип действия датчиков веса</b> .....	<b>12</b>
	Датчики с электромагнитной компенсацией силы .....	12
	Тензометрические датчики .....	13
	PowerMount™ .....	14
<b>6</b>	<b>Выбор весов / датчиков веса</b> .....	<b>15</b>
	Одноточечные датчики веса .....	16
	Напольные и настольные весы .....	17
	Датчики веса и весовые модули сжатия .....	18
	Датчики веса и весовые модули растяжения .....	20
<b>7</b>	<b>Рекомендации по выбору конструкции весов</b> .....	<b>21</b>
	Трубная обвязка .....	21
	Несущие конструкции .....	22
	Взвешивание передвижных емкостей .....	23
	Максимальная нагрузка датчика (НПВ) .....	23
	Калибровка .....	24
<b>8</b>	<b>Влияние характеристик материалов и питателя</b> .....	<b>26</b>
	Материалы .....	26
	Питатели .....	26
<b>9</b>	<b>Соотношение точности и скорости</b> .....	<b>27</b>

<b>10</b>	<b>Управление процессом наполнения</b> . . . . .	<b>28</b>
	Процесс наполнения . . . . .	28
	Быстрая и точная подача . . . . .	29
	“Просыпь” . . . . .	29
	Быстрое дозаполнение . . . . .	29
	Контроль . . . . .	30
	Терминалы . . . . .	32
	А/Ц преобразование и фильтрация . . . . .	32
	Дискретный ввод \ вывод. . . . .	33
	Подключение . . . . .	33
	Терминал IND780batch . . . . .	33
	Контроллер IND780Q.iMPACT . . . . .	34
<b>11</b>	<b>Химические реакторы</b> . . . . .	<b>35</b>
	Типы реакторов и применимость весоизмерительной технологии . . . . .	35
	Собственный вес конструкции . . . . .	36
	Системы, содержащие несколько флюидных сред . . . . .	37
	Теплоноситель \ Хладогент . . . . .	37
	Атомсфера . . . . .	37
	Температура . . . . .	38
	Вибрация. . . . .	39
<b>12</b>	<b>Требования сертификации</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>13</b>	<b>Список литературы</b> . . . . .	<b>41</b>



# Для чего нужно это руководство?

Это руководство будет полезным для конечных пользователей, планирующих приобретение технологических резервуаров и емкостей, а также для машиностроителей, которые смогут по-новому взглянуть на выпускаемое технологическое оборудование и оценить альтернативные решения.

Для конечных пользователей в руководстве приведен обзор общепринятой терминологии и наиболее распространенных технологий с описанием преимуществ и недостатков каждой из них. Это позволит вести информированный диалог с потенциальными поставщиками и поможет в составлении грамотного запроса ценовых предложений.

Машиностроители могут найти в руководстве полезную информацию для оптимизации характеристик выпускаемого технологического оборудования. Руководство поможет лучше понять взаимосвязь между скоростью и точностью, а также другими факторами, влияющими на общую эффективность технологических весов.

## Введение

Управление процессами по принципу измерения массы имеет множество преимуществ по сравнению с объемными методами, включая точность, простоту реализации статистического контроля и прослеживаемости. Промышленность перерабатывает огромное разнообразие материалов — жидкостей, газов и твердых веществ — в неисчислимом множестве технологических процессов. Взвешивание — это универсальный метод, который можно использовать независимо от свойств материалов. Широкий спектр признанных во всем мире продуктов и три различные технологии взвешивания позволяют компании METTLER TOLEDO решать практически любые задачи управления технологическими процессами

## 2 Взвешивание — наиболее универсальная технология

Во многих обрабатывающих отраслях промышленности резервуары или химические реакторы находятся в самом центре производственного процесса. Точность загрузки материала в резервуар или выгрузки из него играет важную, если не решающую, роль в обеспечении стабильного качества продукта и соблюдении нормативных требований. Кроме того, весы способны существенно повысить эффективность производства, например, за счет сокращения расхода материалов, снижения количества отходов и точного управления запасами.



Рис. 1. Типичные резервуарные весы



Рис. 2. Резервуарные весы, установленные в отверстии перекрытия.

Для контроля заполнения или опорожнения резервуаров и емкостей могут применяться расходомеры. Объемные расходомеры страдают рядом недостатков, которых можно избежать при использовании взвешивания. Ниже перечислены некоторые преимущества взвешивания.

- Взвешивание — это универсальная технология в том отношении, что одни и те же весы можно использовать для взвешивания газов, жидкостей и твердых материалов в любых комбинациях.
- В отличие от большинства расходомеров, весы нечувствительны к изменениям плотности или вязкости материала, захваченному газу и вспениванию.
- Весоизмерительное оборудование не контактирует с взвешиваемым веществом, что исключает опасность ухудшения характеристик в результате воздействия коррозионных или абразивных материалов.
- Резервуарные весы сообщают точное значение массы материала, находящегося в резервуаре в каждый момент времени; им не требуется производить вычисления с учетом значений расхода, времени и плотности материала для каждой операции загрузки и выгрузки.

Неравномерный расход или внезапное его прекращение не приводят к возникновению неопределенности в отношении массы материала в весовом резервуаре.

- Взвешивание обеспечивает более высокую точность и возможность работы с меньшими допусками.
- Весоизмерительная система при необходимости может быть сертифицирована для коммерческого использования.
- Проверку и калибровку весоизмерительного оборудования можно производить на месте эксплуатации; это исключает значительные затраты на транспортировку и калибровку.

Разумеется, взвешиванию тоже свойственны определенные ограничения, которые будут рассмотрены ниже. В этом руководстве обсуждаются вопросы эффективного использования технологии взвешивания в применении к технологическим резервуарам и емкостям малого и среднего размера. Технологические резервуары и емкости обычно ассоциируются с жидкостями, но это могут быть также и газы, и твердые материалы; тем не менее, на выходе, как правило, приходится иметь дело с более-менее текучей жидкостью или суспензией.

## 3 Типовые технологические весы

На рис. 3 показаны типичные резервуарные весы, представляющие собой резервуар, который установлен на весовых модулях, подключенных к терминалу. Терминал контролирует массу резервуара и управляет впускными клапанами. Такую систему называют "загрузка по массе" или "наполнение по весу" и, как правило, используют в периодических технологических процессах. Резервуарные весы используются в качестве отдельной единицы оборудования, как показано на рисунке, или могут быть интегрированы тем или иным способом в систему более высокого уровня, работающую, например, под управлением программируемого логического контроллера (ПЛК).

Система, показанная на рис. 4, отличается тем, что здесь терминал управляет выпускным клапаном. Такую систему называют "выгрузка по массе" или "измерение убыли массы" дозирования. Весы такого типа могут использоваться для максимально быстрой выдачи определенных порций материала для затаривания в контейнеры либо для регулирования расхода материала, поступающего на последующие стадии технологического процесса.

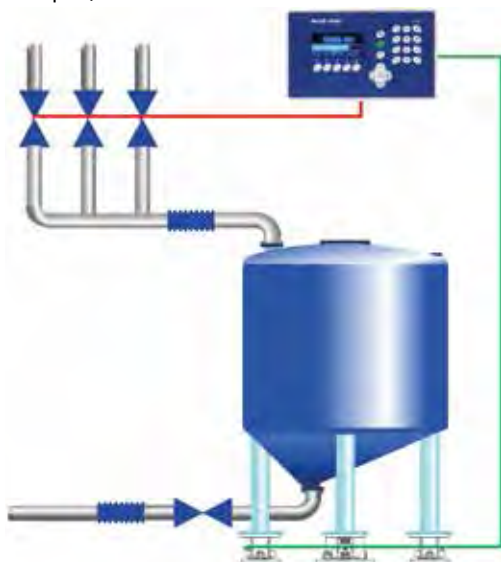


Рис. 3. Резервуарные весы с "загрузкой по массе"

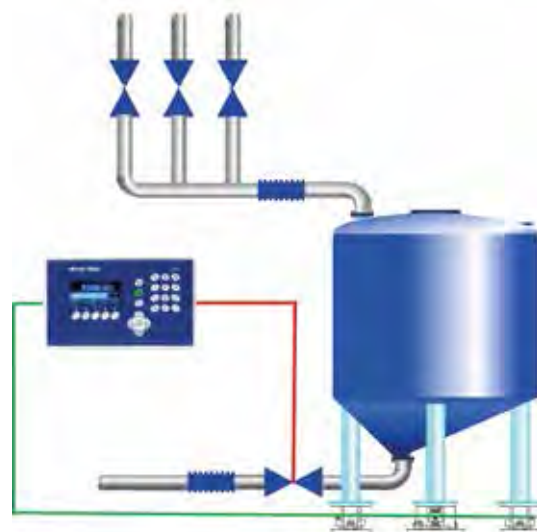


Рис. 4. Резервуарные весы с "выгрузкой по массе"

При необходимости терминал может управлять и впускными, и выпускными клапанами. В этом случае резервуарные весы сначала могут работать в режиме загрузки различных материалов для создания партии продукта. После смешивания всех компонентов весы переключаются в режим выгрузки для затаривания контейнеров. Некоторые модели терминалов способны управлять загрузкой и / или разгрузкой нескольких весовых резервуаров одновременно. Тем не менее, одни и те же весы в каждый момент времени могут быть использованы для перемещения (загрузки или выгрузки) только одного материала. Это одно из ограничений технологии взвешивания, вследствие которого она наиболее эффективна в периодических процессах (приготовление партий продукта).

## 4 Выбор метода дозирования

### Введение

Технологические процессы подразделяются на непрерывные и периодические. Непрерывный производственный процесс характеризуется непрерывной подачей исходных материалов и переработкой их в готовый продукт непосредственно в движении. Такие процессы, как правило, используются в многотоннажном производстве, где специализация под единственный продукт экономически оправдана. В качестве примеров можно привести производство цемента, нефтепереработку и выработку электроэнергии. Периодический производственный процесс характеризуется прерывистой подачей исходных материалов, переработкой их в дискретных партиях и прерывистой выдачей готового продукта. Периодические процессы, как правило, используются в малотоннажном производстве с большой номенклатурой исходных материалов и широким ассортиментом готовых продуктов. Для таких процессов характерна частая переналадка производственной линии. Периодическая схема технологического процесса используется во многих отраслях промышленности, в том числе пищевой, фармацевтической и химической. Технология взвешивания хорошо подходит для периодических процессов и широко применяется в этих отраслях.



Методы дозирования в периодических процессах подразделяются на одновременный, последовательный и накопительный. Каждый из методов имеет свои сильные и слабые стороны, существенно влияющие на достижимую точность системы, как описано в последующих разделах.



## Одновременное дозирование

Для одновременного дозирования (которое называют также горизонтальным дозированием) необходимо использовать отдельные весы для каждого исходного материала, как показано на рис. 5. Каждый материал взвешивается независимо и поступает в смесительную емкость или непосредственно на последующие стадии обработки. Поскольку для взвешивания каждого материала используются отдельные весы, их НПВ можно оптимизировать под этот материал, что позволит обеспечить высокую точность результатов. Кроме того, это наиболее быстрый метод, потому что взвешивание всех материалов может производиться одновременно. К недостаткам можно отнести самые высокие капитальные затраты на оборудование. См. ниже сравнительную таблицу преимуществ и недостатков всех методов.

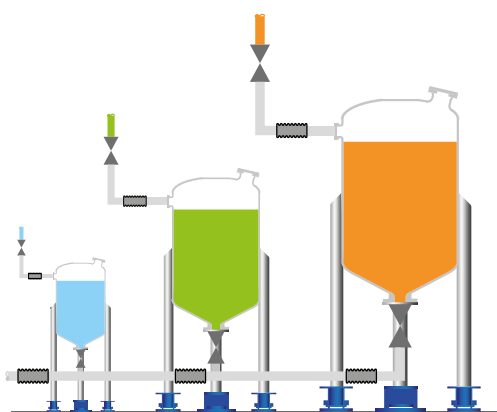


Рис. 5: Одновременное дозирование

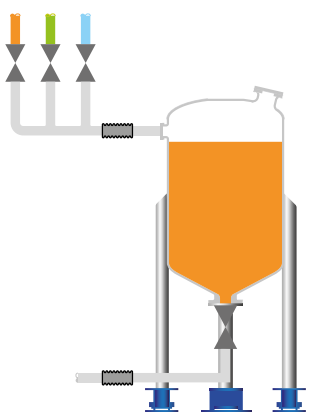


Рис. 6: Последовательное дозирование

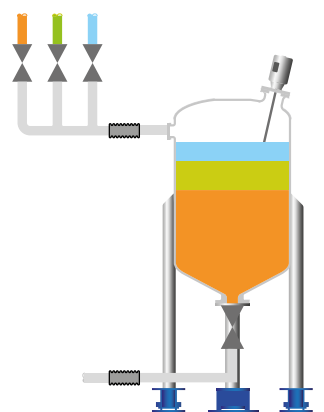


Рис. 7: Накопительное дозирование

## Последовательное дозирование

В этом методе (см. рис. 6) одни и те же резервуарные весы используются для поочередного взвешивания и выдачи каждого компонента. Материалы после взвешивания могут поступать в отдельную смесительную емкость или непосредственно на последующие стадии обработки. Преимуществами являются минимальные габариты оборудования и наименьшие капитальные затраты. Основной недостаток — низкая скорость работы системы.

## Накопительное дозирование

В схеме с накопительным (или вертикальным) дозированием конфигурация весов та же, что и для последовательного дозирования, но резервуар должен вмещать всю партию (см. рис. 7). Исходные материалы подают в резервуар по очереди и накапливаются в нем до достижения требуемой массы партии. Основное преимущество заключается в том, что все исходные материалы собираются в одном резервуаре, поэтому для выполнения последующих операций перемешивания и разбавления не требуется дополнительное оборудование. Недостаток — необходимость использования менее точных весов с большим НПВ, малоприспособных для взвешивания небольших по массе компонентов.

## Заключение

Преимущества и недостатки трех методов дозирования сведены в следующую таблицу.

### Сравнение методов дозирования

Параметры	Метод		
	Одновременное	Последовательное	Накопительное
НПВ весов оптимизирован для каждого материала <sup>1</sup>	+++	++	+
Точность <sup>2</sup>	+++	++	+
Скорость	+++	+ <sup>3</sup>	++
Низкая стоимость весов	+	+++	++
Простота системы управления	+	+++	+++
Малые размеры весов	+	+++	++
Минимальная опасность взаимного загрязнения материалов <sup>4</sup>	+++	+	+
Возможность последующей обработки в резервуаре весов	н/а	н/а	+++
Не требуется отдельная смесительная емкость	? <sup>5</sup>	? <sup>5</sup>	+++
Материалы не смешиваются до момента формирования партии <sup>6</sup>	+++	нет	нет
Необходимость точной калибровки весов <sup>7</sup>	да	нет	нет

Таблица 1

#### Примечание

1: Это особенно важно в отношении точности весов, когда доли исходных материалов в смеси существенно различаются.

2: Это особенно важно, если доли исходных материалов в смеси существенно различаются.

3: Низкая скорость работы при последовательном дозировании обусловлена большим количеством циклов разгрузки.

4: В тех случаях, когдаготавливаемые смеси различаются по составу используемых исходных материалов.

5: В зависимости от последующих этапов техпроцесса.

6: При возникновении сбоев в процессе дозирования диагностику неисправностей или доработку партии продукта удобнее производить в тех случаях, когда исходные материалы остаются несмешанными до момента финальной приемки партии.

7: При одновременном дозировании все весы должны быть точно откалиброваны, чтобы исходные материалы смешивались в требуемой пропорции.

В случае последовательного или накопительного дозирования неточная калибровка весов (при этом исправно работающих, с хорошей линейностью, повторяемостью и т. д.) приведет к ошибкам в абсолютном значении массы готового продукта, но пропорции компонентов будут соблюдены



Рис. 8. Взвешивание добавляемых вручную компонентов

На практике часто используют различные комбинации этих методов, позволяющие обойти ограничения каждого из них. Например, в системе может использоваться накопительная емкость для взвешивания основных компонентов и отдельная емкость для последовательного взвешивания небольших по массе компонентов с разгрузкой в накопительную емкость.



Платформенные весы серии РВК9 датчиком, работающим по принципу электромагнитной компенсации силы

Точность всех методов дозирования можно повысить, если небольшие по массе компоненты, такие как ароматизаторы, отдушки и красители, взвешивать на соответствующих весах и добавлять в смесь вручную. Это решение особенно привлекательно в отношении твердых материалов, поскольку устраняет необходимость установки специальной системы подачи твердых компонентов в резервуар. В таких случаях часто используют высокоточные весовые платформы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО серии РВК9 (см. ниже).

## 5 Принципы действия датчиков веса

### Датчики с электромагнитной компенсацией силы

МЕТТЛЕР ТОЛЕДО предлагает высококачественные датчики веса, работающие по принципу магнитоэлектрической компенсации силы (MFR), точность которых приблизительно в десять раз выше по сравнению с другими типами датчиков веса, описанных в последующих разделах. Рис. 9 иллюстрирует конструкцию датчика веса MFR. Подробное описание и сравнение с тензометрическими датчиками веса смотрите в разделе 4.

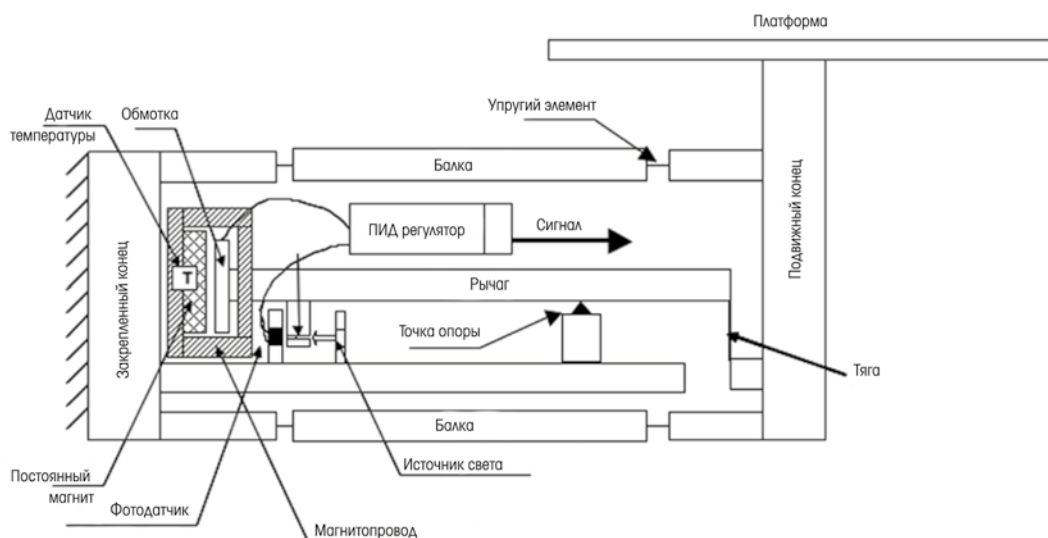


Рис. 9. Конструкция датчика MFR МЕТТЛЕР ТОЛЕДО



Датчик веса с высоким разрешением и точностью, работающий по принципу электромагнитной компенсации силы (MFR).



Датчик веса с электромагнитной компенсацией силы в корпусе со степенью защиты IP66/68.

## Тензометрические датчики

Тензометрические датчики веса — это наиболее распространенный тип датчиков, используемых в промышленных весах. Исключительная универсальность технологии позволяет использовать такие датчики в диапазоне измерения масс от 3 кг (7 фунтов) до 600 т и выше. Кроме того, датчики этого типа можно использовать как по одному, так и группами (для весов с большим НПВ). МЕТТЛЕР ТОЛЕДО поставляет весовые модули с монтажными комплектами, упрощающими сборку систем взвешивания. Специальная конструкция этих весовых модулей обеспечивает высокую точность, безопасность и надежность работы в современных условиях и режимах эксплуатации (см. [3]). Метрологические характеристики достигают МОЗМ С6 и NTER класс IIIМ, 10 000 поверочных делений.

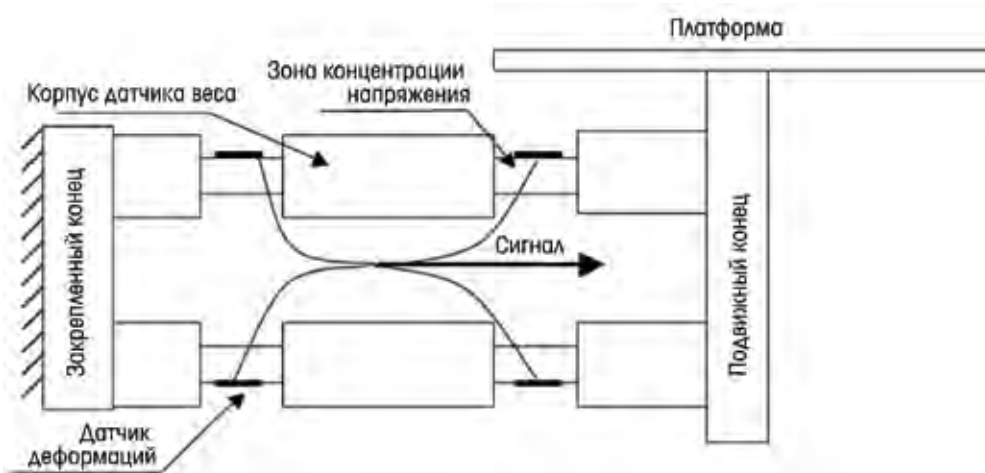


Рис. 10. Тензометрический датчик веса.



Одноточечный тензометрический датчик веса. НПВ таких датчиков веса, как правило, составляет от 3 до 2000 кг



Герметичный тензометрический балочный датчик веса. НПВ таких датчиков веса, как правило, составляет от 5 кг до 5 т



S-образный тензометрический датчик растяжения. НПВ таких датчиков веса, как правило, составляет от 50 кг до 10 т



Колонный многотоннажный тензометрический датчик веса. НПВ таких датчиков веса, как правило, составляет от 7,5 до 600 т

## PowerMount™

МЕТТЛЕР ТОЛЕДО производит цифровые датчики веса, начиная с 80-х годов прошлого века; с тех пор в некоторых отраслях промышленности они стали золотым стандартом. Эти тензометрические датчики веса изготавливаются со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и микропроцессором. От обычных аналоговых датчиков веса они отличаются значительно улучшенными характеристиками и повышенной функциональностью. Сегодня МЕТТЛЕР ТОЛЕДО предлагает весовые модули PowerMount™, изготовленные с использованием фирменной технологии PowerCell. Они обладают следующими преимуществами:



Весовой модуль с технологией PowerMount™

1. Упреждающее техническое обслуживание. Весы контролируют состояние каждого датчика веса и заблаговременно уведомляют пользователя о появлении признаков неисправности в любой части системы.
2. В системе не используются соединительные коробки. В системе PowerMount™ используется гирляндное соединение датчиков веса. Здесь нет типичных для аналоговых систем соединительных коробов, которые во многих случаях становятся причиной отказов. Кроме того, датчики веса подключаются с помощью разъемов, поэтому каждый из них можно без труда заменить в случае повреждения.
3. При замене компонентов системы повторная калибровка не требуется. Выходные сигналы датчиков веса согласованы настолько точно, что замена датчика веса, кабеля или терминала может быть выполнена без повторной калибровки.
4. Высокая помехозащищенность цифрового выходного сигнала. Аналоговые датчики работают с сигналами очень низкого уровня. Единице отсчета на экране терминала соответствует приращение сигнала величиной приблизительно пять миллионных долей вольта (5 мкВ). Датчики PowerMount® передают данные по шине CAN. Это исключительно надежный цифровой протокол с сигналами амплитудой  $\pm 5$  В, широко применяемый в автомобильной промышленности.
5. Улучшенные характеристики. Микропроцессор, встроенный в каждый датчик веса, производит цифровую коррекцию сигнала, что позволяет достичь точности вплоть до МОЗМ С10 и NTEP 10 000 III M. См. сравнение PowerMount с аналоговыми весовыми модулями по ссылке 5 в конце руководства.

# Выбор весов \ датчиков веса

Резервуары и емкости существенно различаются по объему и требуемой точности взвешивания, поэтому существует несколько вариантов установки датчиков веса на них. Все они приведены в таблице 2 и более подробно рассмотрены в последующих разделах

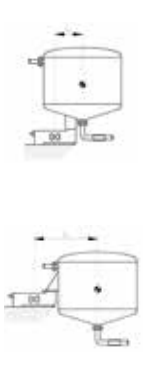


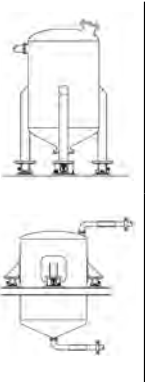
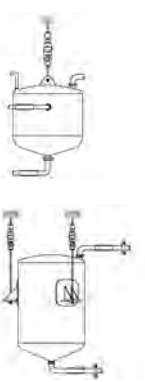
						
		1	2	3	4	5
<b>Оборудование на основе датчиков веса с электромагнитной компенсацией силы (MFR)</b>		Одноточечный датчик веса	Платформенные весы	Напольные весы	Датчики веса или весовые модули сжатия	Датчики веса или весовые модули растяжения
Платформенные весы, MFR	НПВ весов (кг)	–	32	–	–	–
	Макс. размеры весов (см)	–	28x35	–	–	–
	Сертификаты: OIML/NTEP	–	II 32, III 6.4 / II 32, III 10	–	–	–
Напольные весы, MFR	НПВ весов (кг)	–	–	3	–	–
	Макс. размеры весов (см)	–	–	1.5x1.5	–	–
	Напольные весы, MFR	–	–	III 6 / –	–	–
<b>Оборудование на основе тензометрических датчиков веса</b>						
Одноточечный датчик веса	Кол. датчиков веса на весы	1	–	–	–	–
	НПВ весов (т)	1	–	–	–	–
	Макс. размеры весов (см)	см.ниже	–	–	–	–
	Сертификаты: OIML/NTEP	C3 / III 5	–	–	–	–
Датчики веса или весовые модули сжатия	Кол. датчиков веса на весы	–	–	–	3+	–
	НПВ весов (т)	–	–	–	1000	–
	Макс. размеры весов (см)	–	–	–	без ограничений	–
	Сертификаты: OIML/NTEP	–	–	–	C10 / III 10	–
Датчики веса или весовые модули растяжения	Кол. датчиков веса на весы	–	–	–	–	1+
	НПВ весов (т)	–	–	–	–	25
	Макс. размеры весов (см)	–	–	–	–	без ограничений
	Сертификаты: OIML/NTEP	–	–	–	–	C3 / III 5
Настольные весы	НПВ весов (кг)	–	600	–	–	–
	Макс. размеры весов (см)	–	60x80	–	–	–
	Сертификаты OIML/NTEP	–	III 6 / III 10	–	–	–
Напольные весы	НПВ весов (т)	–	–	12	–	–
	Макс. размеры весов (см)	–	–	2x2	–	–
	Сертификаты OIML/NTEP	–	–	III 6 / III 5	–	–

Таблица 2

## Одноточечные датчики веса

На рис. 11 и 12 показаны резервуары, установленные на одноточечных датчиках веса. Эти датчики веса предназначены для индивидуальной установки и обеспечивают взвешивание с заданными допусками, несмотря на боковое смещение относительно центра тяжести резервуара. Одноточечные датчики веса, как правило, используются в платформенных весах, как показано на рис. 13 ниже; один датчик веса устанавливается в центре под весовой поверхностью, которая в технических характеристиках определяется как «Макс. размеры грузоприемной платформы». При установке согласно рис. 11 и 12 рекомендуется расположить датчик веса таким образом, чтобы проекция центра тяжести резервуара лежала на продолжении продольной оси датчика, а размер L не превышал половины значения, указанного для параметра «Макс. размеры грузоприемной платформы» датчика.

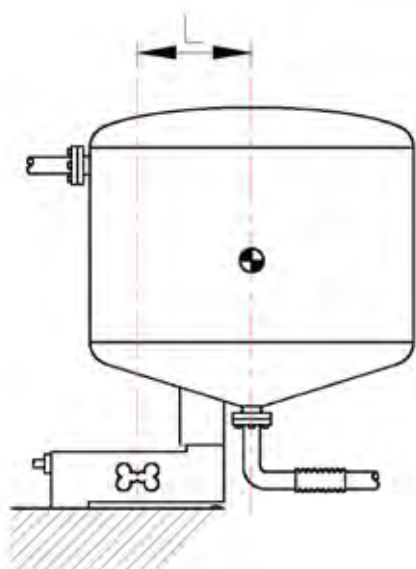


Рис. 11. Небольшой резервуар / бак, установленный на одноточечном датчике веса.

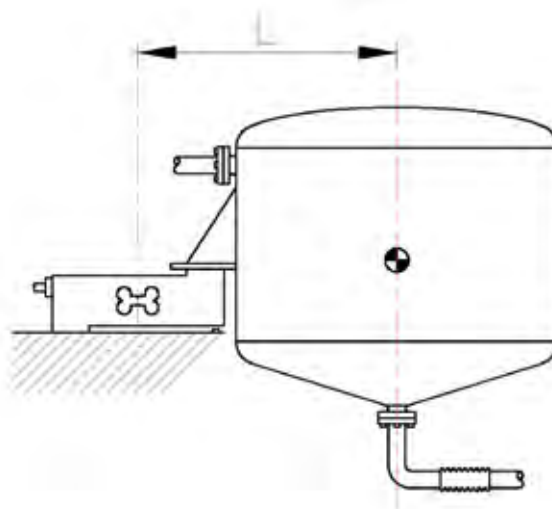


Рис. 12. Небольшой резервуар / бак, установленный на одноточечном датчике веса со смещением

Например, для датчика веса модели МТ1241 значение параметра «Макс. размеры грузоприемной платформы» равно 40x40 см (16x16 дюймов), поэтому размер L не должен превышать 20 см (8 дюймов). Если размер L приближается к этому значению, следует более осторожно подойти к выбору НПВ датчика веса. В идеальном случае, редко встречающемся на практике, центр тяжести бака должен располагаться точно над центром датчика веса, чтобы размер L был равен нулю. Используйте ограничители хода, чтобы защитить датчик веса от повреждения. Во всех случаях, когда используется описываемая одноточечная схема установки, необходимо предусмотреть дополнительные средства крепления резервуара, чтобы исключить опасность несчастного случая или повреждения оборудования при поломке датчика веса или несущих конструкций.

МЕТЛЕР ТОЛЕДО предлагает полную линейку одноточечных датчиков веса с НПВ от 3 до 2000 кг в различных исполнениях по материалам конструкции, степени пылевлагозащиты и с различными сертификатами.



Одноточечный датчик веса модели МТ1241



## Настольные и напольные весы

На рис. 13 показан небольшой бак, установленный на стандартных настольных весах, а на рис. 14 — бак большего размера, установленный на напольных весах

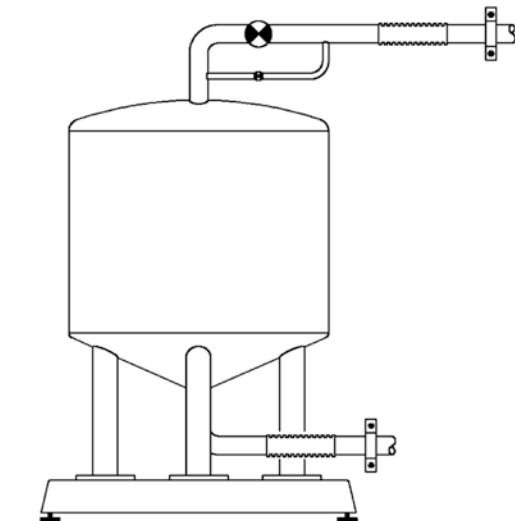


Рис. 13. Небольшой резервуар / бак, установленный на платформенных весах.

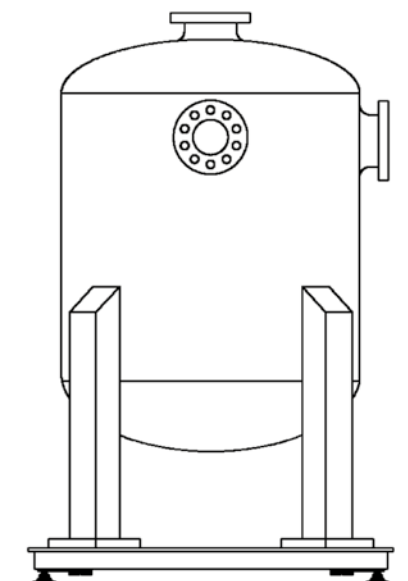


Рис. 14. Резервуар / бак, установленный на напольных весах.

Напольные весы устанавливаются непосредственно на пол или в приямок, как показано на рис. 20. Бак, монтируемый на настольные или напольные весы, должен быть конструктивно защищен от опрокидывания, поскольку весы не обеспечивают такую защиту. Кроме того, рекомендуется получить консультацию в службе технической поддержки METTLER TOLEDO относительно оптимального размещения опор бака на грузоприемной платформе весов.

Для такого использования хорошо подходят весы серии РВК9/РФК9 с размерами грузоприемной платформы от 21x25 см до 1,5x1,5 м и НПВ от 3 до 3000 кг. Эти весы, сертифицированные по МОЗМ и NTEP вплоть до класса точности II, 32 000e и предназначенные для коммерческого использования, приблизительно в десять раз точнее весов с тензOMETрическими датчиками. Они открывают новые горизонты в сфере применения резервуарных весов. Весы выпускаются в исполнениях из горячеоцинкованной или нержавеющей стали со встроенной образцовой гирей для периодической калибровки.



РВК9



РФК9

МЕТТЛЕР ТОЛЕДО предлагает полную линейку стандартных промышленных платформенных весов с тензометрическими датчиками веса с НПВ до 600 кг и напольных весов с увеличенными размерами грузоприемной платформы и НПВ до 12 т .



Настольные весы PBD655



Напольные весы серии PFA

## Датчики веса и весовые модули сжатия

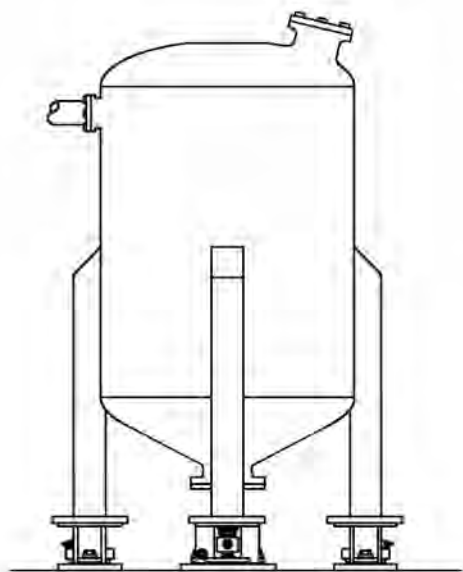


Рис. 15. Резервуар, установленный на весовых модулях сжатия.

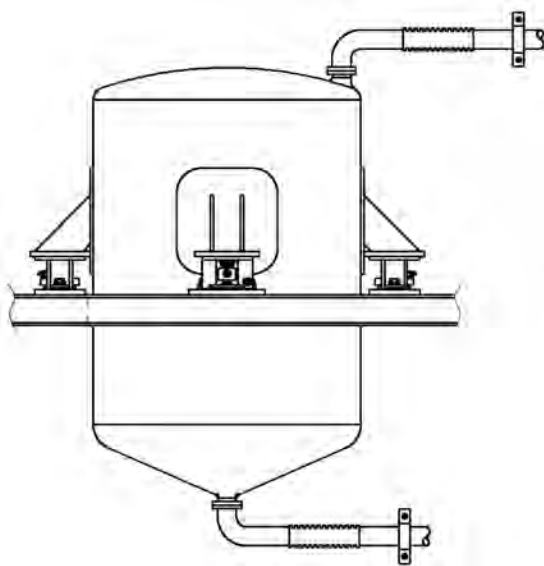


Рис. 16. Резервуар, установленный на весовых модулях сжатия в сквозном отверстии перекрытия.

Исключительная универсальность технологии датчиков веса и весовых модулей сжатия позволяет использовать одну и ту же конструктивную схему для монтажа резервуаров емкостью от 10 кг до 1000 т и выше.



Весовой модуль сжатия PinMount на базе стандартного тензометрического датчика веса.



Весовой модуль сжатия PowerMount на базе тензометрического датчика веса со встроенным микропроцессором.

Для обеспечения устойчивости системы взвешивания необходимо использовать не менее трех датчиков веса или весовых модулей сжатия. При монтаже квадратных или прямоугольных систем взвешивания, как правило, устанавливают четыре датчика или весовых модуля. Датчики или весовые модули устанавливают под опоры резервуара (как показано на рис. 15) или под кронштейны, если резервуар монтируется в отверстие перекрытия (как показано на рис. 16). Если используются датчики веса, необходимо тщательно рассчитать конструкцию узлов крепления и силопередающих элементов с учетом эффектов теплового расширения и сжатия. Принадлежности, упрощающие монтаж датчиков, можно приобрести у METTLER TOLEDO, но все элементы крепления резервуара в горизонтальной и вертикальной плоскостях должны быть установлены заказчиком. Использование весовых модулей существенно упрощает задачу, поскольку все необходимые требования уже учтены в их конструкции. Весовые модули PowerMount™ обладают множеством дополнительных преимуществ, включая функции упреждающего технического обслуживания.



Балочный датчик веса SLB215 с резьбовым отверстием для силопередающего элемента.



Монтажные принадлежности для датчиков веса SLB215, упрощающие правильную установку.



Балочный датчик веса O745A с глухим отверстием для силопередающего элемента.



Принадлежности для датчика веса O745A, обеспечивающие правильную передачу нагрузки и надежную работу датчика

## Датчики веса и весовые модули растяжения

Резервуар может быть подвешен на одном датчике веса или весовом модуле, как показано на рис. 17. На рис. 18 показано более распространенное решение с подвеской на трех весовых модулях.

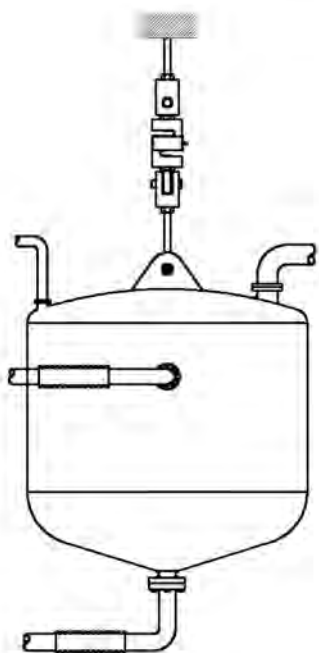


Рис. 17. Небольшой резервуар / бак, подвешенный на весовом модуле растяжения.

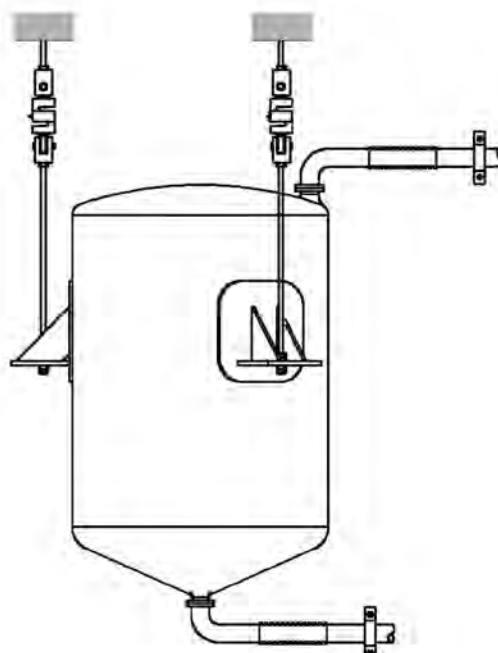


Рис.18. Резервуар\бак, подвешенный на весовых модулях растяжения

Этот способ монтажа может быть удобен при наличии подходящей несущей конструкции над резервуаром или в том случае, когда пространство под весами должно остаться свободным. Такое решение применимо для весов с НПВ от 20 кг (45 фунтов) до 30 т.

В большинстве случаев требуется установка стабилизаторов для предотвращения раскачивания резервуара в горизонтальной плоскости.

Точность взвешивания аналогична конструкциям с датчиками сжатия.

Здесь также можно использовать или непосредственно датчики веса, или весовые модули, например SWS310, которые обеспечивают идеальные условия передачи нагрузки на датчик и удобство монтажа.

В каждой конструкции с подвесным резервуаром должны быть предусмотрены предохранительные элементы, например, цепи, тяги и т. п. (на рис. 17 и 18 не показаны) на случай повреждения системы подвески.



Весовой модуль растяжения SWS310

# 7 Рекомендации по выбору конструкции весов

## Трубная обвязка

В некоторых случаях резервуарные весы работают без присоединенных трубопроводов, и это идеальный вариант с точки зрения точности взвешивания. На рис. 19 показаны весы с открытой сверху емкостью, к которой подходят четыре входных трубопровода; выходной трубопровод присоединяется к емкости по мере необходимости. Точность таких резервуарных весов в пределе может быть ограничена характеристиками используемых датчиков веса. Конечно, во многих случаях использование неприсоединенных трубопроводов недопустимо, например, если материалы горючи, токсичны или подаются в резервуар под давлением.



Емкость с неприсоединенными трубопроводами.

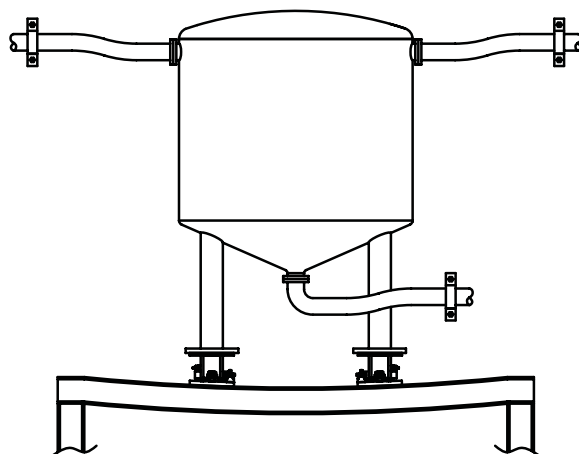


Рис. 19. Деформация заполненной емкости с присоединенными трубопроводами

Присоединение трубопроводов ожидаемо приводит к ухудшению точности взвешивания. Причину иллюстрирует рис. 19, на котором показана заполненная емкость, несущие конструкции которой прогнулись под нагрузкой (утрированное изображение), что привело к соответствующей деформации трубопроводов. Трубопроводы в этом случае работают как плоские пружины, противодействующие опусканию весов по мере заполнения емкости. В зависимости от жесткости трубопроводов сила противодействия может достигать большой величины, существенно занижая регистрируемое значение массы. Если бы трубопроводы действительно работали как идеально линейные пружины, силу противодействия можно было бы легко учесть в процессе калибровки. Однако из-за подвижности труб в трубных хомутах это далеко не так. В результате мы получаем весы со значительной нелинейностью, гистерезисом, плохой повторяемостью и неточным возвратом к нулю. Улучшить ситуацию можно с помощью следующих мер.



Емкости с многочисленными присоединенными трубопроводами

1. Уменьшение деформации весов. Следует повысить жесткость несущей конструкции или, еще лучше, установить емкость на уровне пола на жестком бетонном фундаменте. Обратите внимание на то, что датчики веса также испытывают небольшую деформацию, как правило, в пределах 0,25 мм (0,01") при номинальной нагрузке. Эту деформацию нельзя устранить, поскольку она связана с принципом действия датчиков.
2. Уменьшение жесткости трубопроводов. К весам следует присоединять только горизонтально расположенные трубопроводы с гибкими соединительными секциями или компенсаторами теплового расширения.
3. Калибровка с нагрузкой. Калибровку весов следует производить с использованием одного из методов приложения нагрузки. В этом случае терминал регистрирует и сможет компенсировать ослабление измерительного сигнала, связанное с деформацией труб. Таким образом, сначала следует максимально ослабить и линеаризовать воздействие трубной обвязки, а затем выполнить калибровку с приложением нагрузки, чтобы скомпенсировать остаточный эффект. Дополнительную информацию см. по ссылке 1 в конце руководства.

## Несущие конструкции

Несущие конструкции резервуаров и емкостей — важный фактор, требующий тщательного рассмотрения по соображениям точности и безопасности, причем с увеличением размеров весов значимость этого фактора только возрастает. Это объясняется рядом причин.

1. Вертикальное смещение весов под нагрузкой усиливает воздействие со стороны трубной обвязки, как было описано выше.
2. Изменения жесткости точек опоры вызывают перераспределение нагрузок между датчиками веса, что может привести к их повреждению или возникновению погрешностей.
3. Если несколько весов закреплены на одной и той же несущей конструкции, в результате смещения весов в процессе загрузки и выгрузки могут возникнуть перекрестные помехи.
4. Подвижность весов должна быть ограничена таким образом, чтобы безопасность всей конструкции была обеспечена как в процессе нормальной работы, так и в нестандартных ситуациях. Дополнительную информацию см. по ссылке 1 в конце руководства.

## Взвешивание передвижных емкостей

Передвижную емкость можно взвешивать на весах, установленных в приемке, как показано на рис. 20. Это удобно в тех случаях, когда взвешивание производится только на одном рабочем месте. Если требуется передвижная емкость со встроенными весами для взвешивания на нескольких рабочих местах, можно использовать датчики веса или весовые модули, закрепив их к раме тележки (см. рис. 21). Обратите внимание, что весовые модули должны быть закреплены именно к раме тележки, поскольку непосредственное крепление модулей к колесным узлам не обеспечит необходимой устойчивости конструкции (см. ссылку 1). Для достижения высокой точности взвешивания присоединение трубопроводов и электрических кабелей к передвижной емкости должно выполняться с соблюдением требований повторяемости.

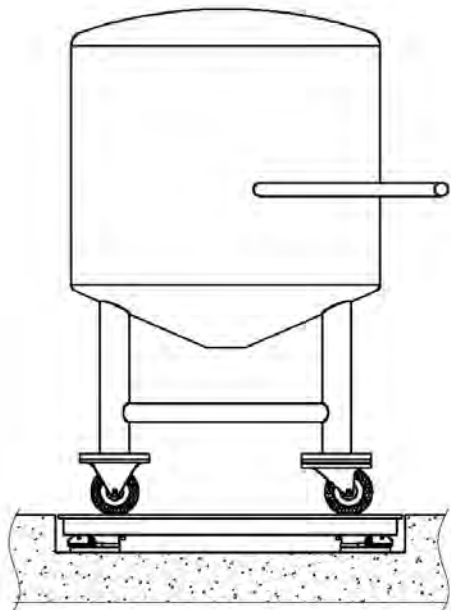


Рис. 20. Взвешивание передвижной емкости на напольных весах.

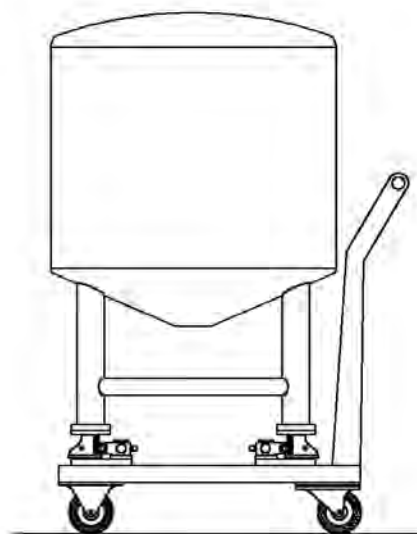


Рис. 21. Передвижная емкость со встроенными весами.

## Максимальная нагрузка (НПВ) датчика

Важно правильно выбрать величину максимальной нагрузки (НПВ) датчика в соответствии с решаемой задачей. Выбор заниженного значения НПВ чреват опасностью повреждения датчика, завышенного — приносит в жертву точность. В соответствии со стандартной методикой необходимо сложить все нагрузки, приложенные к датчику (датчикам), включая вес взвешиваемого материала и вес вспомогательных конструкций (см. также раздел «Химические реакторы»), умножить эту сумму на коэффициент запаса (как правило, 1,25) и разделить на количество датчиков веса или весовых модулей. Получив результат, остается выбрать датчик с ближайшим большим значением НПВ. Некоторые ситуации могут потребовать более консервативных решений. Это может иметь место в следующих случаях.

1. Нагрузки (вес взвешиваемых материалов или вспомогательных конструкций) не могут быть определены с достаточной точностью.
2. Неравномерное распределение сосредоточенной нагрузки от вспомогательных конструкций (например, мешалки).
3. Трудность равномерного распределения нагрузки, например, если количество точек опоры больше трех.
4. Необходимость учета ветровой или сейсмической нагрузки.
5. Непостоянство точки приложения нагрузки на весах.
6. Воздействие ударных нагрузок на весы.

Дополнительную информацию см. по ссылке 1 в конце руководства.

## Калибровка

Различные методы калибровки представляют тот или иной компромисс между затратами и сложностью с одной стороны и достижимой точностью — с другой. Ниже приведено описание наиболее важных методов калибровки в порядке убывания точности.

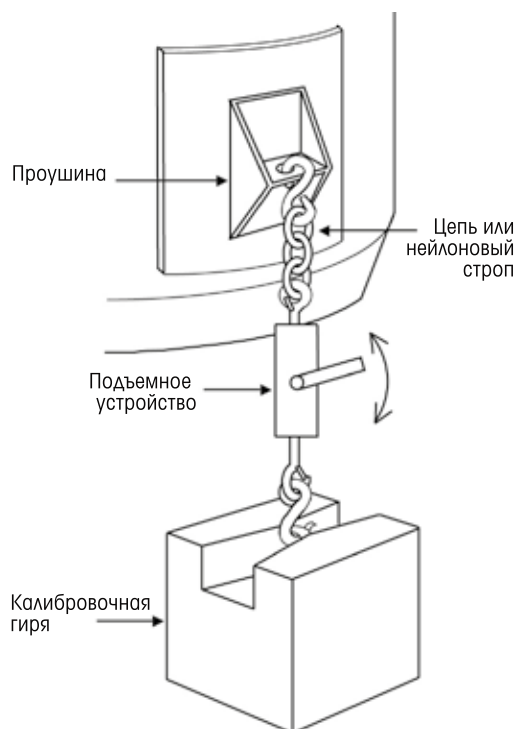


Рис. 22. Калибровка резервуарных весов с использованием калибровочных гирь.

**1. Калибровка с использованием калибровочных гирь.** Этот метод позволяет получить наиболее точные результаты и является обязательным для калибровки коммерческих (сертифицированных для коммерческого применения) систем взвешивания. Для весов с небольшим НПВ калибровка с использованием калибровочных гирь выполняется достаточно просто, но с увеличением тоннажа весов эта процедура становится все менее целесообразной. Резервуары и емкости лишены плоских поверхностей, пригодных для установки калибровочных грузов, поэтому способ нагружения необходимо продумать заранее. Например, на боковой поверхности емкости можно установить проушины для подвешивания грузов, как показано на рис. 22.

**2. Калибровка методом последовательного замещения.** Этот метод предполагает использование калибровочной гири с массой, составляющей небольшую долю (5–10 %) от НПВ весов. Калибровочную гирю устанавливают на весы и записывают показания. Затем гирю снимают и загружают в емкость замещающий материал, пока не будут получены те же показания. После этого на весы снова устанавливают калибровочную гирю и записывают показания (которые должны приблизительно удвоиться). Гирю снимают и загружают в емкость замещающий материал, пока не будут получены записанные ранее показания. Процесс продолжается до тех пор, пока в емкость не будет загружено достаточное для калибровки количество замещающего материала. По сравнению с калибровкой по калибровочным гилям этот метод менее точен и более трудоемок.



**3.3. Калибровка методом перемещения материала.** При использовании этого метода определенное количество материала (например, воды) взвешивают на образцовых весах, а затем перемещают в калибруемые резервуарные весы. Точность метода зависит от точности образцовых весов и потерь материала при перемещении. Если в качестве образцовых весов используются прецизионные весы METTLER TOLEDO с MFR-датчиками, а влияние трубной обвязки сведено к минимуму, как показано на рис. 23, калибровка может быть выполнена с высокой точностью.

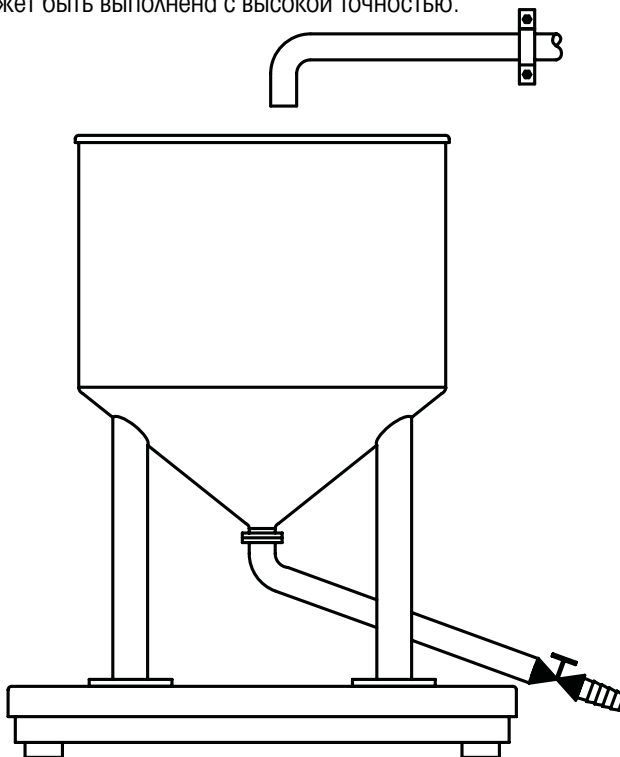


Figure 23: Образцовые резервуарные весы

**4. CalFree™.** Это расчетный метод калибровки, который поддерживается в некоторых моделях терминалов METTLER TOLEDO. Достаточно рассчитать среднее выходных сигналов датчиков веса (имеются в виду аналоговые датчики веса) и ввести полученное значение в терминал, который автоматически выполнит калибровку. Этот метод позволяет выполнить калибровку очень быстро и с минимальными усилиями, но имеет ряд ограничений. С его помощью невозможно компенсировать ни механические воздействия, например, со стороны трубной обвязки, ни ослабление сигналов датчиков веса в кабелях, соединительных коробках или барьерах безопасности. Вследствие этого типичное значение предела погрешности для CalFree составляет 0,2 %.

Применительно к цифровым датчикам веса PowerCell, используемым в весовых модулях PowerMount, калибровка CalFree™ Plus обеспечивает максимально достижимую для расчетного метода точность. Терминал считывает уровни выходных сигналов непосредственно из датчиков веса и автоматически выполняет калибровку. Соединительные коробки в сети цифровых датчиков не используются, а кабели практически не оказывают влияния на цифровые сигналы. Кроме того, в вычислениях учитываются местные отклонения ускорения свободного падения  $g$ . Одним нажатием кнопки производится калибровка системы с максимально достижимой для этого метода точностью. При отсутствии механических воздействий, например, со стороны трубной обвязки, погрешность может быть менее 0,1 %.

Дополнительную информацию см. по ссылке 1 в конце руководства.

# 8 Влияние характеристик материалов и питателя на точность

## Материалы

Технологические весоизмерительные системы с резервуарами и емкостями используются главным образом для взвешивания жидких материалов, но иногда к жидкостям подмешивают также газы или твердые вещества. Однако и в этих случаях конечный продукт, как правило, представляет собой текучую массу или суспензию. Стремясь к повышению точности, следует учесть ряд факторов, связанных со свойствами материалов.

1. Материал из складского резервуара должен поступать к питательному устройству стабильно и непрерывно. В тех случаях, когда выгрузка готового продукта может происходить нерегулярно, это означает обязательное наличие промежуточного накопителя.
2. Дозирование по весу в меньшей степени зависит от свойств материалов по сравнению с другими технологиями; тем не менее, для достижения наивысшей точности следует свести к минимуму вариации таких свойств материалов, как вязкость, плотность и гранулярность. В случае сильной зависимости реологических свойств материала от его температуры и влажности необходимо обеспечить регулирование этих параметров.
3. Желательно обеспечить регулирование давления жидкостей перед впускными клапанами. Эту задачу трудно решить механическими средствами, проще поддерживать постоянную высоту гидростатического напора в складском резервуаре.
4. Необходимо поддерживать постоянный уровень давления сыпучих материалов над затворами питательных устройств.
5. При возникновении перерывов в подаче материала следует останавливать процесс дозирования и возобновлять его только после заполнения промежуточного накопителя.

## Питатели

Термин «питатели» используется здесь в самом широком смысле для обозначения устройств, которые осуществляют и регулируют подачу материала, например, шестеренного насоса, приводимого в действие шаговым двигателем, а также таких устройств, которые только регулируют подачу, например, клапана. Рабочие характеристики этих устройств могут существенно влиять на точность и повторяемость дозирования. В идеальном случае они должны срабатывать и перекрывать подачу материала мгновенно или, как минимум, с постоянной задержкой независимо от свойств материала — его вязкости, гранулометрического состава и твердости частиц. Одни типы питателей принципиально точнее других, но выбор может быть ограничен свойствами материала. Стремясь к повышению точности, следует учесть ряд факторов, связанных с характеристиками питателей.

1. Устройства с электроприводом обладают определенной инерцией движения, на которую могут оказывать влияние свойства материала и техническое состояние оборудования. В таких случаях желательно использовать двигатели с тормозными устройствами, обеспечивающими более четкую остановку.
2. В линиях питания устройств с пневмоприводом необходимо поддерживать стабильное давление и качество воздуха, чтобы гарантировать постоянство времени задержки и срабатывания.
3. В двухскоростных системах наполнения, как правило, целесообразнее использовать питатели, работающие по принципу модуляции расхода. Менее практичная альтернатива состоит в использовании двух питателей с различной пропускной способностью и независимым управлением.
4. В тех случаях, когда необходимо использовать толчковую подачу, механизм питателя должен быть рассчитан для работы в режиме многократных кратковременных включений.

## 9 Соотношение скорости и точности

Наполнение резервуара представляют собой динамическую операцию, которая, к несчастью, характеризуется обратной зависимостью между скоростью и точностью, как показано на рис. 24. С повышением скорости наполнения падает точность, и наоборот. Точный вид и масштаб этого графика зависит от ряда обстоятельств, в том числе от характеристик используемого весоизмерительного оборудования и питательных устройств, общей конструкции системы, свойств дозируемых материалов и условий окружающей среды. Обратите внимание, что при снижении скорости наполнения до нуля точность взвешивания приближается к статической точности используемого весоизмерительного оборудования

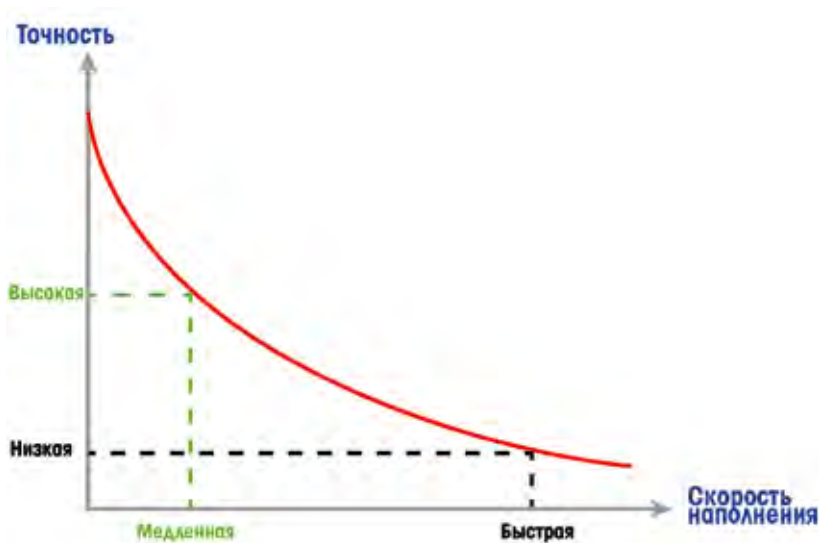


Рис. 24. Соотношение скорости наполнения и точности.

Зная этот параметр, можно выбрать компромиссную рабочую точку на графике, обеспечивающую достижение разумного баланса между точностью и скоростью наполнения. Ниже кратко изложены основные моменты рекомендаций, приведенных в этом документе, следуя которым, можно повысить скорость и точность дозирования.

1. Тщательно подходите к выбору метода дозирования, особенно при наличии существенных различий в массовых долях компонентов смеси. Рассмотрите возможность использования комбинированных систем и ручного взвешивания наиболее важных компонентов. См. раздел «Выбор процесса дозирования».
2. Используйте терминал с высококачественным АЦП и высокой внутренней частотой дискретизации. Для того чтобы обеспечить быструю реакцию системы в критически важных точках цикла наполнения, необходимо с высокой скоростью получать точные данные взвешивания. Сама по себе высокая скорость передачи необработанных данных дает меньше преимуществ по сравнению с не такой быстрой передачей обработанных данных. В технологии цифровой фильтрации данных взвешивания TraхDSP, разработанной компанией METTLER TOLEDO, используются алгоритмы адаптации к параметрам технологического оборудования и условиям окружающей среды. Как правило, алгоритмы фильтрации, разработанные изготовителями весоизмерительного оборудования, превосходят по характеристикам программное обеспечение, используемое в ПЛК и других типах контроллеров.
3. Выбирая оборудование, отдайте предпочтение терминалу с высокой частотой ввода-вывода данных и быстродействующим питательным устройствам со стабильными во времени характеристиками.

4. Примите меры для устранения неблагоприятных факторов окружающей среды (механические вибрации и электромагнитные помехи) и выберите терминал с развитыми функциями фильтрации, которые можно адаптировать к конкретным условиям эксплуатации.

5. Рис. 25 иллюстрирует один из способов преодоления антагонизма между скоростью и точностью. Основную часть емкости резервуара можно заполнять с высокой скоростью / низкой точностью, а в конце процесса переключиться в режим низкой скорости / высокой точности. Другими словами — используйте двухскоростную систему наполнения, более подробно рассмотренную ниже. Нет ничего страшного в том, что основная часть емкости резервуара будет заполнена с низкой точностью, если переключение в режим высокой точности осуществляется своевременно. Это традиционный способ достижения разумного баланса между скоростью и точностью наполнения, который широко используется и сегодня.

6. Используйте контроллер с совершенными алгоритмами управления, который в реальном времени создает математические модели для каждой операции наполнения, самообучается и автоматически корректирует все отклонения. Такие высококласные контроллеры позволяют повысить скорость и точность наполнения даже при использовании простейших односкоростных систем. См. ниже раздел «Контроллер IND780 Q.iM-РАСТ».

## 10 Управление процессом наполнения

### Процесс наполнения

На рис. 25 показан график изменения массы в функции времени в процессе наполнения в стандартной двухскоростной системе. Типичный процесс наполнения, в зависимости от требуемой точности, может включать все показанные на рисунке фазы или некоторые из них. В верхней части графика отмечено номинальное значение массы с верхним и нижним допусками. Как показано на рисунке, цикл наполнения может быть разделен на несколько фаз. При первом включении питательного устройства расход материала в течение определенного времени нарастает от нуля до установившегося значения в фазе грубой подачи, которая составляет основную часть процесса наполнения по времени и загружаемой массе. Дополнительные фазы процесса наполнения позволяют уточнить загруженную массу с тем, чтобы она оказалась в пределах допусков. Ниже приведены подробные пояснения по терминам, используемым для описания этого процесса.



Рис. 25. Работа двухскоростной системы наполнения

### Быстрая и точная подача

Комбинацию быстрой и точной подачи называют двухскоростной системой наполнения и используют для одновременного повышения скорости и точности наполнения. Основная часть материала загружается очень быстро, после чего питательное устройство переключается на точную подачу для достижения максимальной точности в финальной фазе. В фазе быстрой подачи может быть загружено, например, 97 % от номинальной массы материала, а затем скорость подачи уменьшится до 1/10 исходного значения (точная подача) для загрузки оставшихся 3 %.

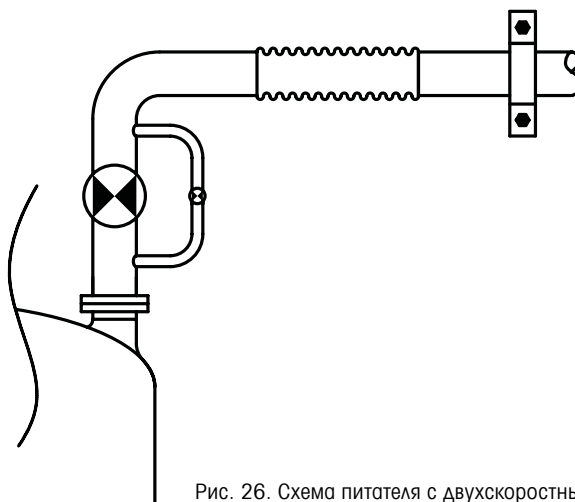


Рис. 26. Схема питателя с двухскоростным впускным клапаном.

Двухскоростную систему наполнения можно реализовать, например, путем переключения скорости вращения двигателя шнекового или лопастного питателя. Для жидкостей, вероятно, более эффективной будет конструкция с двумя простыми двухпозиционными клапанами, включенными параллельно (см. рис. 26). Отношение расходов через открытые клапаны может быть выбрано равным десяти. В фазе быстрой подачи открыты оба клапана, в фазе точной подачи быстрый клапан закрывается.

### Просыпь

После отсечки любого питательного устройства на весы попадает некоторое дополнительное количество материала. Эту часть материала называют «Просыпь» или «Упреждение». Очевидно, что величина просыпи зависит от высоты питателя над поверхностью загружаемого материала и скорости подачи в момент отсечки. Некоторые терминалы поддерживают коррекцию просыпи путем выключения питателя с упреждением, однако просыпь в любом случае рекомендуется свести к минимуму, поскольку она является источником нестабильности и ошибок. Ниже приведен ряд рекомендаций по снижению просыпи и повышению точности.

1. Клапаны или питатели должны быть установлены на минимально возможном расстоянии от емкости.
2. Для снижения скорости подачи в момент отсечки рекомендуется использовать двухскоростную систему наполнения.

Обратите внимание, что при взвешивании с выгрузкой необходимо учитывать количество того материала, который покинет весы до момента полного закрывания питателя, но в этом режиме взвешивания перелив не рассматривается как источник ошибки.

### Быстрое дозаполнение

Функция быстрого дозаполнения обеспечивает возможность кратковременного включения питателя для добавления небольшого количества материала в недозаполненную емкость. При использовании этой функции наполнение до момента отсечки происходит как обычно, затем выполняется выдержка времени для стабилизации весов перед сравнением массы с заданным значением. Если масса окажется ниже заданного значения, включается быстрое дозаполнение для коррекции ошибки. Эта функция позволяет корректировать только недоливы.

## Управление

В ручном режиме наполнения оператор, контролируя текущее значение массы емкости, которое отображается на экране терминала, управляет работой питателя, при необходимости корректирует массу загруженного материала и принимает решение о том, находится ли она в пределах допусков. Этот цикл повторяется для каждого компонента смеси, после чего оператор принимает решение о готовности партии. В таком режиме работы от терминала не требуется поддержки каких-либо функций ввода-вывода. Тем не менее, он может передавать данные о массе компонентов и партии в информационную систему в целях управления складскими запасами и обеспечения прослеживаемости. Можно использовать практически любую из простых моделей терминалов МЕТТЛЕР ТОЛЕДО.



Рис. 27. Наполнение в ручном режиме

Однако чаще весы управляют работой питателей в конфигурациях с различной степенью автоматизации вплоть до полностью автоматизированных систем. В таких системах весы автоматически проверяют массу каждого компонента по заданным допускам и принимают решение о готовности партии. На рис. 28 показаны резервуарные весы, в которых используются аналоговые весовые модули. Здесь сигналы датчиков веса суммируются в соединительной коробке, подключенной к терминалу. В такой системе автоматическое управление наполнением может быть реализовано одним из трех способов:

1. 1. В независимой системе, в тех случаях, когда не требуется использовать ПЛК или программируемый контроллер автоматизации (ПКА), управление операциями дозирования низкой и средней сложности могут обеспечить терминалы МЕТТЛЕР ТОЛЕДО моделей IND570 или IND780. Эти модели терминалов позволяют устанавливать дополнительные модули программного обеспечения, специально предназначенные для работы в системах наполнения и поддерживающие все соответствующие функции, описанные в предыдущих разделах.



Терминал IND560FIII для систем наполнения

2. Можно использовать простую модель терминала, например, IND131, для передачи данных взвешивания в ПЛК / ПКА, который будет выполнять все функции управления.



Терминал IND131 в корпусе для монтажа на рейке DIN

3. На рис. 28 показана комбинированная система. Здесь процесс наполнения контролирует терминал, например, IND560, IND690 или IND780, а общее управление процессом осуществляет ПЛК / ПКА. ПЛК / ПКА может запускать процесс наполнения и задавать параметры дозирования, включая номинальное значение массы и допуски для каждого компонента смеси. После того, как все эти данные будут загружены в терминал, он принимает на себя управление процессом наполнения. После завершения дозирования компонентов терминал может передать результаты в ПЛК / ПКА в целях журналирования, управления складскими запасами и т. п.

Такая конфигурация имеет определенные преимущества. Функции терминала ограничиваются считыванием значений массы и управлением питателями, т. е. процессами, лежащими в основе любой операции дозирования. Это позволяет терминалу без помех и задержек выполнять приоритетную задачу отсечки питателей в точно определенные моменты времени. Кроме того, в терминале может быть установлен специализированный программный модуль, обеспечивающий максимально эффективное управление операциями наполнения и дозирования. В конфигурации системы, упомянутой выше в п. 2, контур управления включает большее число устройств, способных внести задержку. Особенно это касается ПЛК / ПКА, который может быть занят выполнением другой задачи как раз в тот момент, когда необходимо выдать команду отсечки на питатели.



Рис. 28. Комбинированная система управления дозированием в составе ПЛК и весового терминала.

## Терминалы

Терминал — это важнейший компонент любой весоизмерительной системы. Он выдает напряжение питания на аналоговые датчики веса и принимает аналоговые выходные сигналы датчиков. Далее он осуществляет А/Ц преобразование, фильтрацию и обработку полученных значений массы, которые могут быть использованы для вывода на экран, для непосредственного управления технологическим процессом или для передачи другим устройствам.



Терминал IND570

### А/Ц преобразование и фильтрация

Аналого-цифровой преобразователь, как основной функциональный элемент системы, должен обладать высоким быстродействием, чтобы точно отслеживать динамику процесса наполнения и выдавать команду отсеки питателей в строго определенный момент времени. К несчастью, аналоговые сигналы содержат шумовые составляющие, обусловленные электромагнитными помехами и механическими вибрациями как от работающего поблизости оборудования — смесителей, насосов, уплотнителей — так и от самой системы наполнения.

Система TraxDSP™, разработанная в компании МЕТТЛЕР ТОЛЕДО, включает сверхбыстродействующий АЦП с частотой преобразования до 366 Гц, перестраиваемые многозвенные цифровые фильтры и защищенные патентами алгоритмы коррекции, позволяющие быстро и непрерывно отслеживать полезную составляющую сигналов датчиков веса. Параметры механических и электрических шумов (частота, амплитуда и т. д.) меняются от одной установки к другой. Система TraxDSP™ адаптируется к конкретным условиям эксплуатации, оптимизируя скорость, стабильность и точность работы, что позволяет достичь сверхвысокой внутренней частоты сравнения с номиналом, составляющей 50 Гц, и лучшей в своем классе точности выполнения операций наполнения и дозирования. TraxDSP™ входит в стандартную конфигурацию промышленных терминалов IND131, IND570 и IND780.



Внешний модуль ввода-вывода ARM100



### Дискретный ввод - вывод

Терминалы более высокого класса обеспечивают возможность использования встроенных и внешних функций дискретного ввода-вывода. Возможности встроенных интерфейсов ввода-вывода ограничены, но достаточны для управления простыми процессами наполнения и дозирования. Для управления более сложными системами многие модели терминалов позволяют также использовать внешние модули ввода-вывода, например, ARM100, выпускаемый METTLER TOLEDO.

### Интерфейсы

Развитые коммуникативные возможности — одно из основных требований в современном мире, поэтому терминалы позволяют использовать обширный набор стандартных и дополнительных интерфейсов, включая RS232/422/485, Ethernet TCP/IP и интерфейсы ПЛК, приведенные в таблице 3.

Интерфейсы ПЛК
• Аналоговый 4-20mA
• AB RIO
• ControlNet
• DeviceNet
• EtherNet/IP
• Modbus RTU
• Modbus TCP
• Profibus DP
• Profinet
• CC-Link

Таблица 3

### Терминал IND780batch

Терминал IND780batch METTLER TOLEDO соединяет в себе многочисленные функции управления с простотой конфигурирования в системах, использующих одновременно до четырех весов. Отличительные особенности и преимущества IND780batch:

- Соответствие требованиям стандарта ISA S88 в части протоколирования операций дозирования.
- До 40 входов и 56 выходов обеспечивают максимальную гибкость конфигурирования контура управления.
- Хранение в памяти до 1000 рецептов по 99 позиций в каждой с возможностью использования до 42 автоматически управляемых питателей для дозирования материалов.
- Конфигурируемые возможности перерасчета рецептуры и зацикливания рецептуры непосредственно в процессе обработки.
- Ручной, полуавтоматический и автоматический режимы работы с отображением заданных пользователем инструкций и упрощенными процедурами сбора данных.
- Утилита конфигурирования BatchTool 780, устанавливаемая на ПК, упрощает создание рецептов и заказов, регистрацию данных для отслеживания движения материалов, формирование отчетов по эксплуатации, настройку параметров безопасности и процедур резервного копирования и восстановления данных.
- Отображение информации о состоянии системы для поддержки расширенных функций диагностики



Терминал IND780

Комплектное решение Packaged IND780batch поддерживает работу одновесовой системы со следующими дополнительными функциями:

- Независимый полнофункциональный контроллер для систем дозирования.
- Логика для управления автоматической подачей 10 материалов, один выход управления сбросом остатка и один вспомогательный управляющий выход.
- Кнопки «Пуск / Продолжение» и «Пауза / Останов».
- Световые индикаторы состояния



Терминал IND780batch

### Контроллер IND780 Q.iMPACT

Терминал IND780 с высокоэффективным программным обеспечением Q.iMPACT для управления перемещением материалов представляет собой самый современный контроллер для систем дозирования и наполнения. Защищенные патентами алгоритмы упреждающего адаптивного управления в реальном масштабе времени создают математическую модель для каждой операции наполнения, автоматически определяя и корректируя все естественные отклонения параметров процесса. Использование простой однокоростной двухпозиционной схемы управления существенно упрощает систему и способствует снижению капитальных и эксплуатационных затрат. Простой однокоростной процесс наполнения оказывается быстрее и намного точнее по сравнению со стандартными схемами. Все эти преимущества позволяют повысить выход и обеспечить стабильное качество продукции при одновременном снижении капитальных затрат. Специальная утилита, устанавливаемая на ПК, упрощает настройку и конфигурирование системы.



Терминал IND780 Q.iMPACT

# 11 Химические реакторы

В следующих разделах обсуждается ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться при взвешивании химических реакторов. Некоторые из этих проблем характерны и для резервуарных весов, но в меньшей степени.



Рис. 29: Весоизмерительная емкость

## Типы реакторов и применимость весоизмерительной технологии

Реактор периодического действия представляет собой емкость, аналогичную показанной на рис. 29. Загрузка всех исходных материалов (реактантов, катализаторов и реагентов) завершается до запуска реакции, который в случае эндотермической реакции, например, производится путем повышения температуры реакционной смеси. В ходе реакции никакие вещества в реактор не добавляются и не выгружаются из него. Целевой и побочные продукты реакции выгружаются только после завершения реакции.

Реактор полунепрерывного действия работает аналогично реактору периодического действия: сначала в него загружают все исходные материалы за исключением одного реактанта. Затем добавляют оставшийся реактант в пропорции, определяющей скорость протекания реакции. В другом режиме работы реактора полунепрерывного действия загружают все исходные материалы, как и в реакторе периодического действия, но в ходе реакции производится регулируемая выгрузка продукта. В редких случаях реактор полунепрерывного действия может использоваться в комбинированном режиме — с добавлением реактанта и выгрузкой целевого или побочного продукта по ходу реакции.

Один из способов управления процессом по принципу измерения веса заключается во взвешивании исходных материалов в резервуарных весах с использованием описанных выше методов одновременного или последовательного дозирования с последующей выгрузкой их непосредственно в реактор.

Другой способ предполагает использование самого реактора в качестве весов с накопительным дозированием исходных материалов непосредственно в реактор. Весы, совмещенные с реактором полунепрерывного действия, можно также использовать для управления дозированием дополнительных реактантов или выгрузкой продукта в ходе реакции. Единственная трудность может возникнуть в том случае, если дозирование и выгрузка должны происходить строго одновременно.

Реактор непрерывного действия с мешалкой (РНДМ) по конструкции аналогичен реакторам периодического и полунепрерывного действия, но отличается тем, что добавление исходных материалов и выгрузка продуктов реакции по определению производятся непрерывно. Для управления такими реакторами, как и любыми другими реакторами, процессы в которых протекают в истинно непрерывном режиме, весоизмерительные технологии неприменимы.

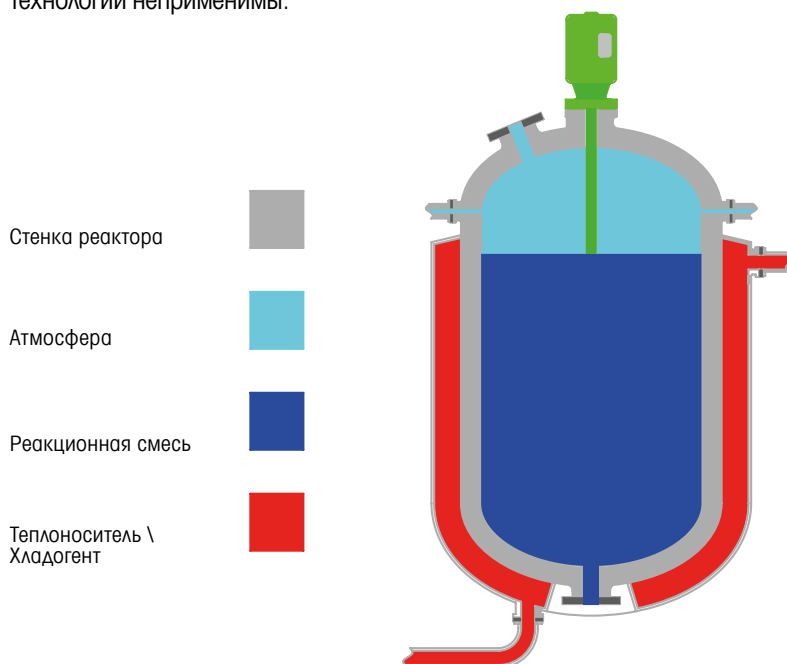


Рис. 30. Типичный реактор периодического действия в продольном сечении

## Собственный вес конструкции

На рис. 30 показан типичный реактор периодического действия в продольном сечении. Собственный вес конструкций реактора — величина, негативно влияющая на точность взвешивания — определяется рядом факторов. Эти факторы кратко описаны ниже.

1. Стенки реакторов, предназначенных для работы под высоким давлением, могут быть намного толще, чем у обычных емкостей. Кроме того, реакторы могут иметь эмалевую или керамическую футеровку, дополнительно увеличивающую вес конструкции.

2. Как правило, непосредственно на реакторах устанавливают мешалки. Вместе с фланцами, клапанами и прочей арматурой они могут вносить существенный вклад в общий вес конструкции.

3. В большинстве случаев реактор имеет змеевик или рубашку для нагрева / охлаждения (как показано на рис. 30). Рубашка, а особенно находящийся в ней теплоноситель, заметно увеличивают общий вес конструкции. В таких реакторах, как правило, предусматривают теплоизоляцию, защищенную дополнительной оболочкой из нержавеющей стали, что опять-таки повышает вес конструкции.

Собственный вес конструкций реактора в некоторых случаях может многократно превышать общий вес продукта, не говоря уже о компонентах, добавляемых в небольших массовых долях. METTLER TOLEDO производит датчики веса и весовые модули с НПВ до 600 т и выше, поэтому сам по себе большой вес не составляет проблемы, однако в результате ухудшается точность взвешивания, особенно для компонентов с малыми массовыми долями.

Рассчитывая требуемое значение НПВ весов, датчиков веса или весовых модулей, необходимо учесть все описанные выше факторы.

## Системы, содержащие несколько флюидных сред

При взвешивании реактора, например при первоначальном дозировании исходных материалов, интерес представляет вес реакционной смеси. Однако одновременно весы взвешивают еще несколько флюидных сред, и если их масса в процессе взвешивания меняется, неизбежно возникнут ошибки.

### Теплоноситель \ Хладагент

Любые изменения массы теплоносителя / хладагента на весах в процессе взвешивания непосредственно влияют на точность результатов. Учитывая возможные температурные перепады в реакторах, эти изменения могут быть достаточно значительными. Необходимо принять во внимание изменение внутреннего объема змеевика или рубашки, а также изменение плотности теплоносителя под действием температуры. В системах с паровым подогревом условия образования конденсата должны оставаться постоянными на протяжении всего процесса взвешивания.

### Атмосфера

Во многих случаях для увеличения скорости реакции в реакторах поддерживают повышенное давление. В связи с этим необходимо учитывать изменение веса атмосферы над реакционной смесью в процессе взвешивания. Например, плотность воздуха, которая при температуре 21 °С и избыточном давлении 0 Па равна 1,2 кг/м<sup>3</sup> при повышении избыточного давления до 6895 кПа увеличится до 83 кг/м<sup>3</sup>. Разумеется, плотность газа зависит и от температуры. Кроме того, в герметичных системах некоторые специфические проблемы создает трубная обвязка. Как было указано выше, присоединение трубопроводов к резервуарам и емкостям желательно производить через гибкие соединительные секции или компенсаторы теплового расширения. Однако при изменениях давления эти элементы работают как пневмоцилиндры, создающие дополнительную нагрузку на весы. Особенно неблагоприятная ситуация возникает в том случае, если гибкие соединительные секции или компенсаторы теплового расширения установлены на вертикальных участках труб, присоединенных к емкости. Дополнительную информацию см. в [1].



Верхняя часть реактора проходит через отверстие в межэтажном перекрытии. Боковой зазор в отверстии обеспечивает свободное движение реактора.



Нижняя часть реактора, установленного на весовых модулях сжатия.

Некоторые реакции протекают с выделением газов. Если эти газы отводятся из реактора, регистрируемый вес будет соответственно снижаться.

В полунепрерывных процессах с подачей газообразного реактанта в реакционную смесь необходимо учитывать еще один эффект. Как правило, газ подают с избытком, а непрореагировавшую часть непрерывно отводят из реактора. Очевидно, что прирост массы реакционной смеси будет равен разности масс поданного и отведенного газов.

## Температура

Датчики веса реагируют на температурные перепады смещением нулевой точки и изменением коэффициента передачи. При изготовлении датчиков принимаются меры для компенсации температурной зависимости характеристик, и датчики веса, сертифицированные для коммерческого использования, подвергаются регулировке с крайне жесткими допусками. Тем не менее, полностью устранить температурную зависимость характеристик не удастся, поэтому во всех случаях имеет смысл максимально ограничивать перепады температур, действующие на датчики веса. Кроме того, в документации на каждый датчик веса оговаривается «Рабочий диапазон температур», за пределами которого характеристики датчика могут ухудшиться либо он может выйти из строя. С этой точки зрения также целесообразно ограничить перепады температур, которым подвергаются датчики.

Этот фактор особенно важен для реакторов, которые во многих случаях работают далеко не при комнатных температурах. На рис. 31 показана наименее рекомендуемая схема монтажа с точки зрения длины пути передачи тепла к датчикам веса; на рис. 32 и 33 показаны более удачные решения с увеличенной длиной пути передачи тепла.

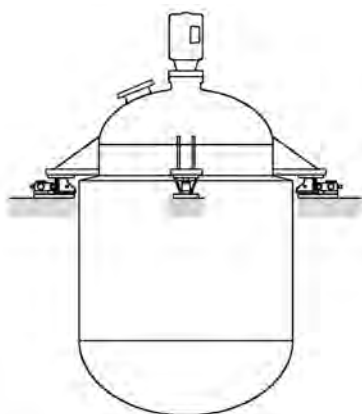


Рис. 31. Реактор, установленный на весовых модулях сжатия в сквозном отверстии перекрытия

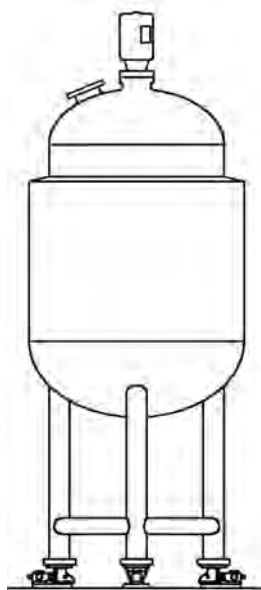


Рис. 32. Реактор с усиленными опорами, установленный на весовых модулях сжатия.

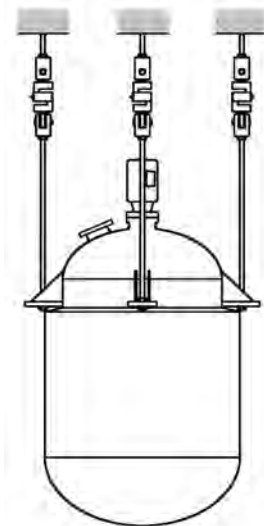


Рис. 33. Реактор, подвешенный на тросах через весовые модули растяжения.

Для своих весовых модулей МЕТТЛЕР ТОЛЕДО предоставляет теплоизолирующие прокладки, которые следует использовать при необходимости монтажа реактора по схеме, показанной на рис. 31. Прокладки устанавливают между верхней плитой модуля и опорой реактора для снижения теплопередачи. Кроме того, датчики веса следует устанавливать на максимальном расстоянии от входного патрубка теплоносителя / хладагента, поскольку это, как правило, самая горячая / холодная точка на корпусе реактора. В общем случае, если датчик веса подвергается лучистому нагреву, его можно защитить простейшим металлическим экраном.

## Вибрация

Как показано на рис. 34, непременная принадлежность реактора — это мешалка, и в некоторых случаях она может быть несоразмерно велика. Колебания и вибрации от мешалки передаются на весы, что приводит к зашумлению сигналов датчиков и ухудшению точности взвешивания. Для улучшения ситуации можно рекомендовать следующие меры.

1. Если возможно, выключайте мешалку на время взвешивания.
2. Если подвеска весовых модулей самоустанавливающегося типа, используйте горизонтальные стабилизаторы для успокоения колебаний весов. Для некоторых моделей весовых модулей МЕТТЛЕР ТОЛЕДО стабилизаторы поставляются в качестве дополнительных принадлежностей.
3. Используйте амортизационные прокладки, которые МЕТТЛЕР ТОЛЕДО поставляет для большинства моделей весовых модулей. Прокладки устанавливают между верхней плитой весового модуля и опорой весов.
4. Используйте терминал МЕТТЛЕР ТОЛЕДО с поддержкой технологии TraxDSP, описанной выше.

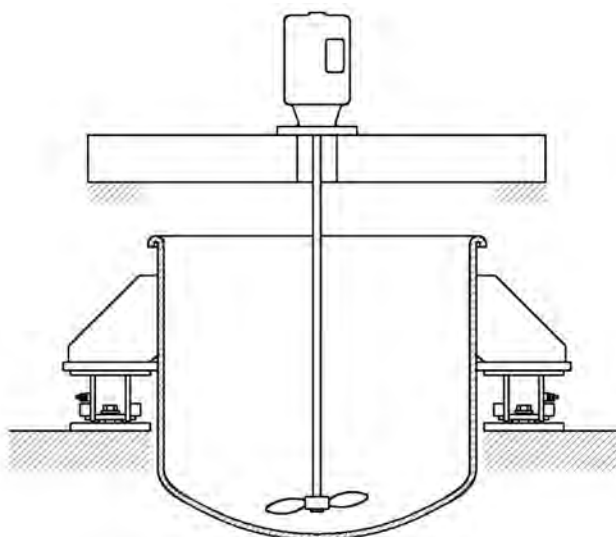


Рис. 34. Независимый монтаж мешалки

Если емкость (как правило, это не реактор) оборудована мешалкой, смонтированной на независимом основании, как показано на рис. 34, на емкость может передаваться значительный крутящий момент, что негативно повлияет на точность взвешивания. В этом случае важно использовать тангенциальные стабилизаторы для успокоения весов.

Дополнительную информацию о мешалках, борьбе с вибрацией и т. д. см. в [1].

# Сертификационные требования

Зона в непосредственной близости от системы дозирования во многих случаях классифицируется как взрывоопасная из-за горючих паров или пыли, попадающих в атмосферу в процессе дозирования. МЕТТЛЕР ТОЛЕДО выпускает полную линейку продуктов, удовлетворяющих требованиям международных стандартов к электрическому оборудованию для эксплуатации во взрывоопасных зонах. Многие модели датчиков веса МЕТТЛЕР ТОЛЕДО поставляются с соответствующими сертификатами. Кроме того, принадлежности для многих моделей весовых модулей и датчиков веса в стандартном исполнении удовлетворяют требованиям стандарта EN к неэлектрическому оборудованию, предназначенному для эксплуатации во взрывоопасных зонах (см. [10]). МЕТТЛЕР ТОЛЕДО рекомендует также ряд источников, содержащих полезную информацию по выбору оборудования для эксплуатации во взрывоопасных зонах (см. [9], [11], [12] и [13]). Используйте ссылку [www.mt.com/webinar](http://www.mt.com/webinar) или [www.mt.com/hazardous](http://www.mt.com/hazardous), чтобы получить доступ к вебинарам.

В определенных случаях характеристики весоизмерительного оборудования должны удовлетворять требованиям национальных и международных норм, особенно если оно используется для приемки-сдачи продукции. МЕТТЛЕР ТОЛЕДО предлагает полную линейку продуктов, сертифицированных для коммерческого использования в соответствии с международными стандартами. Все датчики веса могут поставляться с соответствующими сертификатами (см. [6]) или: [www.mt.com/ind-weighing-component-catalog](http://www.mt.com/ind-weighing-component-catalog).



# Список литературы

1. Системы весовых модулей, справочник, METTLER TOLEDO AG.  
[www.mt.com/ind-system-handbook](http://www.mt.com/ind-system-handbook)
2. Точное взвешивание на резервуарных весах, METTLER TOLEDO AG.
3. Универсальные весовые модули, METTLER TOLEDO AG.
4. Технологии взвешивания, METTLER TOLEDO AG.
5. Сравнение весовых модулей PowerMount™ с аналоговыми весовыми модулями, METTLER TOLEDO AG.
6. Компоненты для весоизмерительных систем, каталог, METTLER TOLEDO AG.
7. Совершенная система дозирования, METTLER TOLEDO AG.
8. Понимание системы дозирования, METTLER TOLEDO AG.
9. Взвешивание во взрывоопасных зонах, каталог, METTLER TOLEDO AG.
10. EN 13463-1, Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres – Part 1: Basic method and requirements, CEN
11. Process Safety with Intrinsically Safe Weighing Solutions, METTLER TOLEDO AG.
12. Вебинар “Взвешивание во взрывоопасных зонах” (начальный уровень), METTLER TOLEDO AG.
13. Вебинар “Взвешивание во взрывоопасных зонах” (продвинутый уровень), METTLER TOLEDO AG.





# Полный спектр компонентов для весоизмерительных систем

Полный спектр датчиков веса охватывает диапазон НПВ от 11 г до 300 т. Наименьшая дискретность отсчета составляет 0,001 мг. Линейка электронных устройств включает весовые терминалы, предназначенные для установки в щитах управления, и приборы для монтажа в шкафах автоматики на рейке DIN. Различные модификации устройств обеспечивают возможность интеграции в информационно-управляющие системы с помощью аналоговых или последовательных интерфейсов, включая Profibus DP, Profi-net IO, Ethernet IP, Modbus, CC-Link, DeviceNet или ControlNet. Вся номенклатура подробно представлена на двухстах страницах с чертежами и инструкциями по установке.



Вы можете загрузить каталог в формате PDF по ссылке

► [www.mt.com/weighing-component-catalog](http://www.mt.com/weighing-component-catalog)

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

Дополнительная информация

## АО "Меттлер Толодо Восток"

101000, Россия, Москва  
Сретенский б-р., 6\1, офис 6  
Тел.: +7 495 777-70-77

Возможны изменения  
технических характеристик  
©09/2016 Mettler-Toledo GmbH  
Отпечатано в России