

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 1.	Крепление датчика на первичную шину ИЛИ с помощью крепежных ушек на корпусе	1
Рис. 2.	Горизонтальный ИЛИ вертикальный монтаж датчика	2
Рис. 3.	Неудачное расположение области первоначального контакта между датчиком LEM и опорным элементом	2
Рис. 4.	Повреждение крепежного ушка датчика LEM из-за ненадлежащей конструкции опорного элемента	2
Рис. 5.	Последствия использования опорного элемента с локальной выемкой в окрестности головки винта	3
Рис. 6.	Недостаточная площадь поверхности контакта с опорным элементом в окрестности головки винта	3
Рис. 7.	Неплоская поверхность опорного элемента в окрестности головки винта: примеры	3
Рис. 8.	Неперпендикулярность оси крепежного винта к поверхности контакта датчика с опорным элементом	4
Рис. 9.	Рекомендации по выбору шайб для непосредственного крепления датчиков LEM винтами через пластмассовые ушки на корпусе	4
Рис. 10.	Пример винта с подголовником большого диаметра, выполняющим функцию шайбы	5
Рис. 11.	Риск при креплении с применением пружинных шайб	5
Рис. 12.	Ослабление момента затяжки через 500 ч при 23 °C в случае использования самоконтращейся гайки или пружинной шайбы	6
Рис. 13.	Ослабление момента затяжки при 23 °C и использовании стандартного винта с метрической резьбой по ISO и плоской шайбы	7
Рис. 14.	Коррозия соединений вторичной цепи датчика при неудачном выборе материала гаек	8
Рис. 15.	Таблица гальванической совместимости металлов	9

## Общие правила монтажа датчиков LEM

### 1. Введение

В настоящем указании по применению изложены правила монтажа датчиков тока LEM в конструируемых изделиях. Соблюдение этих правил обеспечит качественное крепление датчиков и хорошую их работу на протяжении срока службы.

Этот документ целиком посвящен вопросам механического крепления датчиков, а выполнение электрических соединений, электромагнитная совместимость и другие факторы выходят за рамки рассматриваемой здесь тематики.

### 2. Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления

Чтобы идеально жестко (неподвижно) закрепить твердое тело, достаточно ограничить его движение по шести степеням свободы. Например, задав положение одной точки (в трехмерном пространстве) и ориентацию тела (три угла поворота), можно точно определить положение тела в пространстве.

Теоретически, если ограничены не все шесть степеней свободы, система является гипостатической, и в ней возможны определенные формы движения. Если ограничено более шести степеней свободы, система является гиперстатической — иными словами, на нее наложено больше ограничений, чем необходимо для жесткого крепления. Это чревато избыточными механическими напряжениями в системе.

Чтобы этого избежать, рекомендуется монтировать датчики LEM с использованием только одной системы крепления. Действительно, некоторые датчики могут крепиться как горизонтально, так и вертикально, с помощью крепежных ушек на корпусе или на токовой шине. Но для каждого датчика необходимо ограничиться каким-то одним из этих способов, как показано на рисунке ниже.



Рис. 1. Крепление датчика к пластине с помощью отверстий в токовой шине или крепежных ушек на корпусе



Рис. 2. Способы крепления датчика: горизонтальный ИЛИ вертикальный

### 3. Требования к конструкции опорного элемента

В этом разделе изложены общие требования к конструкции опорного элемента, на котором крепится датчик LEM. Соблюдение этих требований позволит избежать ряда непредвиденных ситуаций.

Основное требование состоит в том, чтобы при затягивании крепежных винтов непосредственному сжатию подвергался максимально возможный объем пластмассы. Это способствует равномерному распределению механических напряжений. Чем выше эти напряжения, тем выше риск ползучей деформации (постепенного ослабления крепежных винтов). Прежде всего, опорный элемент должен быть как можно более плоским, и датчик должен с ним соприкасаться главным образом в окрестности крепежных винтов. Если до затягивания винтов датчик соприкасается с опорным элементом не крепежными ушками, а какими-то другими поверхностями (из-за неровностей в других местах), ушки могут быть повреждены, так как до прижатия винтами они подвергнутся изгибу в процессе затягивания:



Рис. 3. Неудачное расположение области первоначального контакта между датчиком LEM и опорным элементом

Еще одно требование к опорному элементу — максимальная площадь области первоначального контакта между опорным элементом и крепежными ушками в окрестности зоны прижима крепежных винтов. На следующем рисунке показано, к чему может привести использование опорного элемента с локальной выемкой, расположенной ниже поверхности контакта.



Рис. 4. Повреждение крепежного ушка датчика LEM из-за ненадлежащей конструкции опорного элемента

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 1.	Крепление датчика на первичную шину ИЛИ с помощью крепежных ушек на корпусе	1
Рис. 2.	Горизонтальный ИЛИ вертикальный монтаж датчика	2
Рис. 3.	Неудачное расположение области первоначального контакта между датчиком LEM и опорным элементом	2
Рис. 4.	Повреждение крепежного ушка датчика LEM из-за ненадлежащей конструкции опорного элемента	2

Иллюстрированная выше проблема наблюдалась при меньшем значении момента затяжки, чем рекомендованное в технических характеристиках датчика LEM. Пояснением могут служить следующие рисунки:

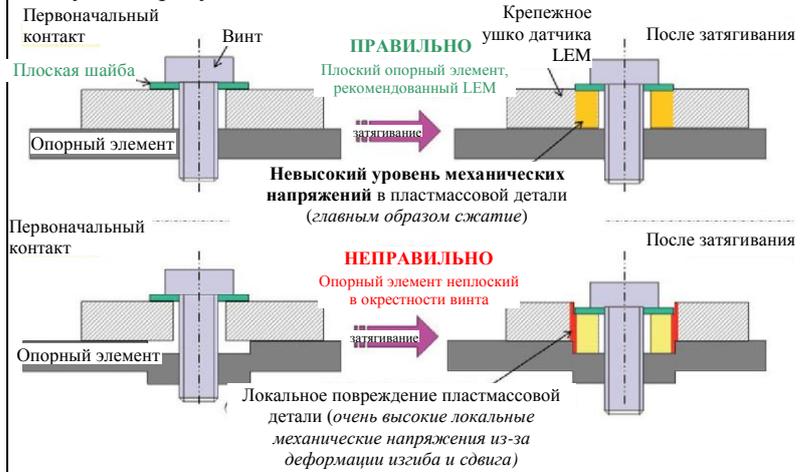


Рис. 5. Последствия использования опорного элемента с локальной выемкой в окрестности головки винта

Практический пример описанной выше конфигурации — опорный элемент из листового металла, к которому приварена или прикреплена гайка (см. рис. 7). В обоих случаях поверхность непосредственного контакта между крепежным ушком датчика LEM и гайкой находится ниже уровня поверхности металлического листа. Поверхность непосредственного контакта крепежного ушка датчика с опорным элементом должна быть по размерам не меньше шайбы, подложенной под головку винта (см. рис. 6). При использовании гайки для запрессовки типа Rivkle (см. рис. 7) могут возникнуть аналогичные проблемы.



Рис. 6. Недостаточная площадь поверхности контакта с опорным элементом в окрестности головки винта

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 5.	Последствия использования опорного элемента с локальной выемкой в окрестности головки винта	3
Рис. 6.	Недостаточная площадь поверхности контакта с опорным элементом в окрестности головки винта	3
Рис. 7.	Неплоская поверхность опорного элемента в окрестности головки винта: примеры	3

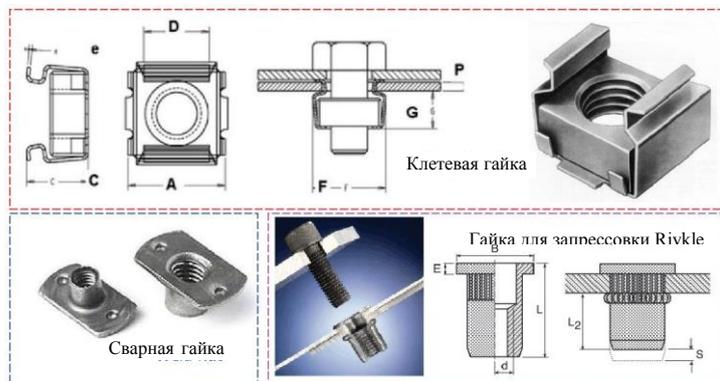


Рис. 7. Неплоская поверхность опорного элемента в окрестности головки винта: примеры

Последняя ошибка, которой следует избегать при проектировании опорного элемента — неперпендикулярность оси винта к поверхности контакта. В этом случае распределение механических напряжений вокруг крепежного отверстия будет весьма неравномерным, что приведет к повреждению пластмассового крепежного ушка.

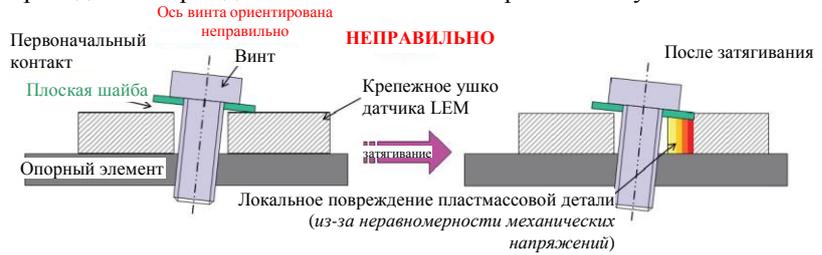


Рис. 8. Неперпендикулярность оси крепежного винта к поверхности контакта датчика с опорным элементом

Подводя итоги, следует подчеркнуть, что опорный элемент должен быть максимально плоским. Если это невозможно, необходимо очень тщательно продумать крепление гаек, чтобы ограничить деформацию крепежных ушек на неплоской поверхности под давлением затянутых винтов.

#### 4. Выбор крепежа

Правильно выбранный крепеж позволит смонтировать датчики LEM без повреждения крепежных ушек и максимально равномерно распределить механические напряжения в окрестности винтов для снижения риска ползучей деформации.

Прежде всего, для минимизации механических напряжений под головками винтов важно, чтобы давление винта распределялось по максимальной площади пластмассовой детали. Поэтому необходимо в обязательном порядке использовать шайбы: диаметр головок стандартных винтов недостаточен для этой цели.

Назначение шайбы — равномерно распределять механические напряжения при затягивании винта, поэтому контактная поверхность шайбы не должна иметь значительно выступающих участков малой площади (например, острых краев). Для винтового крепления датчиков через пластмассовые крепежные ушки рекомендуется применять только плоские круглые шайбы (минимально рекомендуемый размер соответствует серии M по стандарту NF E25-514).

На приведенном ниже рисунке надписями «НЕПРАВИЛЬНО» помечены примеры неподходящих шайб, которые не должны непосредственно контактировать с пластмассовыми деталями датчиков LEM.



Рис. 9. Рекомендации по выбору шайб для непосредственного крепления датчиков LEM винтами через пластмассовые ушки на корпусе

#### Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

#### Перечень иллюстраций

Рис. 8. Неперпендикулярность оси крепежного винта к поверхности контакта датчика с опорным элементом	4
Рис. 9. Рекомендации по выбору шайб для непосредственного крепления датчиков LEM винтами через пластмассовые ушки на корпусе	4

Теоретически вместо функцию шайбы может выполнять винт с головкой большого диаметра, как показано на следующем рисунке. Но лучше разделить функции винта и шайбы, так как при использовании такого винта на крепежное ушко будут непосредственно действовать силы трения (под воздействием крутящего момента).

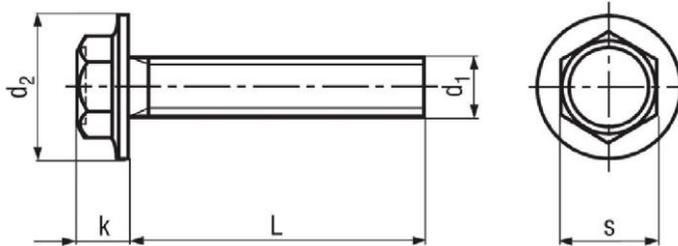


Рис. 10. Пример винта с головкой большого диаметра, выполняющей функцию шайбы

Иногда к плоской шайбе во избежание самоотвинчивания добавляют разрезную или стопорную шайбу (главным образом при креплении стальных или чугунных деталей). Использование очень жесткой упругой шайбы при креплении пластмассовой детали влечет некоторый риск, как показано ниже:



## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 10.	Пример винта с подголовником большого диаметра, выполняющим функцию шайбы	5
Рис. 11.	Риск при креплении с применением пружинных шайб	5

Более того, действие такой шайбы основано на том, что усилие растяжения, непосредственно связанное с ослаблением момента затяжки резьбового соединения, не меняется со временем. Это справедливо для металла, но пластмассы в гораздо большей степени подвержены ползучей деформации. Поэтому даже при наличии дополнительной стопорной шайбы момент затяжки будет с течением времени уменьшаться. Мы не рекомендуем использовать стопорные шайбы, так как они не слишком эффективны в случае пластмасс (см. рис. 11).



Рис. 11. Риск при креплении с применением пружинных шайб

Еще один способ предотвратить самоотвинчивание — использовать самоконтрающиеся гайки или винты. Принцип их действия основан на добавлении материала с высоким коэффициентом трения в зоне резьбы. Даже при ползучей деформации пластмассы крутящий момент ослабления резьбового соединения остается выше, чем в варианте со стопорной шайбой.

На следующем рисунке приведены графики ослабления момента затяжки при креплении типового датчика LEM винтом через крепежное ушко для двух начальных значений крутящего момента (1 или 3 Н•м):

- со «стандартной» плоской шайбой,
- с плоской шайбой стандарта NF и стопорной шайбой,
- с плоской шайбой стандарта NF и самоконтращейся гайкой.

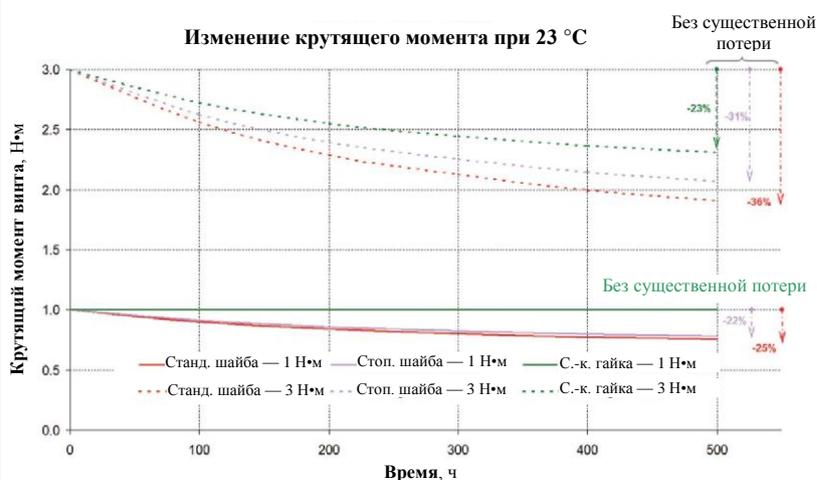


Рис. 12. Ослабление момента затяжки через 500 ч при 23 °C в случае использования самоконтращейся гайки или пружинной шайбы

Как можно видеть, самоконтращаяся гайка Nilstop гораздо эффективнее помогает предотвратить ослабление резьбового соединения пластмассовых деталей, чем стопорная шайба. Стопорная шайба противодействует самоотвинчиванию за счет упругой реакции под головкой винта, но самоотвинчивание происходит по причине ползучей деформации пластмассы: ее жесткость уменьшается со временем.

Стопорная шайба очень в малой степени влияет на риск самоотвинчивания. Самоконтращаяся гайка работает иначе: она порождает крутящий момент трения, обусловленный контактом с эластомерным покрытием в зоне нарезки, на который не оказывает непосредственного влияния ползучая деформация крепежного ушка. Наконец, можно утверждать, что чем больше площадь поверхности контакта между шайбой и пластмассовой деталью, тем выше максимальный момент затяжки. Даже упрощенный одномерный подход показывает, что максимальный момент затяжки примерно пропорционален площади контакта.

Поэтому один из способов повысить допустимый момент затяжки на 50 % — увеличить площадь сжимаемой поверхности (т. е. поверхности контакта между плоской шайбой и пластмассовым крепежным ушком) в той же пропорции.

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 12.	Ослабление момента затяжки через 500 ч при 23 °C в случае использования самоконтращейся гайки или пружинной шайбы	6
----------	---	---

## 5. Крутящий момент затяжки винта

В этом разделе даются пояснения к рекомендуемым значениям крутящего момента затяжки, приведенным в технических характеристиках датчиков LEM.

Прежде всего, можно указать, что этот момент должен быть ниже максимально допустимой величины, чтобы избежать повреждения крепежного ушка после монтажа, но необходимо также учитывать минимальное значение момента, при котором датчик достаточно прочно зафиксирован на опорном элементе.

Крутящий момент, приложенный к винту, должен соответствовать рекомендуемому значению, указанному в технических характеристиках датчика, причем фактическое его значение ни в коем случае не должно превышать максимально рекомендуемого значения. При использовании динамометрических ключей с допуском  $\pm 20\%$  этот допуск необходимо учесть при установке крутящего момента. Например, если рекомендуемое значение крутящего момента, указанное в технических характеристиках, равно  $2,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$  ( $\pm 10\%$ ), номинальный крутящий момент динамометрического ключа не должен превышать максимально рекомендуемого значения (т. е.  $2,42 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ), деленного на 1,2. В данном случае номинальный крутящий момент динамометрического ключа должен быть не более  $2,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Рекомендуемый эффективный крутящий момент затяжки должен быть меньше максимального момента. Затягивать винт, крепящий пластмассовую деталь, с максимальным крутящим моментом не обязательно, поскольку из-за ползучей деформации это не позволит предотвратить самоотвинчивание. Поэтому приближаться к верхнему пределу не требуется.

Как можно видеть из приведенной ниже иллюстрации, чем сильнее затянут винт, тем значительнее затем ослабление момента затяжки.

### Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

### Перечень иллюстраций

Рис. 13.	Ослабление момента затяжки в случае использования стандартного винта с метрической резьбой по ISO и плоской шайбы при $23^\circ\text{C}$	7
----------	--	---

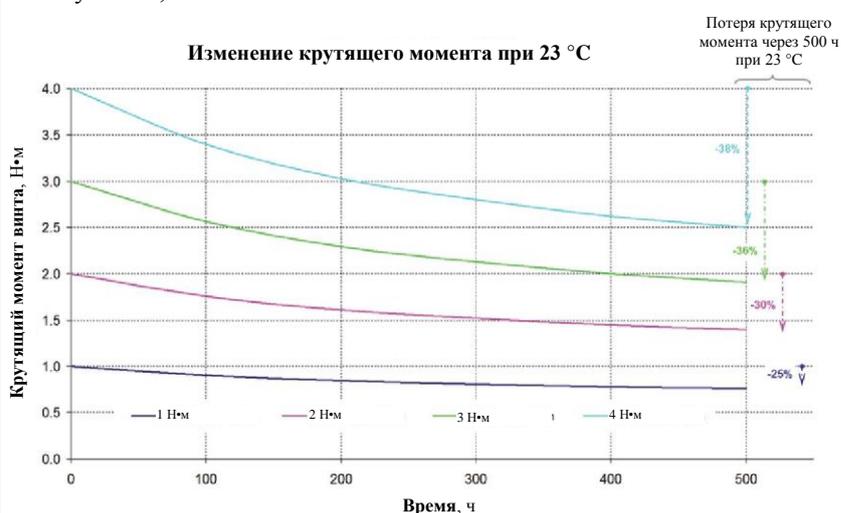


Рис. 13. Ослабление момента затяжки в случае использования стандартного винта с метрической резьбой по ISO и плоской шайбы при  $23^\circ\text{C}$  для разных значений начального крутящего момента

Если глубже проанализировать это явление, можно выделить в качестве важной характеристики максимально допустимое значение локального давления на пластмассовое крепежное ушко.

Это значение непосредственно зависит от свойств термопластика, из которого изготовлен корпус датчика. Наконец, максимальное значение крутящего момента, приведенное в технических характеристиках, соответствует максимально допустимому давлению под головкой винта.

Рекомендуемое значение крутящего момента, приведенное в технических характеристиках, соответствует предельно допустимому значению механического напряжения в пластмассе при следующих условиях:

- 1) Используются стандартные винты с метрической резьбой по ISO, указанные в техпаспорте. Действительно, имеется тесная связь между приложенным крутящим моментом, усилием растяжения винта и шагом резьбы (см. уравнение Келлермана и Кляйна).
- 2) Используется стандартная «нормальная» плоская шайба по ISO, соответствующая диаметру винта.

К применению другого крепежа (с неметрической резьбой, с другими типами шайб) следует подходить крайне осмотрительно. В этом случае максимальное значение крутящего момента, приведенное в техпаспорте, неприменимо.

В этом случае оценка максимального значения крутящего момента производится опытным путем, медленно затягивая вручную винт до появления видимого отпечатка от шайбы на пластмассе.

Другим способом оценить это значение теоретически можно методом оценки эквивалентности параметров винтов различных систем (упрощенный одномерный подход).

## 6. Совместимость материалов

Использование элементов резьбового соединения, изготовленных из неодинаковых материалов, может привести к гальванической коррозии.

В самом деле, каждый материал характеризуется своим электродным потенциалом. Контакт двух металлов или сплавов с существенно различными электродными потенциалами в среде электролита, каковым может считаться влажный воздух, может вызвать коррозию, как показано на рис. 14:



Рис. 14. Коррозия соединений вторичной цепи датчика при неудачном выборе материала гаек

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 14.	Коррозия соединений вторичной цепи датчика при неудачном выборе материала гаек	8
----------	--	---

Испытание, которому подверглись корродированные детали, изображенные на рис. 14, — это воздействие соляного тумана (содержание NaCl 5 %). Данная фотография была сделана всего через 4 дня испытания. Все крепежные элементы были изготовлены из никелированной латуни, кроме круглых шлицевых гаек, которые были из оцинкованной вороненой стали.

При беглом взгляде на таблицу (рис. 15) легко заметить, что разность потенциалов между никелем и цинком (двумя материалами покрытий) значительна — около 950 мВ. По распространенной практике максимально допустимая разность потенциалов в условиях воздействия соляного тумана принимается равной приблизительно 250 мВ.

Катод	Анод										
	Матний	Цинк	Алюминий	Кадмий	Олово	Железо, сталь	Хром	Латунь	Медь, бронза	Никель, монель	Нержавеющая сталь
Цинк	0,50										
Алюминий	0,83	0,33									
Кадмий	0,80	0,30	0,02								
Олово	1,10	0,60	0,28	0,30							
Железо, сталь	0,90	0,40	0,08	0,10	0,20						
Хром	1,15	0,65	0,33	0,35	0,05	0,25					
Латунь	1,35	0,85	0,53	0,55	0,25	0,45	0,20				
Медь, бронза	1,35	0,85	0,53	0,55	0,25	0,45	0,20				
Никель, монель	1,15	0,95	0,63	0,65	0,35	0,55	0,30	0,10	0,10		
Нержавеющая сталь	1,40	0,80	0,58	0,60	0,30	0,50	0,25	0,05	0,05	0,05	
Серебро	1,80	1,30	0,78	0,80	0,50	0,70	0,45	0,25	0,25	0,15	0,20

1. Для деталей, подвергающихся воздействию соляного тумана или водного раствора соли, следует выбирать металлы с разницей потенциалов менее 0,25 В.

2. В условиях, когда деталь может подвергаться воздействию высокой влажности, но без содержания соли во влаге, разность потенциалов не должна превышать 0,45 В.

Рис. 15. Таблица гальванической совместимости металлов

В заключение важно отметить, что все зажимы и крепежные элементы датчиков LEM выполнены из никелированной латуни.

Выбирая крепеж для монтажа датчиков LEM, необходимо обеспечивать гальваническую совместимость его материалов как с никелем, так и с латунью (на случай локального повреждения никелевого покрытия), чтобы избежать коррозии. Лучше всего для этой цели, разумеется, использовать крепеж из никелированной латуни.

## 7. Рекомендации компании LEM

- Идеально плоский массивный опорный элемент под зоной прижима винтов.
- Области контакта датчика LEM с опорным элементом — только в зоне крепежных ушек.
- Крепежные винты с метрической резьбой по ISO.
- Использование стандартных плоских шайб (минимальный диаметр по ISO 7089).
- Соблюдение рекомендуемого значения крутящего момента затяжки (с учетом допусков, указанных в технических характеристиках датчика и динамометрического ключа).

При несоблюдении этих рекомендаций значения крутящего момента затяжки, указанные в технических характеристиках, неприменимы.

## Содержание

1	Введение	1
2	Теоретико-механические основы и критерии выбора метода крепления	1
3	Требования к конструкции опорного элемента	2
4	Выбор крепежа	4
5	Крутящий момент затяжки винта	7
6	Совместимость материалов	8
7	Рекомендации компании LEM	9

## Перечень иллюстраций

Рис. 15.	Таблица гальванической совместимости металлов	9
----------	---	---