

Технологія, принцип дії, впровадження Тензодатчики



Зміст

1.	Вступ	4
2.	Принцип роботи тензодатчиків.....	5
2.1.	Про тензодатчики	5
2.2.	Основи тензодатчиків	5
2.3.	Схема моста Уїтстона	6
2.4.	Застосування в тензодатчиках	6
3.	Типи тен	8
3.1.	Одноточкові тензодатчики	8
3.2.	Тензодатчики з вигином балки.....	10
3.3.	Тензодатчики з зсувною балкою.....	12
3.4.	Тензодатчики S-типу.....	16
3.5.	Тензодатчики стискання колон	17
3.6.	Низькопрофільні тензодатчики стиснення	20
3.7.	Навантажувальні штифти	23
4.	Технічні характеристики тензодатчиків.....	26
4.1.	Технічні характеристики метрологічного контролю	26
4.2.	Технічні характеристики місткості	28
4.3.	Метрологічні характеристики.....	29
4.4.	Електричні характеристики.....	30
4.5.	Рівень захисту навколишнього середовища	31
5.	Проектування системи зважування	32
5.1.	Стискання проти розтягування.....	32
5.2.	Комплекти для монтажу на стискання.....	33
5.3.	Ефективність системи зважування	38
5.4.	Скільки тензодатчиків?.....	39
5.5.	Можливості системи зважування.....	40
5.6.	Визначення точності системи	41
5.7.	Розташування тензодатчика.....	44
5.8.	Введення навантаження	46
5.9.	Цілісність конструкції.....	47
5.10.	Пристрої запобігання підняттю	50
5.11.	Пристрої стабілізації.....	51
5.12.	Поворотна система зважування	54
5.13.	Трубопровідні з'єднання	56
5.14.	Фактори навколишнього середовища	58
5.15.	Калібрування.....	63
6.	Електрична проводка.....	66
6.1.	Загальні міркування	66
6.2.	4-провідтензодатчики	66
6.3.	Підключення декітензодатчиків	67
6.4.	Подовження кабелю.....	68
6.5.	Заземлення та екранування	68
7.	Усунення несправностей тензодатчиків	69
7.1.	Загальні відомості	69
7.2.	Процедура випробування тензодатчика	70
8.	Додатки.....	73
8.1.	Що можна робити з тензодатчиками (&) Що не можна робити з	73
8.2.	Захист відповідно до EN60529	74
8.3.	Клас захисту IP69K згідно з DIN40050	74
8.4.	Таблиця корозійної стійкості.....	75
8.5.	Інструкції з безпеки	76
Примітки	77	

1. Вступ

Мета цього посібника — надати вам загальну інформацію про різні типи тензодатчиків та допомогти у розробці найбільш ефективної та дієвої системи зважування, що відповідатиме вашим конкретним вимогам.

Тензодатчики призначені для вимірювання сили або ваги в найрізноманітніших несприятливих умовах; вони є не тільки найважливішою частиною електронної вагової системи, але й найбільш вразливою.

Щоб отримати максимальну користь від тензодатчика, користувач повинен добре розуміти технологію, конструкцію та принцип роботи цього унікального пристрою. Крім того, користувач повинен вміти підібрати тензодатчик, що підходить для конкретного застосування, та забезпечувати його належне обслуговування протягом усього терміну експлуатації.

Вибір тензодатчика для безперебійної роботи полягає, головним чином, у виборі відповідної номінальної навантаження, класу точності та ступеня захисту від впливу навколишнього середовища. Слід також враховувати, що певний принцип вимірювання може мати очевидні переваги з точки зору стійкості до перевантаження або простоти монтажу.

Якщо у вас виникнуть будь-які питання на будь-якому етапі проектування вашої системи зважування, будь ласка, звертайтеся до нас за допомогою. У SCAIME ми прагнемо надати вам саме те, що вам потрібно, саме тоді, коли це потрібно.

Символи, що використовуються в цьому посібнику

У цьому посібнику для виділення певних частин тексту можуть використовуватися такі символи:



- **Попередження про потенційно небезпечну ситуацію:** недотримання інструкцій може призвести до пошкодження майна та/або травмування.



- **Вказує на корисну інформацію:** означає, що надаються поради або важлива інформація про виріб або поводження з ним.

2. Принцип роботи тензодатчиків

2.1. Про тензодатчики

Тензодатчики вимірюють механічну силу та генерують напругу, пропорційну цій силі.

Тензодатчик вимірює масу в діапазоні від нуля до заявленої номінальної навантаження. Ця маса виражається в одиницях ваги (грамах, кілограмах або тоннах). Точність тензодатчика зазвичай вказується у відсотках від загальної номінальної потужності. Наприклад, якщо тензодатчик на 100 кг має загальну точність $\pm 0,03\%$, то він вимірюватиме вагу від нуля до 100 кг з точністю ± 30 грамів у найгіршому випадку. Це стосується як ваги 5 кг, так і 95 кг.

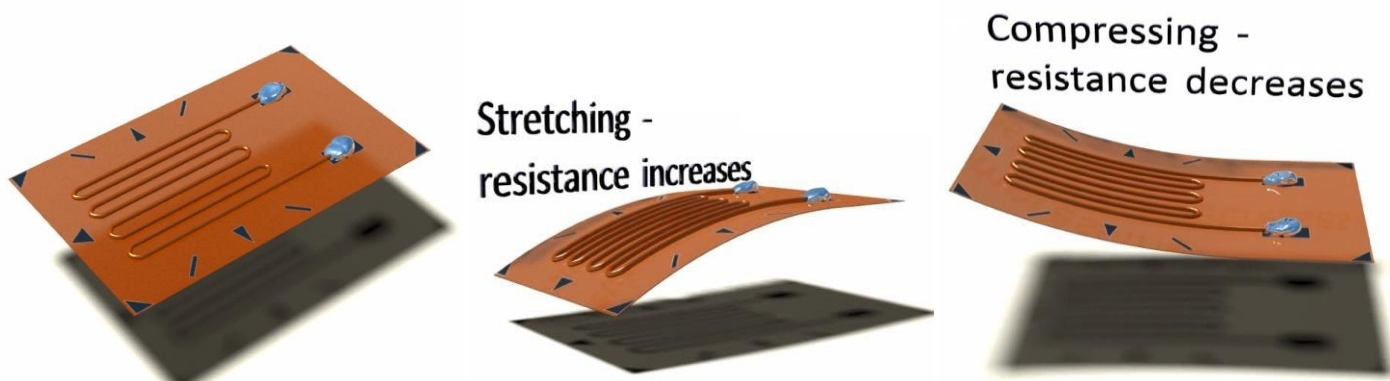
Технічний паспорт тензодатчика містить іншу важливу інформацію про цей тензодатчик:

- **Зазначена ємність:** загальна ємність тензодатчика.
- **Перевантаження:** максимальний відсоток від повної навантаження, яке тензодатчик може витримати до пошкодження.
- **Точність:** може виражатися у вигляді лінійності, гістерезису, повторюваності та повзучості. Ці показники виражаються у відсотках від загальної ємності тензодатчика.
- **Чутливість:** Чутливість тензодатчика визначає фактичне вихідне напруження, яке ви отримаєте при навантаженні тензодатчика на повну потужність. Усі ці значення виражаються в мВ/В.
- **Термічна чутливість:** Показує, наскільки зміниться вихідний сигнал при зміні температури. Зазвичай виражається у відсотках від повного навантаження/°C.

2.2. Основи тензометричних датчиків

2.2.1. Що таке тензодатчик (деформація)?

Тензодатчик — це пристрій, який перетворює деформацію деталі на зміну електричного опору, пропорційну цій деформації. Найпоширеніший тензодатчик складається з дуже тонкого дроту або фольги, розташованих у вигляді сітки таким чином, що при навантаженні в певному напрямку виникають лінійні зміни електричного опору, зазвичай з базовим опором від 350 Ом до 1000 Ом.



Тензометри здатні вимірювати невеликі деформації і фактично використовуються лише в еластичному діапазоні. Деформація або «розтягнення» визначається наступним чином:

$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Де:

- l_0 — початкова довжина калібру
- Δl — зміна довжини при прикладенні навантаження

Це відносно «розтягнення» вважається деформацією. Оскільки величини деформації дуже малі, їх виражають у вигляді $\mu def = e \times 10^6$

2.2.2. Коефіцієнт чутливості

Кожен тензодатчик має різну чутливість до деформації, що кількісно виражається коефіцієнтом чутливості. Коефіцієнт чутливості визначається як відношення відносної зміни електричного опору до відносної зміни довжини (деформації). Коефіцієнт чутливості для металевих тензодатчиків становить приблизно 2.

2.2.3. Деформація та зміна опору

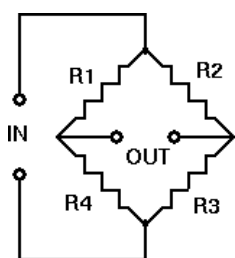
Значення вимірювань деформації знаходяться в діапазоні декількох сотень **мкдеф**.

Наприклад, якщо застосовується деформація **500 мкдеф**, тензодатчик з коефіцієнтом 2 покаже зміну опору лише: **$2 \times (500 \cdot 10^{-6}) = 0,1\%$**

Для типового тензодатчика з опором **350 Ом** це становить зміну лише на **0,35 Ом**, яку неможливо точно виміряти за допомогою стандартного омметра. Для вимірювання такої незначної зміни опору необхідно знайти недорогий і дуже точний прилад.

2.3. Схема моста Уїтстона

Найкращий спосіб виміряти невеликі зміни опору — це використовувати міст Уїтстона. Міст Уїтстона — це конфігурація з чотирьох резисторів, до яких подається відома напруга, як показано нижче:



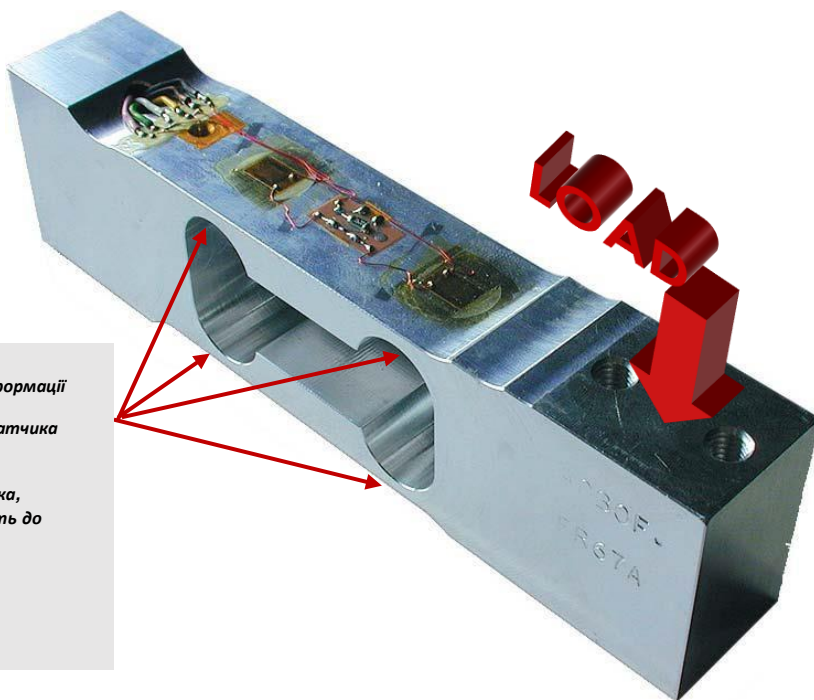
V_{IN} — це відома постійна напруга, а V_{OUT} — отримана виміряна напруга. Залежність між V_{IN} і V_{OUT} визначається рівнянням:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)$$

Замінивши один з резисторів моста Уїтстона тензодатчиком, ми можемо легко виміряти зміну V_{OUT} і використовувати її для оцінки прикладеної сили

2.4. Застосування до тензодатчиків

Тензодатчик — це металевий стрижень, зазвичай виготовлений з алюмінію або сталі, який оброблено таким чином, що при прикладенні сили до певних ділянок виникає значне напруження.



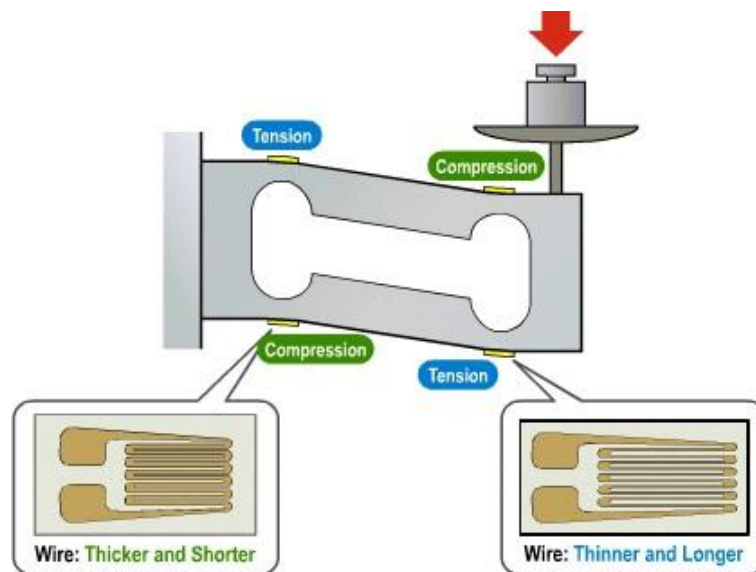
- Тензодатчики кріпляться до місць, чутливих до деформації
- Коли навантаження прикладається, корпус тензодатчика деформується.
- Оскільки тензодатчики прикріплені до тензодатчика, будь-який невеликий рух або розтягнення призводить до зміни опору
- Ця зміна генерує електричний сигнал, пропорційний навантаженню.

Діапазон номінальних навантажень тензодатчиків може становити від **кількох грамів до сотень тонн**. Металевий елемент обробляється таким чином, щоб при деформації, еквівалентній межі перевантаження тензодатчика, матеріал залишався в області пружності.

Залежність між деформацією та зміною опору є майже ідеально лінійною. Для високоточних тензодатчиків не є рідкістю точність у межах

$\pm 0,01\%$ і $\pm 0,02\%$ є цілком типовими для високоточних тензодатчиків.

Тензометри, зазвичай чотири або кратне чотирьох, підключаються до конфігурації моста Уїтстона наступним чином:



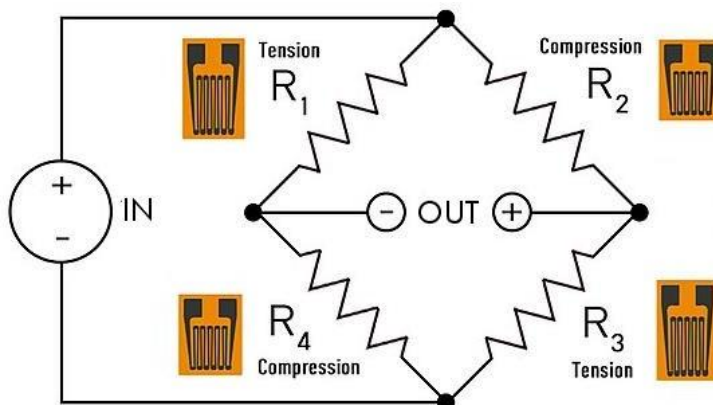
Напруга збудження тензодатчиків знаходиться в діапазоні від 3 до 15 вольт. Вихідний сигнал тензодатчика залежить від самого тензодатчика, але зазвичай знаходиться в діапазоні від 0 до 50 мВ.

Вихідний сигнал тензодатчиків виражається в мілівольтах на вольт (мВ/В). Це означає, що на кожен вольт напруги збудження, прикладеної до тензодатчика, він видає стільки мілівольт на повній шкалі. Це значення називається чутливістю тензодатчика. Ти пова чутливість коливається в діапазоні від 1 мВ/В до 3 мВ/В.

У цьому прикладі:

- Тензодатчик має ємність 2 кг і чутливість 2 мВ/В.
- Індикатор ваги має напругу збудження 5 В.

Вихідний сигнал при навантаженні 2 кг на тензодатчик становить 10 мВ.



3. Тип тензодатчиків

3.1. Одноточкові тензодатчики

3.1.1. Принцип

Одноточкові тензодатчики є найпопулярнішими тензодатчиками у світі. Вони використовуються у більшості настільних ваг та у широкому діапазоні застосувань. Вони використовують згинання як принцип вимірювання.

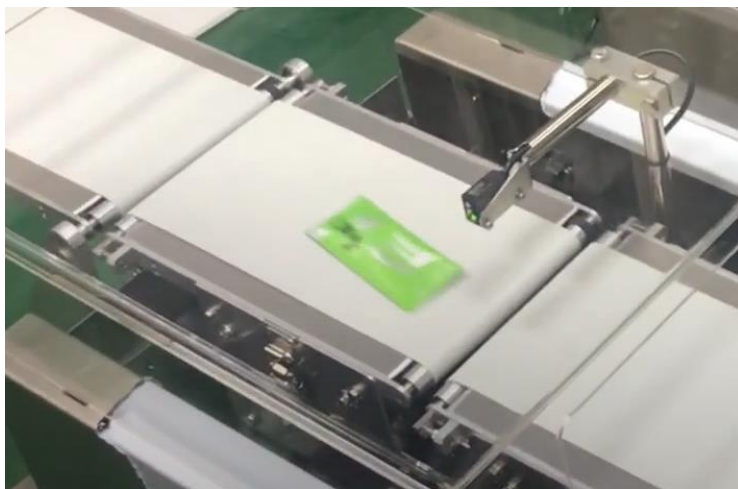
«Одноточковий» — це не зовсім правильне визначення для цих тензодатчиків. Набагато доречнішим було б визначення «платформовий» тензодатчик.

На відміну від інших тензодатчиків, представлених тут, навантаження не потрібно прикладати через єдину точку кріплення на тензодатчику. Одноточковий тензодатчик сумісний із платформою заданих розмірів (див. розділ «Розміри платформи» у технічному паспорті), яку можна прикріпити болтами безпосередньо до тензодатчика. Навантаження можна прикладати в будь-якому місці цієї платформи, при цьому вимірювання тензодатчика завжди будуть точними.

- ▶ Зазвичай їхня вантажопідйомність становить від 1 кг до 500 кг.



▲ Настільні ваги з одним тензодатчиком



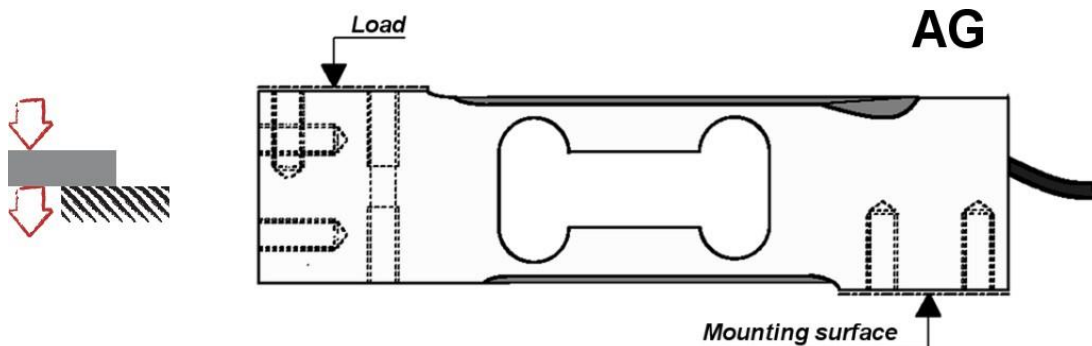
▲ Сортувально-маркувальна машина

3.1.2. Одноточкові тензодатчики AG та AVX

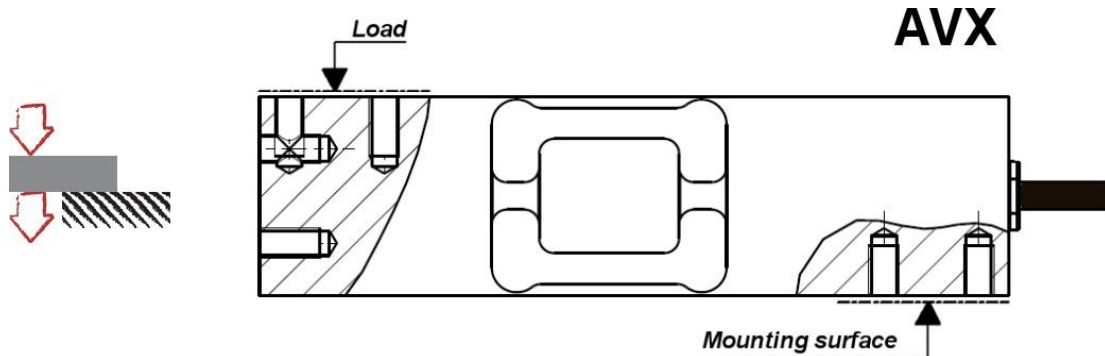
SCAIME пропонує широкий асортимент одноточкових тензодатчиків, від 200 г до 600 кг. Компанія пропонує недорогі тензодатчики для настільних ваг, а також повністю зварні тензодатчики з нержавіючої сталі, придатні для найсуворіших умов експлуатації.

Вагові платформи з одним тензодатчиком зазвичай виготовляються з використанням таких типів тензодатчиків:

- Модель **AG**, виготовлена з алюмінію, з покриттям, що забезпечує захист класу IP65, для використання в стандартних промислових умовах



- Модель **AVX**, виготовлена з нержавіючої сталі та герметично зварена для забезпечення захисту IP68/IP69K, для використання в умовах миття під тиском або корозійному середовищі.

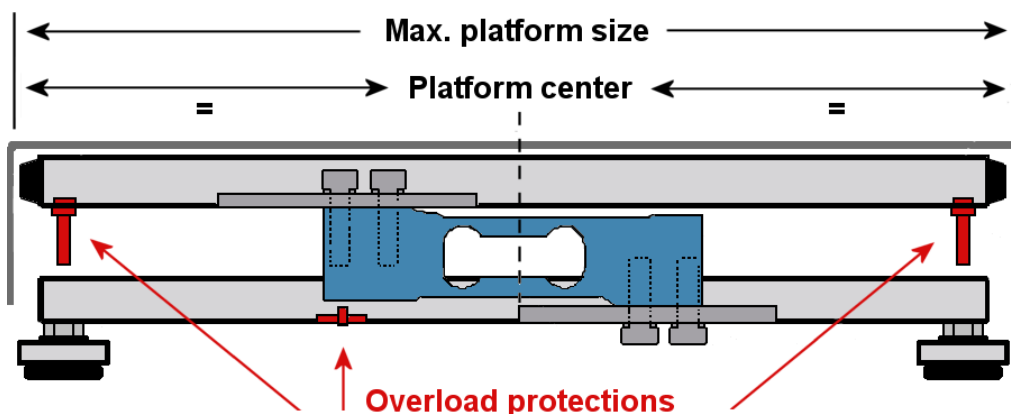


3.1.3. Введення навантаження

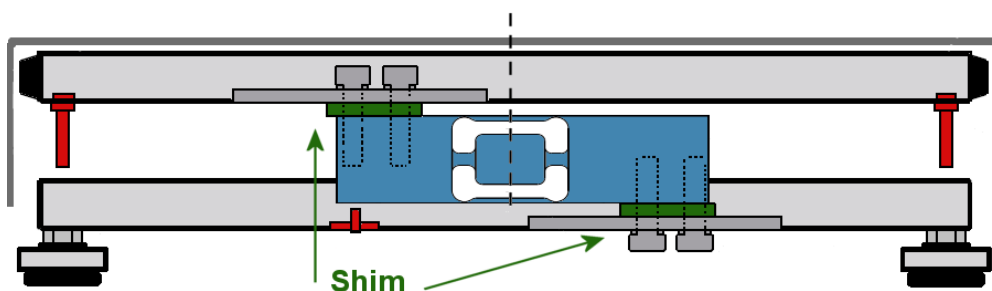
На наведеному нижче малюнку зображено одноточковий тензодатчик, який зазвичай використовується у вагах.



- Встановіть та відрегулюйте відповідні обмежувачі перевантаження, щоб захистити тензодатчик.
- Розмір платформи повинен бути меншим за «Максимальний розмір платформи» (див. технічні характеристики).
- Тензодатчик необхідно закріпити в отворах для кріплення у вигляді консольної балки.
- Тензодатчик необхідно закріпити з дотриманням рекомендованих моментів затягування на міцній металевій основі, яка не прогинається під навантаженням. Поверхня цієї основи повинна бути оброблена та ідеально рівною.

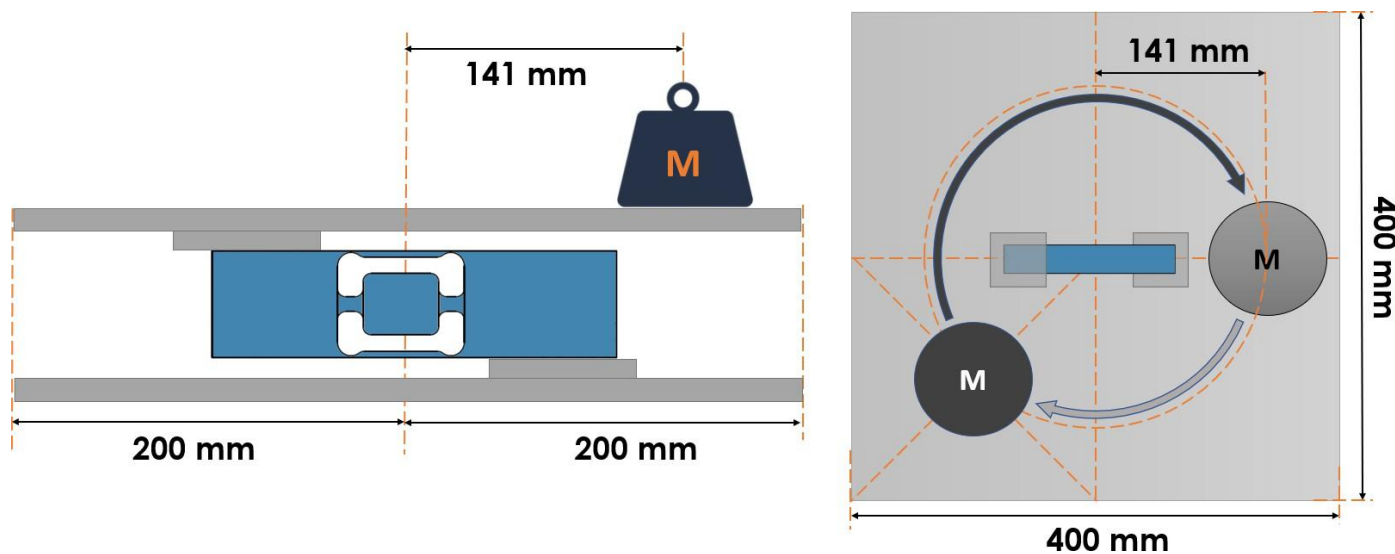


- Якщо корпус тензодатчика не має зміщення, яке забезпечує певну гнучкість при прикладенні навантаження, встановіть прокладки в точках кріплення тензодатчика (зазвичай > 1 мм).



3.1.4. Регулювання зміщення односточкового тензодатчика

Кожен односточковий тензодатчик індивідуально налаштовується на заводі-виробнику для вимірювання зміщеного від центру навантаження в межах максимального розміру платформи без перевищення допустимої похибки. Це налаштування здійснюється відповідно до рекомендації OIML R76 із застосуванням вантажу, що дорівнює **третині** номінальної вантажопідйомності платформи, розміщеного на відстані, що становить **чверть** довжини поверхні.



3.2. Тензодатчики з вигином балки

3.2.1. Принцип

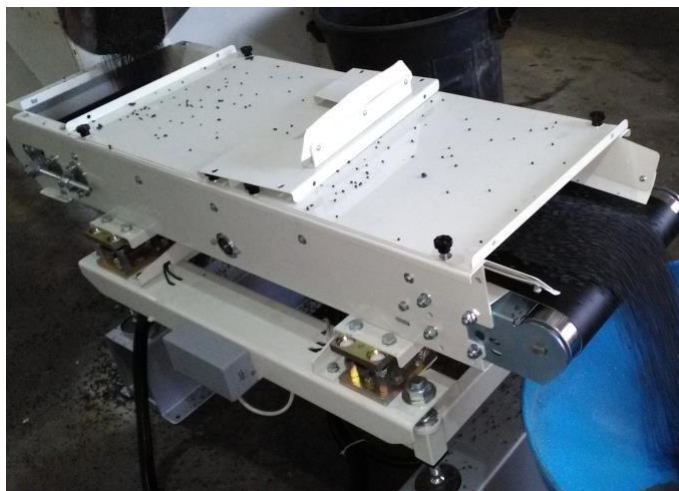
Принцип вигину забезпечує чудову лінійність. Вигинні балки створюють високий рівень деформації при відносно невеликих зусиллях, демонструючи більшу деформацію порівняно з іншими принципами вимірювання. Це, у свою чергу, означає, що, незважаючи на те, що тензодатчик з вигинною балкою піддається більшому статичному перевантаженню, застосування механічних обмежувачів є більш доцільним. Завдяки такій, як правило, високій деформації, динамічні характеристики перевантаження є чудовими.

Тензодатчики з гнучкою балкою можуть використовуватися в платформних вагах, системах зважування в невеликих бункерах, системах безперервного зважування на стрічкових конвеєрах, дозаторах за вагою та інших високоточних застосуваннях.

- ▶ Тензодатчики з гнучкою балкою часто використовуються для діапазону навантажень від 5 кг до 500 кг.



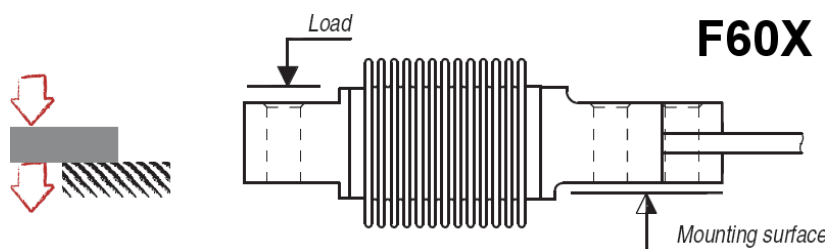
▲ Зважування в невеликих бункерах



▲ Зважування на стрічковому конвеєрі

3.2.2. Тензодатчик з гнучкою балкою F60X

Тензодатчик з гнучкою балкою F60X виготовлений з нержавіючої сталі та герметично закритий відповідно до стандарту IP68. Він особливо підходить для умов, де необхідне миття, наприклад, на підприємствах харчової промисловості.



3.2.3. Введення навантаження

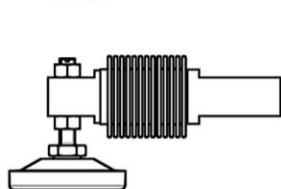
Навантаження слід подавати якомога вертикальніше. Моменти кручення, ексцентричні навантаження та поперечні сили спричиняють похибки вимірювання та можуть пошкодити тензодатчик. Цих несприятливих впливів слід уникати, наприклад, використовуючи опорні стрижні або напрямні ролики. Ці елементи не повинні впливати на навантаження або складові сили у напрямку вимірювання (вертикальному).

Слід уважно враховувати наступні моменти:

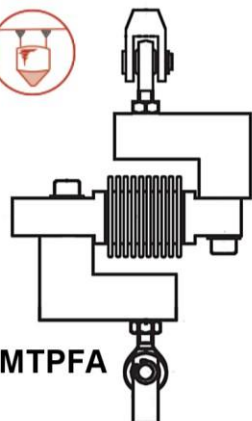


- З тензодатчиком, а особливо з тонкостінним сильфоном, слід поводитися обережно.
- Не перевантажуйте тензодатчик, навіть на короткий час. Під час поводження та монтажу тензодатчиків з невеликою номінальною вантажопідйомністю допустимі граничні значення будуть швидко досягнуті.
- Тензодатчик повинен бути встановлений горизонтально на рівній, твердій і ідеально чистій поверхні, яка служить основою для тензодатчика.
- Ніколи не навантажуйте у напрямку, протилежному зазначеному напрямку навантаження (див. технічні характеристики).
- Тензодатчики повинні бути щільно затиснуті на кріпильних елементах. Рекомендовані моменти затягування наведені в технічному паспорті.

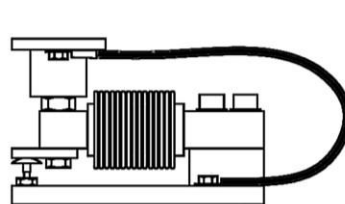
SCAIME пропонує різні кріпильні елементи для різних умов монтажу, щоб мінімізувати негативний вплив, спричинений навантаженням або факторами навколишнього середовища.



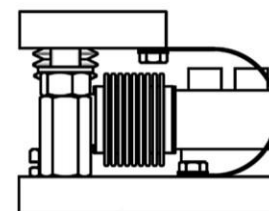
LFC



MTPFA







RUBBERKIT



STABIFLEX

- **LFC, LFD:** Поворотна опора, призначена для виробництва платформних ваг.
- **MTPFA:** Комплект кріплення на роликах і кульових шарнірах, призначений для вагових пристроїв у підвісних бункерах та модернізації механічних автомобільних ваг.
- **RUBBERKIT:** Монтажний комплект, що включає еластомер для компенсації нерівномірності та поглинання вібрацій або ударів. Призначений для вагових систем для невеликих резервуарів або бункерів з мішалками.
- **STABIFLEX:** Комплект кріплення на стискання, що включає вбудовані бічні упори, захист від відриву та високоточне роз'єднання кульового та чашкового шарнірів. Комплект може бути оснащений стабілізуючою тягою для запобігання руху всередині конструкції.

Посібник з вибору монтажних комплектів для тензодатчиків з гнучкою балкою

	LFC, LFD	MTPFA	RUBBERKIT	STABIFLEX
   				
Основні характеристики				
Конструкція	Нікельована сталь Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь	Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь Нержавіюча сталь
Застосування	Поворотна ніжка	Зважування у підвісних бункерах	Зважування на платформах, конвеєрних стрічках, резервуарах та змішувачах	Зважування на платформах, конвеєрних стрічках, резервуарах та змішувачах
Діапазон вимірювання тензодатчика	5 кг ... 500 кг	5 кг ... 300 кг	5 кг ... 300 кг	5 кг ... 500 кг
Функції				
Монтаж на підлогу	-	-	Болтове	Кріплення болтами
Монтаж на конструкції	З'єднані болтами	З'єднані болтами	З'єднані болтами	Болтове
Точність	●●●	●●●	●●	●●●●
Регулювання висоти	●●●	●●	-	-
Помилка нахилу	●●●	●●●	●●	●●
Розширення конструкції	●	●●●	●●	●●●●
Гасіння вібрацій	●	-	●●●	-
Бічна стійкість	-	●	●●	●●●●
Бічна підтримка	-	-	●●●	● / ●●●● (стабілізація)
Захист від злітання	-	-	●	●●●●
Утримувати без тензодатчика	-	-	-	●●●●
	●●●● Відмінно	●●● Добре	●● Середній	● Низький
				- Немає

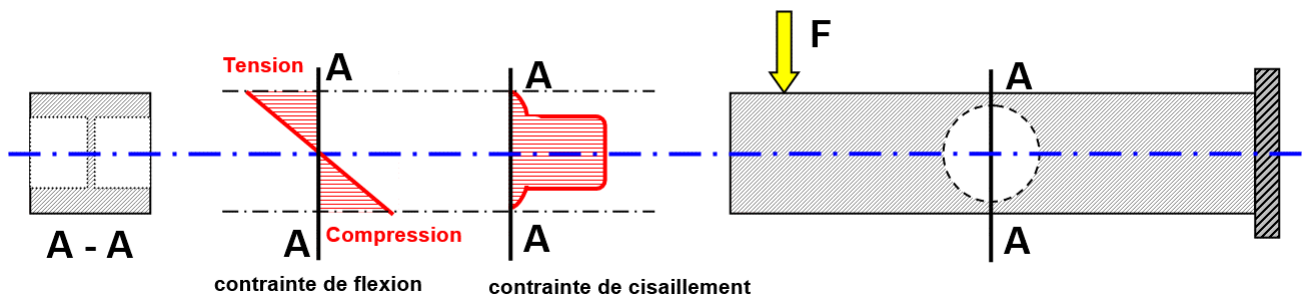
3.3. Тензодатчики з поперечним зсувом

3.3.1. Принцип

Тензодатчики з поперечним зсувом особливо підходять для всіх типів застосувань з середньою та високою вантажопідйомністю. Цей тензодатчик прикручується болтами до нерухокої конструкції одним кінцем, а сила прикладається через одну точку на іншому кінці, що призводить до вигину балки та створення зсуву в області тензодатчика.

Принцип вимірювання на зсув забезпечує хорошу стійкість до бічних навантажень і низьку чутливість до зміни положення навантаження.

Distribution des contraintes le long de la section AA du barreau.



У поперечному перерізі балки типу **AA** з обох боків утворюється порожнина, залишаючи невелику товщину в центрі. Як і в «I-подібному» брусі, значну частину зсувного напруження приймає на себе серцевина, тоді як згинальний момент сприймають боковини. За таких умов уздовж нейтральної осі, де згинальне напруження є незначним, напруження на серцевині тензодатчика є виключно зсувними.

► На цій нейтральній осі зсувне напруження не залежить від точки прикладання навантаження.

Тензодатчик з поперечним зсувом є найпоширенішим типом тензодатчика для безлічі завдань зважування в складних умовах експлуатації. Зазвичай їх використовують зі спеціальними поворотними опорами та встановлюють у кутах великих платформних ваг. Вони також застосовуються для зважування ємностей.

У порівнянні з тензодатчиками з гнучкою балкою вони забезпечують:

- вимірювання, незалежне від точки прикладання навантаження,
- Кращу стійкість до бічних сил,
- кращу перевантажувальну здатність, хоча механічні упори важче регулювати через їх обмежене відхилення при повному навантаженні.

► Тензодатчики з поперечним зсувом часто використовуються для діапазону навантажень від 300 кг до 5 000 кг.



▲ Вагові платформи з декількома тензодатчиками



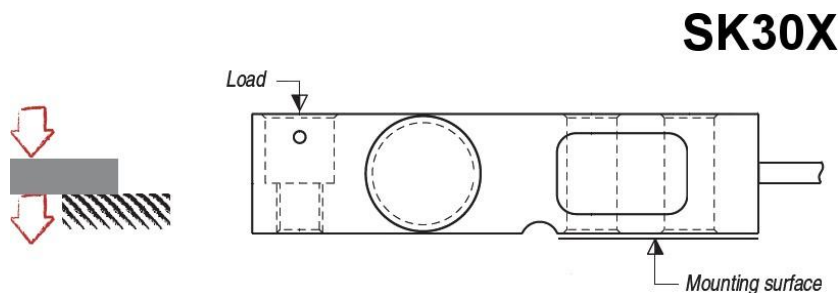
▲ Зважування на конвеєрі



▲ Зважування резервуарів або силосів

3.3.2. Тензодатчик з поперечним зсувом SK30X

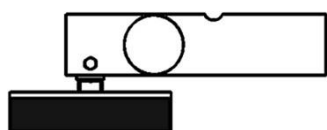
Тензодатчик з поперечним зсувом SK30X виготовлений з нержавіючої сталі та герметично закритий відповідно до стандарту IP68. Він ідеально підходить для умов, що вимагають миття під тиском, та санітарних середовищ, таких як молочні заводи та підприємства харчової промисловості.



3.3.3. Введення навантаження

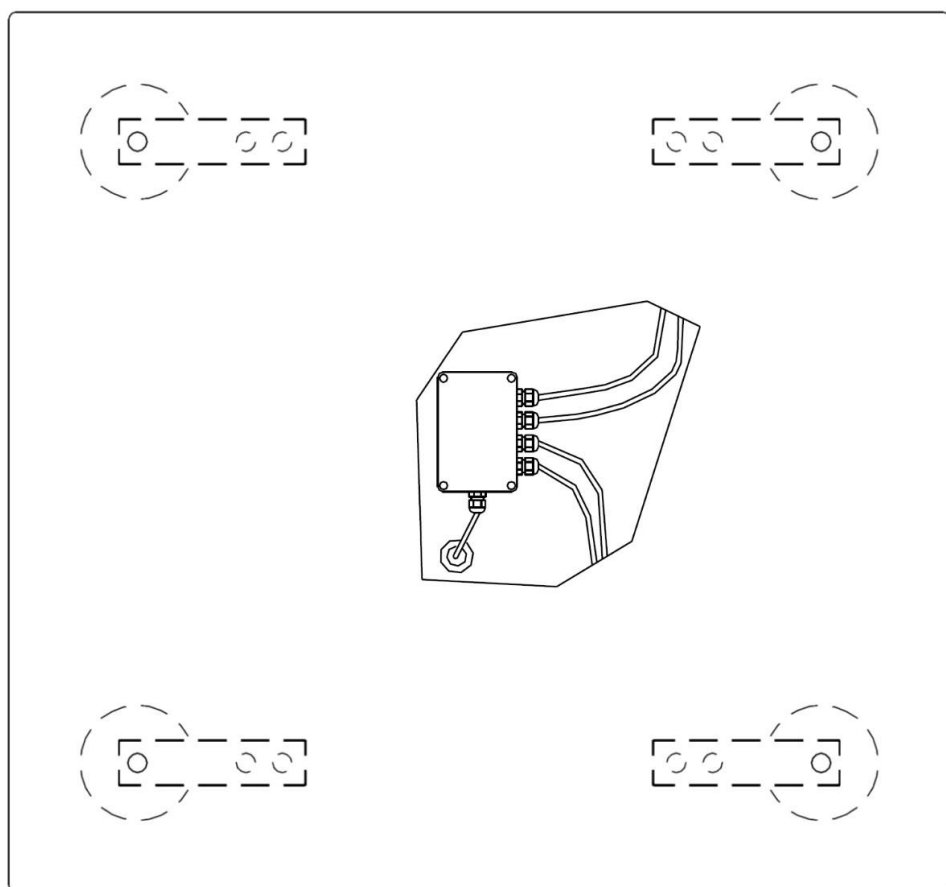
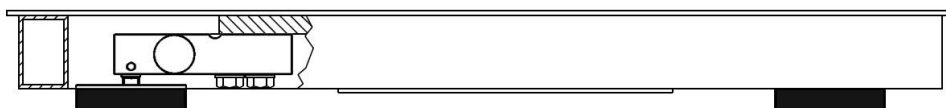
Навантаження слід подавати якомога вертикальніше. Моменти кручення, ексцентричні навантаження та поперечні сили спричиняють похибки вимірювання та можуть пошкодити тензодатчик. Цих несприятливих впливів слід уникати, наприклад, використовуючи опорні стрижні або напрямні ролики. Ці елементи не повинні впливати на навантаження або складові сили у напрямку вимірювання.

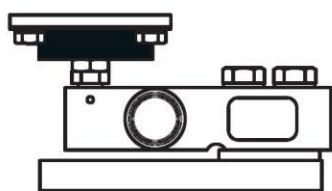
SCAIME пропонує різні монтажні компоненти для різних умов установки, щоб мінімізувати несприятливий вплив, пов'язаний із введенням навантаження або факторами навколишнього середовища.



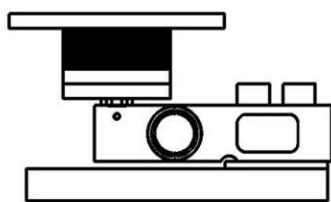
LFA

- **LFA:** Поворотна опора, призначена для виробництва платформних ваг.

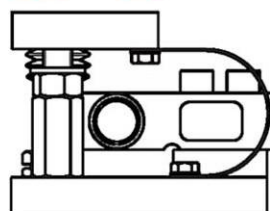




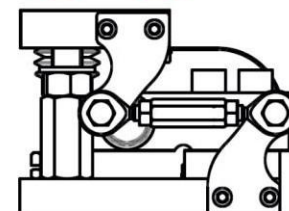
QUICKFIT



ISOFLEX



STABIFLEX



STABIFLEX-STAB

- **QUICKFIT:** Монтажний комплект з віброгасильним еластомером та поворотними ніжками для точного зважування.
- **ISOFLEX:** Монтажний комплект, що включає еластомер для компенсації нерівномірності та поглинання вібрації або ударів. Призначений для систем зважування невеликих резервуарів з мішалками.
- **STABIFLEX:** Монтажний комплект, що включає вбудовані бічні упори, захист від зняття та високоточне роз'єднання кульки та чашки для точного зважування. Комплект може бути оснащений стабілізуючою тягою для запобігання руху всередині конструкції.

Посібник з вибору монтажних комплектів для тензодатчиків з поперечним зсувом

	LFA	QUICKFIT	ISOFLEX	STABIFLEX

Основні характеристики				
Конструкція	Нержавіюча сталь	Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь	Оцинкована сталь Нержавіюча сталь
Застосування	Поворотна опора	Вагові платформи, конвеєрні стрічки, резервуари та змішувачі	Вагові платформи, конвеєрні стрічки, резервуари та змішувачі	Вагові платформи, конвеєрні стрічки, резервуари та змішувачі
Максимальне навантаження	300 кг ... 5 т	300 кг ... 5 т	300 кг ... 5 т	300 кг ... 5 т
Функції				
Монтаж на підлогу	-	Болтове	Болтове	3 болтовим кріпленням
Монтаж на конструкції	З'єднані болтами	З'єднані болтами або зварені	З'єднані болтами	Болтове
Точність	●●●	●●●	●●	●●●●
Регулювання висоти	●●●	●●●	-	-
Помилка нахилу	●●●	●●●●	●	●●
Розширення конструкції	●	●●●	●●	●●●●
Гасіння вібрацій	●	●	●●●	-
Бічна стійкість	-	●	●	●●●●
Бічна підтримка	-	●●	●●●	● / ●●●● (стабілізатор)
Захист від зльоту	-	-	-	●●●●
Утримувати без тензодатчика	-	-	-	●●●●

●●●● Відмінно

●●● Добре

●● Середній

● Низький

- Немає

3.4. Тензодатчики типу S

3.4.1. Принцип дії

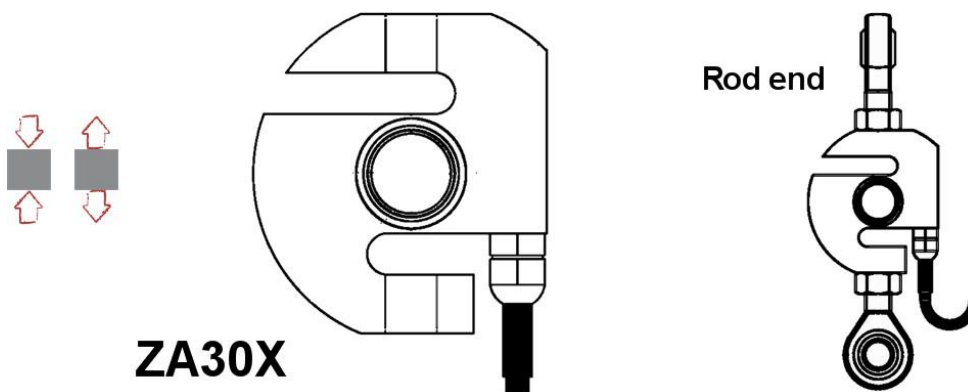
Тензодатчики S-типу найчастіше використовуються для вимірювання розтягу (але можуть використовуватися і для вимірювання стиснення). Цей тип тензодатчика використовує згинання або зсув як принцип вимірювання. Він повинен бути встановлений таким чином, щоб прикладена сила проходила вертикально через центр тензодатчика.

Тензодатчики S-типу використовуються для зважування ємностей, випробувальних машин на розтяг, обмежувачів крутного моменту та в інших сферах застосування.

► Тензодатчики S-типу зазвичай використовуються з номінальною вантажопідйомністю від 25 кг до 5 000 кг.

3.4.2. Тензодатчик типу S ZA30X

Тензодатчик типу S ZA30X виготовлений з нержавіючої сталі та герметично закритий відповідно до стандарту IP68. Він ідеально підходить для умов, що вимагають миття під тиском, та санітарних середовищ, таких як підприємства харчової промисловості.

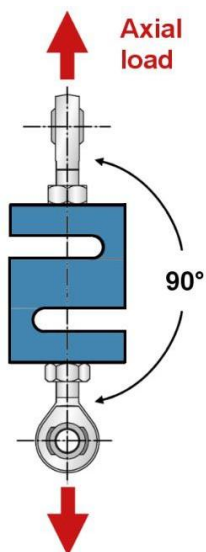


3.4.3. Введення навантаження

Отвори з різьбленням у верхній і нижній частинах призначені для прикладання навантаження. Навантаження слід прикладати якомога ближче до напрямку вимірювання. Моменти кручення та згину спричиняють похибки вимірювання та можуть пошкодити тензодатчик. Цих несприятливих впливів слід уникати за допомогою конструктивних елементів, які не впливатимуть на вимірювання ваги.

SCAIME пропонує кульові шарніри для мінімізації негативних ефектів, пов'язаних із введенням навантаження:

- Гайки кульових шарнірів повинні бути затягнуті при максимальному навантаженні.
- Не застосовуйте момент затягування до тензодатчика.



При використанні тензодатчиків типу S для зважування ємностей:

- Розмістіть тензодатчики навколо резервуара так, щоб кожен з них підтримував однакову вагу.
- Щоб зменшити коливання, переконайтеся, що верхній і нижній кінці тяги повернуті один до одного під кутом 90°.
- Встановіть запобіжний пристрій поруч із кожним модулем зважування.
- Переконайтеся, що тензодатчик висить вертикально.

Якщо підвішений резервуар піддається горизонтальному переміщенню, встановіть стрижні, щоб обмежити це переміщення.



- Сила повинна прикладатися до тензодатчика в осьовому напрямку.

3.5. Тензодатчики стискання колон

3.5.1. Принцип

Хоча концептуально простий, колонний тензодатчик має низку специфічних характеристик, що ускладнює проектування та виробництво даного типу тензодатчиків. Сама колона повинна бути достатньо довгою, з огляду на її поперечний переріз, щоб забезпечити рівномірне поле деформації. Колонні тензодатчики за своєю суттю є нелінійними під час деформації під навантаженням. Ця нелінійність компенсується за допомогою спеціальних напівпровідникових тензорезисторів.

Для даного типу тензодатчиків величина накопиченого переміщення має менше значення, ніж у балкових тензодатчиків. Тому їхні можливості щодо перевантаження є відмінними. Однак відносно невелике відхилення робить цей тип тензодатчиків більш чутливим до ударних навантажень.

Стовпчасті тензодатчики забезпечують високу точність, тому їх часто застосовують у автомобільних вагах та для зважування суден, коли потрібна висока точність.

- ▶ Колонні тензодатчики зазвичай використовуються для навантажень від 5 до 200 тонн.



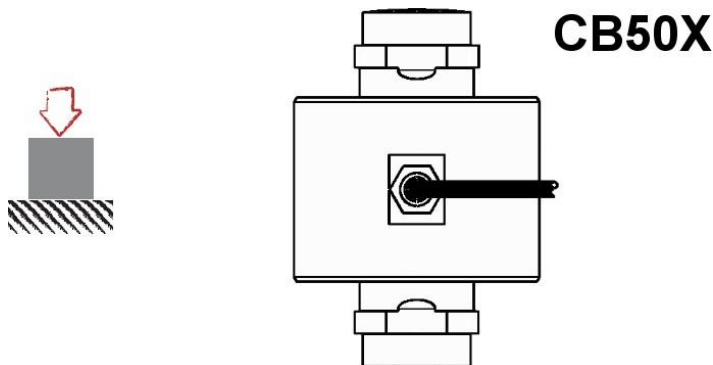
▲ Зважування вантажівок



▲ Зважування силосів

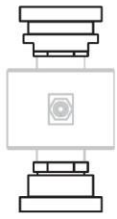
3.5.2. Тензодатчик стискання CB50X

CB50X виготовлений з нержавіючої сталі та герметично закритий відповідно до стандарту IP68. Це робить його особливо придатним для найсуворіших умов, таких як хімічні та харчові підприємства.



3.5.3. Введення навантаження

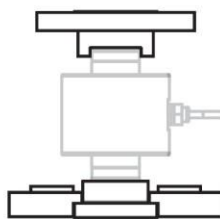
SCAIME пропонує різні монтажні компоненти для мінімізації негативного впливу, пов'язаного з введенням навантаження або факторами навколишнього середовища.



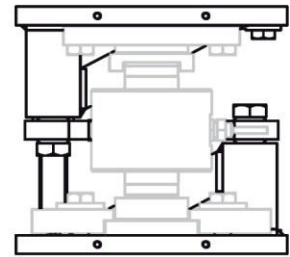
LPC



LPS



LPM



STABICAN

- **LPC, LPS, LPM:** Монтажний комплект для автомобільних ваг з пристроєм, що запобігає обертанню.
- **STABICAN:** Комплект для кріплення на стискання, що включає вбудовані поперечні стабілізаційні стрижні та захист від підйому. Призначений для зважування силосів.

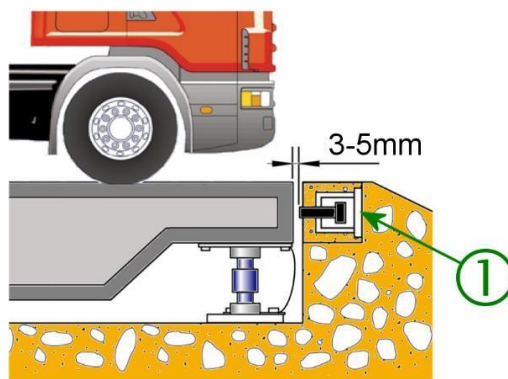
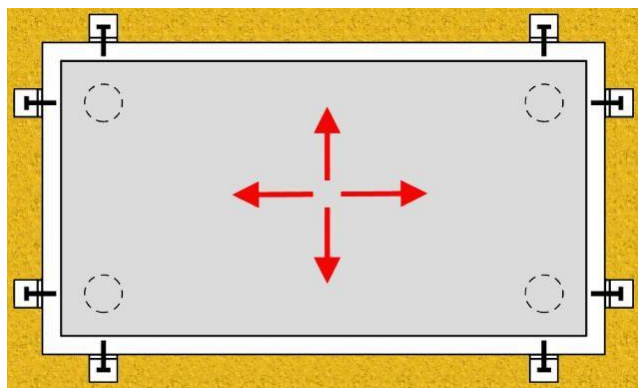
Посібник з вибору монтажних комплектів для тензодатчиків стискання

	LPC	LPS	LPM	STABICAN
Основні характеристики				
Конструкція	Нікельована сталь	Нікельована сталь	Нікельована сталь Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь Нержавіюча сталь
Застосування	Автомобільні ваги	Ваговий міст	Автомобільні ваги Зважування силосів	Зважування силосів
Номінальне навантаження	5 т ... 60 т	5 т ... 60 т	5 т ... 60 т	5 т ... 200 т
Функції				
Монтаж на підлозі	-	Ексцентрик	Кронштейни	Кріплення на болтах
Монтаж на конструкції	-	З'єднані болтами	З'єднані болтами	Болтове
Точність	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Регулювання висоти	-	-	-	-
Помилка нахилу	●●●	●●●	●●●	●●
Розширення конструкції	●●●	●●●	●●●	●●●
Гасіння вібрацій	-	-	-	-
Бічна стійкість	-	-	-	●●●
Бічна опора	-	-	-	●●●
Захист від зльоту	●	●	●	●●●●
Утримувати без тензодатчика	-	-	-	-
Захист від обертання	●●●	●●●	●●●	●●●

●●●● Відмінно ●●● Добре ●● Середній ● Низький - Немає

3.5.4. Встановлення у вагових мостах

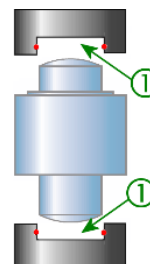
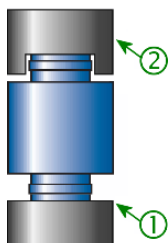
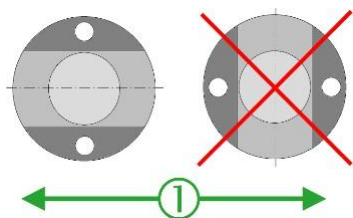
СВ50Х — це маятниковий тензодатчик, призначений для автоматичного повернення кріпильної конструкції у стабільне початкове положення у разі невеликого поперечного зміщення навантаження. Ця конструкція, яка ідеально підходить для використання у вагових мостах, забезпечує вільний рух у будь-якому напрямку в горизонтальній площині.



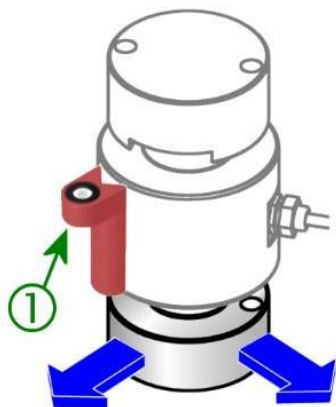
- Встановіть та відрегулюйте відповідні упори①.
- Основа та навантажувальні плити повинні бути встановлені на сталевих плитах. Ці монтажні поверхні повинні мати площинність <math>< 2/1000</math> та горизонтальність <math>< 4/1000</math>.



- Тензодатчики повинні бути встановлені у вертикальному положенні та на одному горизонтальному рівні.
- Не можна перевищувати максимально допустиме поперечне зміщення або нахил.



- Плити слід вирівняти таким чином, щоб плоска частина пристрою, що запобігає обертанню, була паралельна основному напрямку руху на ваговій платформі①.
- Щоб захистити опорні поверхні від зносу, пошкодження та забруднення, очистіть та змастіть елементи①.
- Щоб уникнути заклинювання пристрою, що запобігає обертанню, встановіть його ② у верхньому положенні.



- Використовуйте відповідний рівень, щоб перевірити, чи тензодатчик розташований перпендикулярно до місця кріплення.
- Вирівняйте тензодатчик по вертикалі за допомогою рівня①.

3.6. Низькопрофільні тензодатчики стиснення

3.6.1. Принцип

Відхилення тензодатчика під дією навантаження вимірюється гнучкими датчиками, розташованими всередині герметичної порожнини тензодатчика. Тензодатчик перетворює відхилення на електричний сигнал, який прямо пропорційний збільшенню або зменшенню навантаження. Небажані бічні навантаження не впливають на точність.

Низькопрофільний тензодатчик стискання є менш точним, ніж колонний тензодатчик стискання, але завдяки своїй надзвичайно компактній конструкції він ідеально підходить для зважування резервуарів та силосів. Його конструкція також забезпечує низьке розташування центру ваги резервуара, що підвищує його стійкість. Монтаж є простішим, ніж у випадку з колонним тензодатчиком стискання.

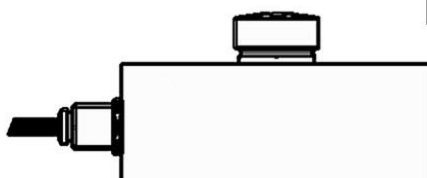
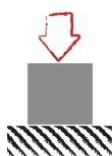
► Низькопрофільні тензодатчики стиснення використовуються для навантажень від 5 до 1000 тонн.



◀ Зважування силосів

3.6.2. Низькопрофільні тензодатчики стиснення R10X

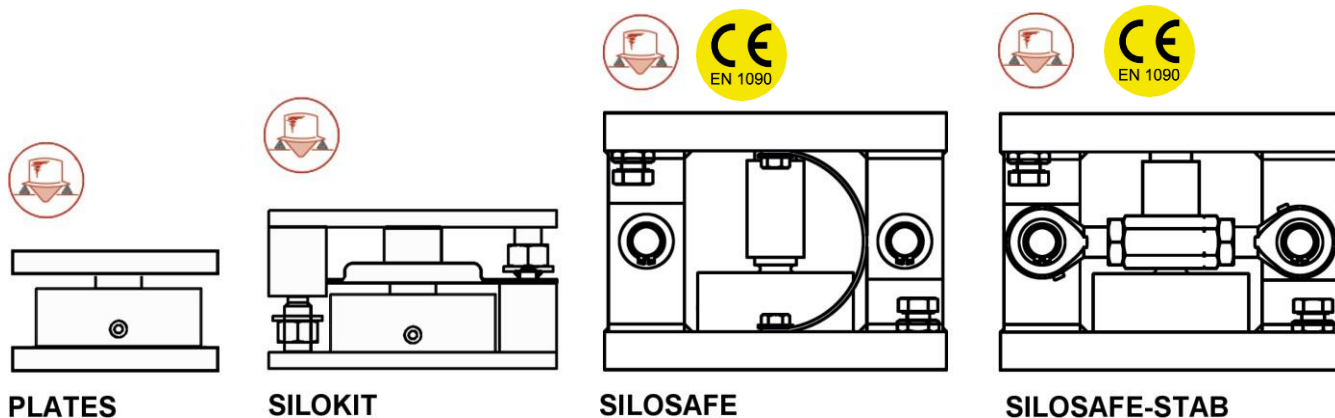
Компанія SCAIME пропонує тензодатчик R10X з нержавіючої сталі, який має герметичну конструкцію (IP 68). Цей тензодатчик особливо підходить для вимірювання сипучих матеріалів у санітарних умовах та в системах CIP (Clean-in-Place).



R10X

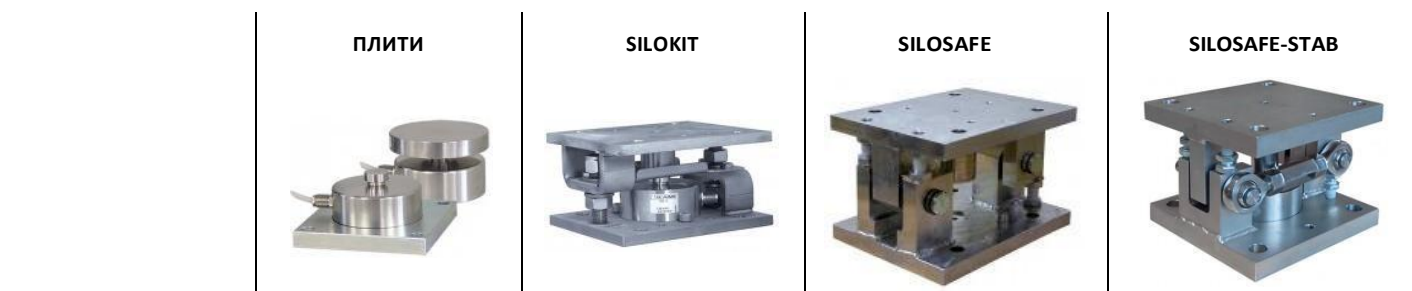
3.6.3. Введення навантаження

SCAIME пропонує монтажні комплекти для мінімізації негативного впливу, пов'язаного з введенням навантаження або факторами навколишнього середовища.



- **Пластины:** опорна пластина та кнопка навантаження для інтеграції в конструкцію користувача.
- **SILOKIT:** Економічний тензодатчик із вбудованою стабілізаційною пластиною та захистом від зняття. Призначений для зважування силосів.
- **SILOSAFE:** Високоєфективний монтажний комплект, сертифікований за стандартом **EN1090** для зважування силосів. Включає бічні упори, пристрій запобігання відриву та маятникове кріплення для високоточного зважування. Комплект може бути оснащений стабілізуючими тягами для запобігання руху всередині конструкції.

Посібник з вибору монтажних комплектів для низькопрофільних тензодатчиків стиснення



Основні характеристики				
Конструкція	Нікельована сталь	Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь Нержавіюча сталь	Оцинкована сталь Нержавіюча сталь
Застосування	Зважування силосів	Зважування силосу	Зважування силосу	Зважування силосів Мобільні вагові конструкції
Номінальне навантаження тензодатчика	250 кг ... 100 т	250 кг ... 30 т	250 кг ... 300 т	250 кг ... 50 т
Функції				
Монтаж на підлогу	-	Ексцентрик	Кронштейни	Кріплення на болтах
Монтаж на конструкції	-	З'єднані болтами	З'єднані болтами	Болтове
Точність	●●●	●●	●●●●	●●●●
Регулювання висоти	-	-	-	-
Помилка нахилу	●●●	●●	●●●	●●●
Розширення конструкції	-	●	●●●●	●●●●
Гасіння вібрацій	-	-	-	-
Бічна стійкість	-	●●	●●●●	●●●●
Бічна підтримка	-	●●●	●	●●●●
Захист від зсуву	-	●●	●●●●	●●●●
Утримувати без тензодатчика	-	●●	●●●●	●●●●
EN 1090	-	-	●●●●	●●●●

●●●● Відмінно

●●● Добре

●● Середній

● Низький- Немає

3.6.4. Відповідність стандарту EN1090

У Європі регламент щодо будівельних виробів (№ 305/2011) передбачає, що металеві конструктивні елементи будівель, що випускаються на ринок, повинні відповідати стандарту **EN1090** та мати **маркування CE**.

Таким чином, для зважування силосів монтажні комплекти для тензодатчиків можуть розглядатися замовником як несучі елементи і повинні відповідати стандарту EN1090.

- Замовник визначає клас виконання (EXC), якому повинен відповідати виробник, залежно від типу будівлі та ризиків для людей і майна у разі виходу з ладу.
- Залежно від класу виконання стандарт EN1090 описує вимоги до проектування, виготовлення та впровадження, що застосовуються до продукту.

Щоб виконати цю вимогу, компанія SCAIME пройшла сертифікацію своєї системи якості відповідно до стандарту EN 1090 у класі виконання **EXC2**. Цей клас означає, що весь процес — від проектування виробу до його поставки — регулюється кваліфікованою та задокументованою системою.



Сертифікований за стандартом EN1090 монтажний комплект класу EXC2 гарантує:

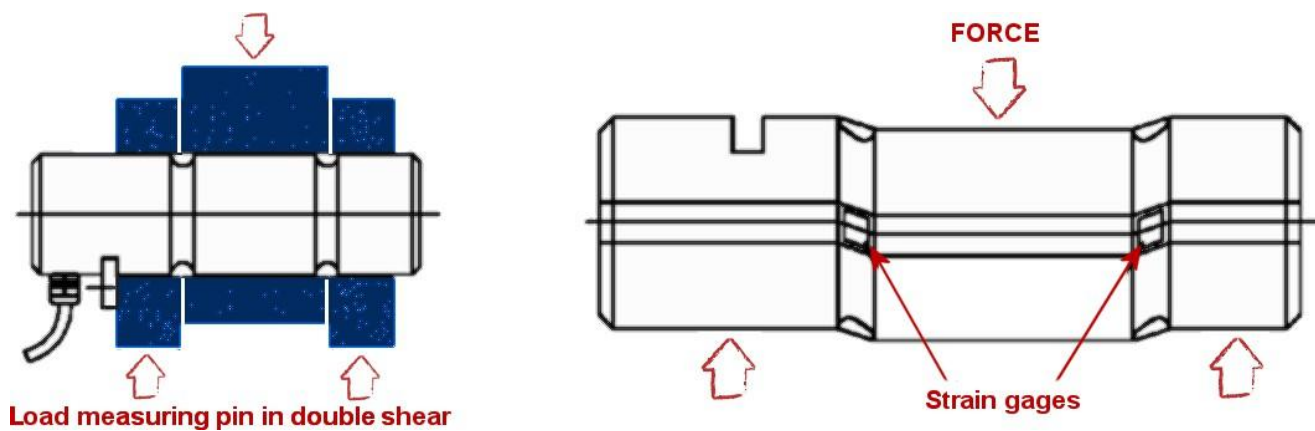
- **Наявність системи документації якості**
- **Наявність процедури для вирішення випадків невідповідності**
- **Несучу здатність, розраховану відповідно до стандарту EN1993-1**
- **Простежуваність використовуваних матеріалів**
- **Відповідність продукту технічним вимогам**
- **Виготовлення кваліфікованими зварниками та операторами**



3.7. Навантажувальні штирі

3.7.1. Принцип

Штифт для вимірювання навантаження фіксує силу, що діє на нього, за допомогою тензодатчиків, встановлених у невеликому отворі, що проходить через центр штифта. На зовнішній окружності штифта виточено дві канавки для визначення площин зсуву, які розташовані між силами, що вимірюються.



Штифти для вимірювання навантаження призначені для широкого спектра застосувань як пряма заміна шкворнів або шарнірних штифтів. Їхня головна перевага полягає в тому, що зазвичай вони не вимагають внесення жодних змін у конструкцію, що контролюється.

- ▶ Їхня типова вантажопідйомність становить від 20 кг до 100 т.



▲ Контроль навантаження на шківі



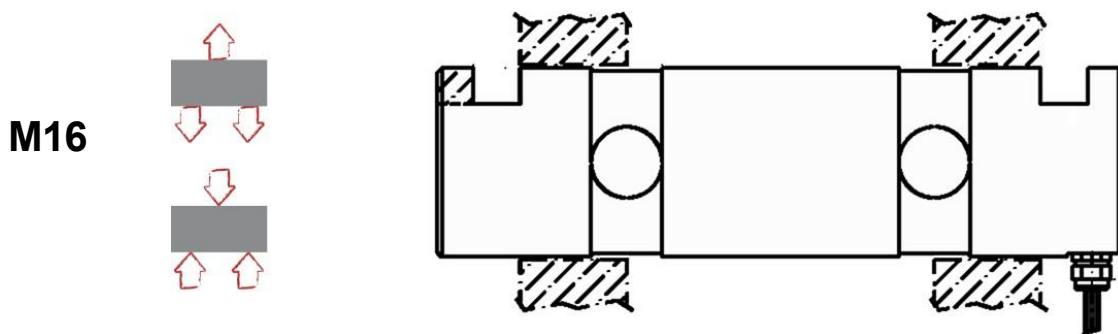
▲ Контроль навантаження на вирівнювачі



▲ Вагові резервуари, встановлені на осях

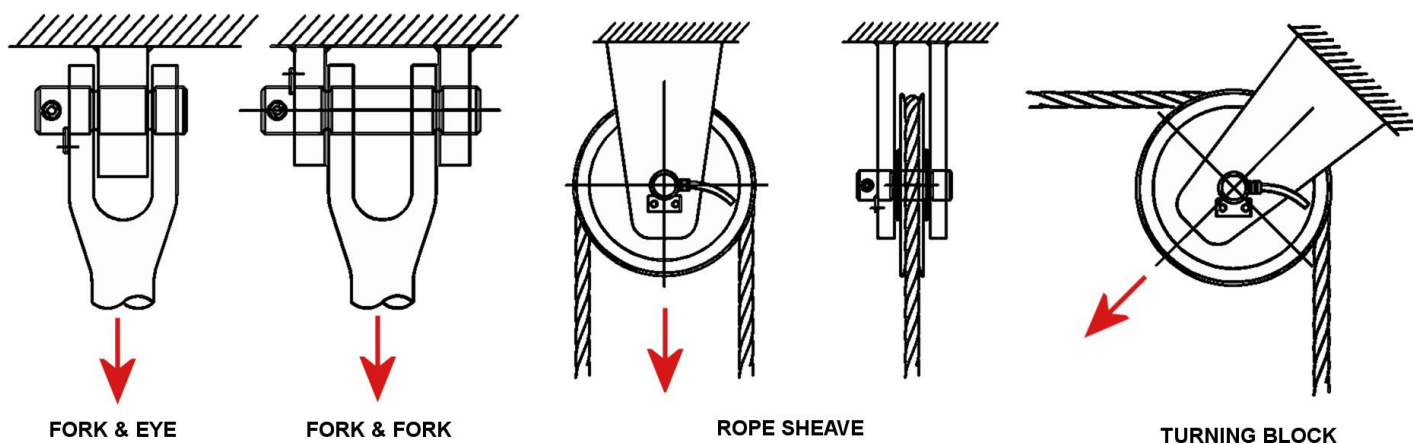
3.7.2. Штифт для вимірювання навантаження M16

Найпоширенішим типом є M16, який ідеально підходить для вимірювання навантаження та захисту від перевантаження на кранах, підйомниках, навантажувачах та лебідках.



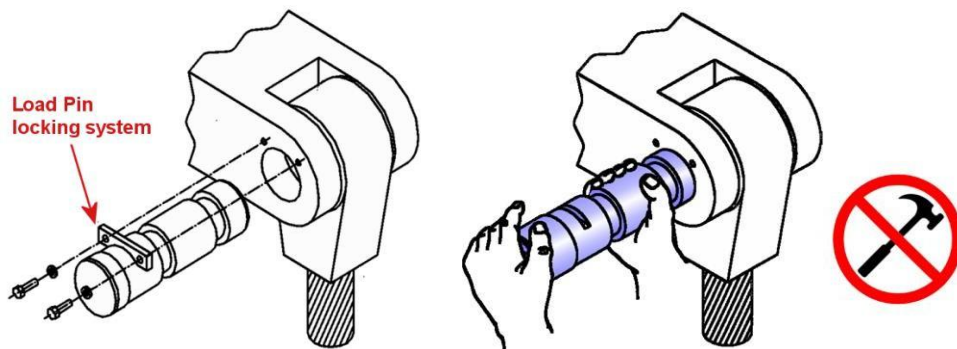
3.7.3. Типові варіанти встановлення

Якщо вимірюване навантаження прикладається до існуючої осі в чітко визначеному напрямку, для вимірювання цього навантаження можна встановити датчик навантаження M16. На схемах нижче показано типові місця встановлення датчиків навантаження.



3.7.4. Система фіксації датчика навантаження

Датчик навантаження потрібно зафіксувати в потрібному положенні, щоб встановити його напрямку. Для точного вимірювання датчики навантаження повинні бути встановлені таким чином, щоб уникнути будь-якого осьового та обертального руху.

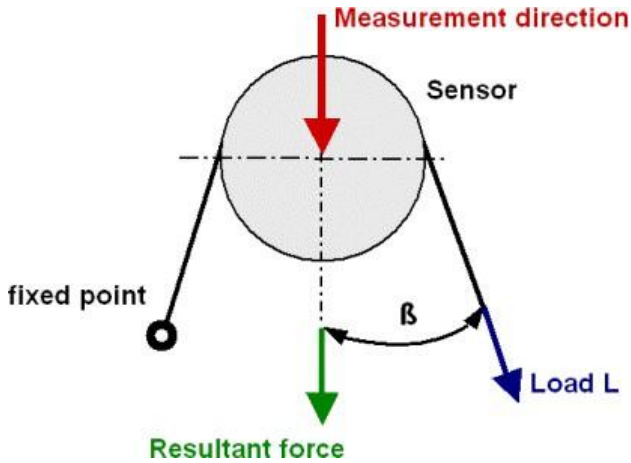


- Встановіть датчик навантаження вручну. Ніколи не використовуйте молоток або інший інструмент для його встановлення.

3.7.5. Розрахунок вимірювальної сили

Стандартний тензодатчик призначений для вимірювання сили лише в одному напрямку. Слід уважно ставитися до положення кріплення тензодатчика, щоб уникнути помилок у вимірюванні.

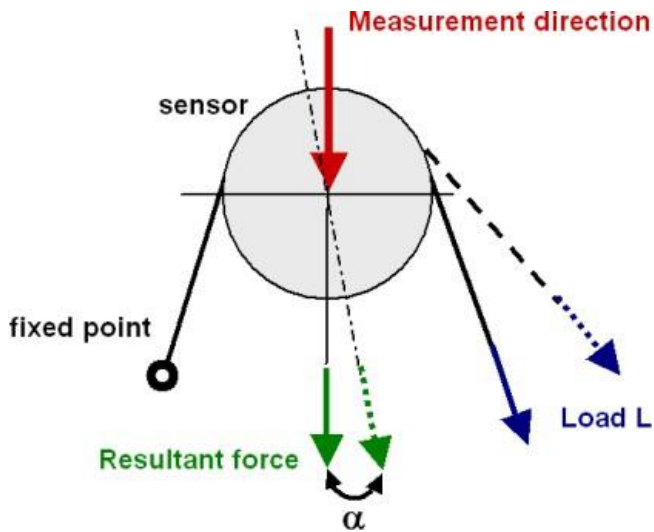
Результуюча сила, виміряна навантажувальним штифтом



Зверніть увагу на результуючу силу, виміряну тензодатчиками, яка може відрізнитися від навантаження, що прикладається до дроту. Результуюча сила може збільшуватися або зменшуватися залежно від конструкції:

$$\text{Результуюча сила (\%)} = 2 \times L \times \cos(\beta)$$

Похибка, зумовлена зміною напрямку навантаження

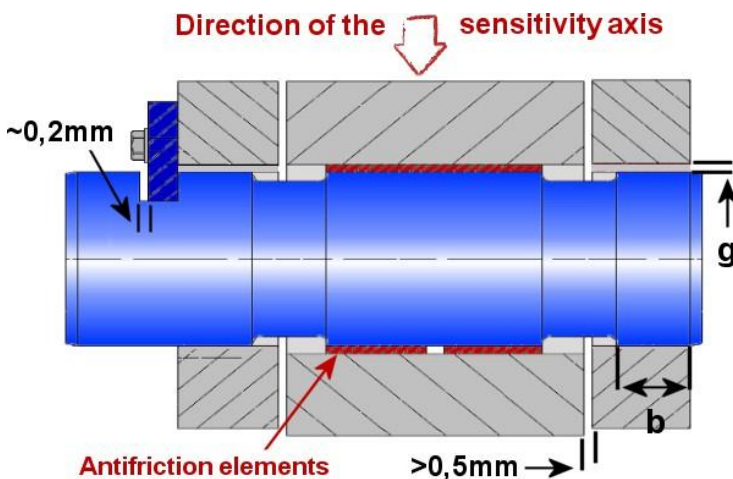


Напрямок вимірювання датчика навантаження повинен збігатися з напрямком результуючої сили, інакше похибка вимірювання (% від прикладеного навантаження) може бути розрахована наступним чином:

$$\text{Похибка (\%)} = 100 \times [\cos(\alpha) - 1]$$

3.7.6. Вимоги до кріплення

Навантажувальний штифт повинен вільно згинатися в опорі. Для цього необхідно перевірити наступне:



- $g \geq 0,01 \times b$ (зазвичай $g \geq 0,2$ мм)
- Залиште зазор (~ 0,2 мм) між системою фіксації та пазом навантажувального штифта. Таким чином, через систему фіксації не буде передаватися навантаження.
- Для більшої точності навантажувальний штифт не повинен зазнавати радіального зусилля або крутного моменту.
- Щоб уникнути впливу крутного моменту, навантаження повинно вільно обертатися навколо штифта (використовуйте антифрикційні елементи або підшипники).

4. Технічні характеристики тензодатчика

Наведені нижче визначення допоможуть вам зрозуміти технічні характеристики тензодатчиків.

4.1. Технічні характеристики, що відповідають вимогам метрології

Юридична метрологія — це сукупність законодавчих, адміністративних та технічних процедур, встановлених державними органами з метою нормативно-правового забезпечення належної якості вимірювань у сферах офіційного контролю, торгівлі, охорони здоров'я, безпеки та охорони навколишнього середовища.

Декілька організацій встановлюють стандарти для галузі вагового обладнання та забезпечують нормативи щодо тензодатчиків, що гарантують точність ваг.

У Європі сертифікат випробувань тензодатчика видається нотифікованим органом ЄС (Європейського Союзу) відповідно до рекомендацій, встановлених OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale — Міжнародна організація з юридичної метрології).



OIML є міжурядовою організацією. Вона була створена з метою сприяння глобальній гармонізації процедур юридичної метрології. OIML надає своїм членам метрологічні рекомендації щодо підготовки вимог, що стосуються виробництва та використання вимірювальних приладів.

Виробник може отримати сертифікат OIML, що підтверджує відповідність приладу вимогам відповідних міжнародних рекомендацій OIML. Для ваг рекомендації є такими:

- **OIML R60:** Перелік вимог щодо тензодатчиків.
- **OIML R76:** Керівні принципи щодо неавтоматичних ваг (NAWI).
- **OIML R51:** Наставови щодо автоматичних ваг (NAWI), таких як сортувально-маркувальні машини
- **OIML R61:** Керівні принципи щодо автоматичних ваг (NAWI), таких як машини для наповнення та зважування

4.1.1. Клас точності

Для ваг важливі дві метрологічні характеристики:

- **Поділка:** це розмітка на вагах, яку також називають «інтервалом»
- **Максимальна вага** — це найбільша вага, яку можна виміряти на приладі

Нормативні документи не встановлюють мінімальних значень для цих характеристик відповідно до конкретного застосування, за винятком перевірки фасованих продуктів, для яких вимагається мінімальний рівень.

Тому метрологічні характеристики визначаються з урахуванням максимально допустимої похибки для конкретного застосування та продукту, що зважується.

Неавтоматичні ваги випробовуються та сертифікуються відповідно до OIML R76 і класифікуються за їхніми характеристиками:

Клас точності приладу	Інтервал шкали верифікації (e)	Кількість інтервалів шкали верифікації (n = Max/e)	
		Мін	Макс
I - Спеціальний	$0,001\ r \leq e$	50 000	-
II - Високий	$0,001\ r \leq e \leq 0,5\ r$ / $0,1\ r \leq e$	100/5 000	100 000
III - Середній	$0,1\ r \leq e \leq 2\ r$ / $5\ r \leq e$	100/500	10 000
IIIІ — Звичайний	$5\ r \leq e$	100	1 000

- Для комерційних застосувань зважування або для контролю виробничих процесів найчастіше використовується клас III з діапазоном від 500 до 10 000.

Тензодатчики вважаються частиною вагового приладу, вони випробовуються та сертифікуються відповідно до рекомендації **OIML R60** і класифікуються за їхніми характеристиками:

Клас точності тензодатчика	Максимальна кількість інтервалів (n_{max})
A - Спеціальний	> 50 000
B - Високий	100 000
C - Середній	10 000
D — Звичайний	1000

Тензодатчик класифікується за літерою (від A до D) та за **максимальною кількістю інтервалів** (n_{max}), вираженою в одиницях 1000. Наприклад, C3 означає клас C з 3000 інтервалами OIML.

- ▶ Тензодатчики з тензометричними датчиками легко досягають класу точності C або D. Тому вони дозволяють створювати ваги класу III або IV, придатні для промислових та комерційних .
- ▶ Ці тензодатчики, як правило, економічні, точні, надійні та мають тривалий термін експлуатації. Крім того, вони займають мало місця для монтажу, тому їх легко встановлювати.

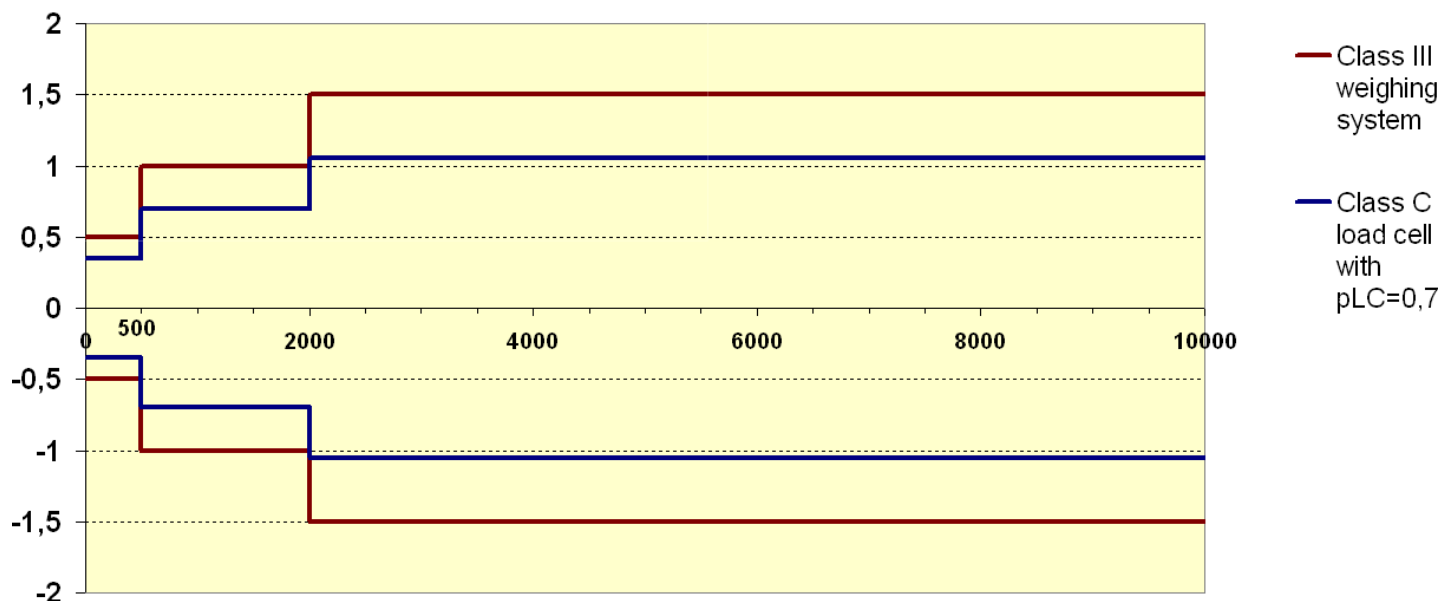
4.1.2. Максимально допустима похибка — mpe

На графіку нижче показано максимальну допустиму похибку (mpe) у залежності від кількості інтервалів:

- Для вимірювальних приладів класу III (OIML R76).
- Для тензодатчика класу C з $pLC=0,7$ (OIML R60).

Значення pLC (за замовчуванням 0,7) відображає похибку, пов'язану з тензодатчиком у повноцінному ваговому приладі.

OIML Acceptance tolerance table



4.1.3. Мінімальний інтервал верифікації — v_{min}

Для тензодатчика, сертифікованого в галузі метрології, це найменше значення маси, на яке можна розділити діапазон вимірювання без перевищення максимально допустимої похибки.

4.1.4. Максимальна кількість інтервалів — n_{max}

Для тензодатчика, сертифікованого в галузі метрології, це максимальна кількість інтервалів повірки, на які можна розділити діапазон вимірювання без перевищення максимально допустимої похибки.

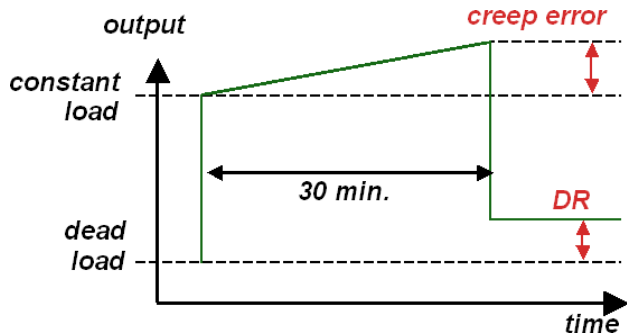
4.1.5. Повзучість, повернення до нуля

- **Повзучість**

Це часова зміна вихідного сигналу тензодатчика під дією постійного навантаження. У законодавчій метрології зміна сигналу, виміряна через 30 хвилин після зняття навантаження (>90 % E_{max}), не повинна перевищувати 0,7-кратного значення трє для застосованого навантаження.

- **Мінімальне відхилення вихідного сигналу при нульовому навантаженні (DR)**

У законодавчій метрології це різниця у вихідному сигналі тензодатчика при мінімальному мертвому навантаженні, виміряна до та після 30-хвилинного прикладання певного навантаження (>90% від номінальної ємності тензодатчика).



- Для тензодатчика повернення до мінімального власного навантаження характеризує його здатність повертатися до початкового значення після прикладання навантаження.

4.2. Технічні характеристики

- **Мінімальне власне навантаження (E_{min})**

Найменше значення величини (маси), яке може бути прикладене до тензодатчика без перевищення «трє».

- **Максимальне (E_{max}) та номінальне навантаження**

Найбільше значення величини (маси), яке можна прикласти до тензодатчика, не перевищуючи «трє».

Номінальна ємність — це навантаження, яке можна прикласти для досягнення вихідної напруги, що дорівнює номінальній чутливості. Це навантаження зазвичай дорівнює E_{max} .

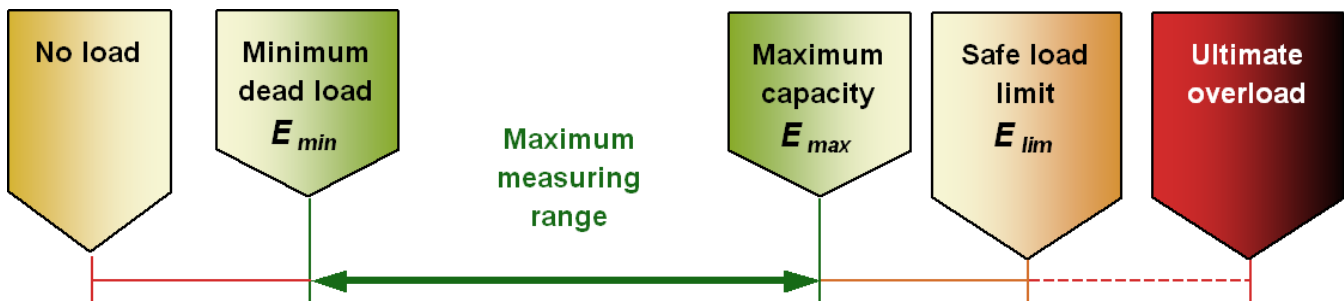
Діапазон вимірювання тензодатчика — це допустимий робочий діапазон тензодатчика, що визначається E_{min} та E_{max} .

- **Межа безпечного навантаження (E_{lim})**

Максимальне навантаження, яке можна прикласти без виникнення постійних змін у робочих характеристиках.

- **Граничне перевантаження**

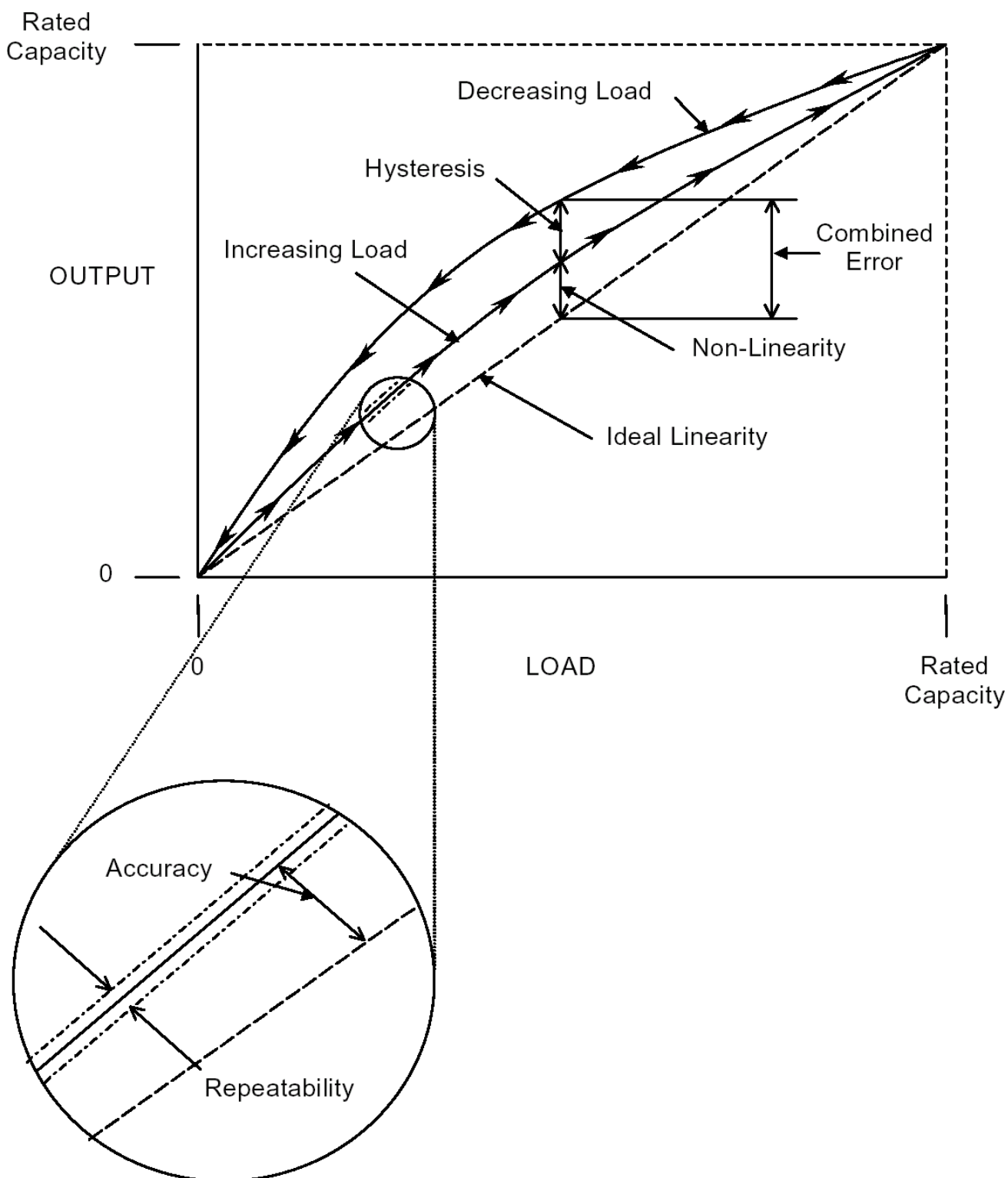
Це максимальне навантаження, яке можна прикласти без фізичного руйнування тензодатчика.



4.3. Метрологічні характеристики

4.3.1. Сукупна похибка

За відсутності будь-яких факторів впливу взаємозв'язок між вихідним сигналом тензодатчика та прикладеним навантаженням буде суцільною кривою, що демонструє певну нелінійність та гістерезис. Максимальне відхилення вихідного сигналу між калібрувальною кривою та ідеальною кривою є комбінованою похибкою.



- **Нелінійність:** Відхилення калібрувальної кривої тензодатчика при зростаючому навантаженні від ідеальної кривої, яка проходить через нуль і через вихідну напругу тензодатчика при номінальній навантаженні.
- **Гістерезис:** Різниця між вихідними значеннями тензодатчика для одного й того ж прикладеного навантаження, одне з яких отримано шляхом збільшення навантаження від мінімального значення, а інше — шляхом зменшення навантаження від номінальної ємності.

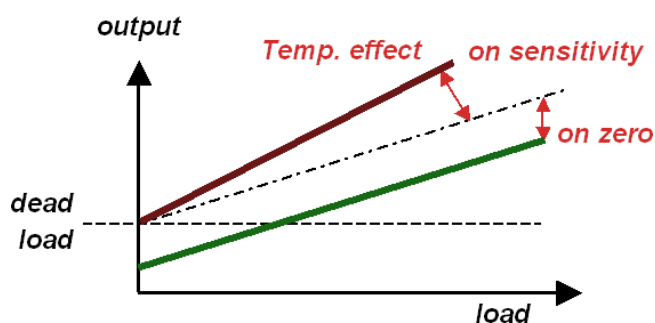
4.3.2. Номинальна чутливість

Значення, отримане шляхом віднімання вихідного сигналу без навантаження від вихідного сигналу, отриманого при номінальній потужності. Чутливість виражається значенням вихідної напруги на одиницю напруги збудження.

4.3.3. Вплив температури

Існує два різних температурних ефекти:

- **Вплив температури на нульове значення:** це зміна мінімального вихідного сигналу при постійному навантаженні, зумовлена зміною температури навколишнього середовища. У метрології це зміна сигналу повинна бути не більшою за $PLC \times V_{min}$ при зміні температури на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у межах діапазону температур, що компенсується.
- **Вплив температури на чутливість:** це зміна чутливості внаслідок зміни температури навколишнього середовища. У законодавчій метрології важливо залишатися в межах mpe незалежно від коливань температури, що входять до компенсованого діапазону температур.



- **Діапазон компенсованих температур:** без урахування впливу температури на нуль — це діапазон температур, у якому вихідний сигнал компенсується, щоб на нього не впливала похибка, більша за mpe .



- Поширеною помилкою є думка, що сигнал тензодатчика залишається в межах mpe у всьому діапазоні компенсованих температур **без переустановки нуля**.
- Зміна температури нульової точки добре компенсується у всьому діапазоні температур, що підлягає компенсації, але залишається в межах mpe (V_{minPLC}) лише при відхиленні до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у межах усього діапазону.

- **Діапазон робочих температур:** Діапазон температур, у якому тензодатчик може експлуатуватися без постійних змін його властивостей.

4.4. Електричні характеристики

4.4.1. Електричний опір

- **Вхідний опір:** Опір, виміряний між вхідними клемми при розімкнених вихідних клемми у режимі без навантаження.
- **Вихідний опір:** Опір, виміряний між вихідними клемми при розімкнених вхідних клемми у режимі без навантаження.
- **Опір ізоляції:** Прямий опір, виміряний між ланцюгом тензодатчика та його корпусом при напрузі 50 В постійного струму.

4.4.2. Номинальний діапазон напруги збудження

Діапазон напруги збудження, постійного або змінного струму, — це діапазон, у якому на вимірювання не повинні впливати похибки, що перевищують технічні характеристики тензодатчика.

4.5. Рівень захисту від впливу навколишнього середовища

Не розроблено жодного стандарту, що регулював би придатність тензодатчиків до умов навколишнього середовища. За відсутності таких стандартів слід проаналізувати деякі характеристики тензодатчиків, щоб визначити їх придатність до конкретних умов.

4.5.1. Клас захисту IP

Стандарт IP (EN60529) описує ступінь захисту, що забезпечується корпусами електричного обладнання від проникнення твердих сторонніх предметів та води.

Хоча стандарт IP є прийнятним відправним пунктом, він має деякі недоліки:

- Система IP не дозволяє чітко розрізнити тензодатчики різної конструкції.
- Система IP не враховує внутрішню конденсацію або вологу всередині корпусу.

4.5.2. Спосіб герметизації тензодатчика

- **Залиті:** стосується тензодатчиків, які були герметично захищені від впливу навколишнього середовища за допомогою захисного покриття або шляхом заповнення порожнини тензодатчика матеріалом, що захищає датчики від шкідливих факторів навколишнього середовища, таких як волога. Ці тензодатчики зазвичай використовуються для внутрішніх застосувань.
- **Закриті:** це тензодатчики, порожнина тензодатчика яких заповнена герметизуючою сумішшю. Порожнина також механічно захищена бічними пластинами. Ці датчики захищені від звичайних факторів навколишнього середовища при використанні в приміщенні або на відкритому повітрі.
- **Герметично закриті:** це тензодатчики, на яких приварено металевий захисний кожух для захисту порожнини, що містить тензорезистори. Такі тензодатчики забезпечують найкращий захист у агресивних хімічних середовищах або в умовах, що вимагають миття під тиском.



- Тензодатчик з нержавіючої сталі не завжди є герметично закритим.
- Хоча тензодатчики з нержавіючої сталі в корпусі можуть бути придатними для сухих, хімічних або корозійних середовищ, герметичні моделі з нержавіючої сталі є кращим вибором для застосування в умовах високої вологості або миття.

4.5.3. Таблиця класифікації середовищ SCAIME

Спосіб герметизації тензодатчика	Клас захисту IP
У герметичному корпусі	IP64/IP65
У закритому корпусі	IP67
Герметично закритий	IP68/IP69K (залежно від результатів випробувань)

5. Проектування системи зважування

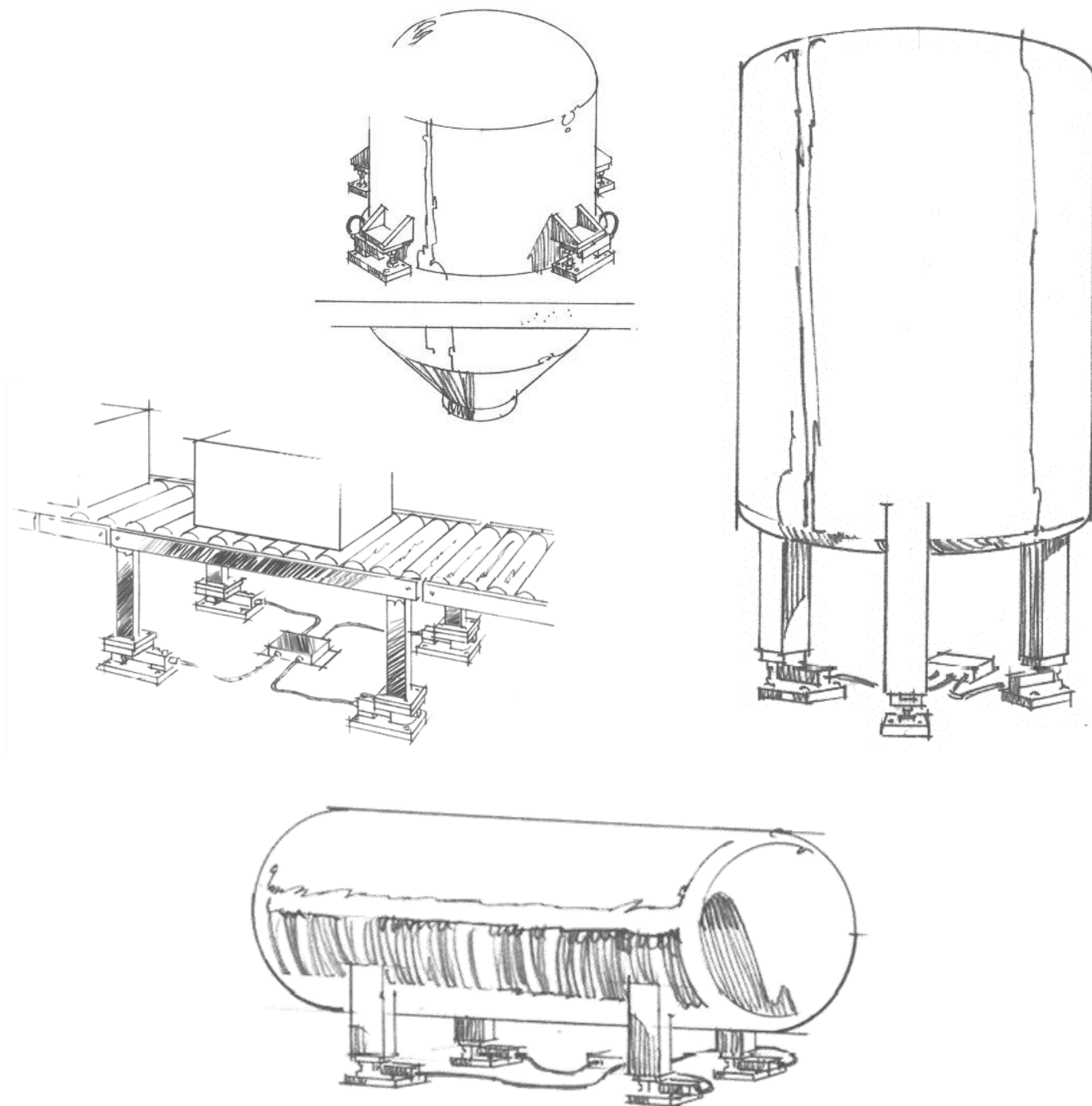
Тензодатчики можуть використовуватися для зважування резервуарів, бункерів або ємностей у різних конфігураціях. Монтаж тензодатчиків вимагає дотримання низки основних правил, а також ретельного проектування, щоб система була точною та мала тривалий термін експлуатації.

5.1. *Стиснення проти розтягування*

Тензодатчики вимірюють сили в одному з двох напрямків: розтягування або стиснення. Використання системи розтягування або стиснення залежить від механічної конструкції навколо ємності та простоти створення системи.

5.1.1. Режим стиснення

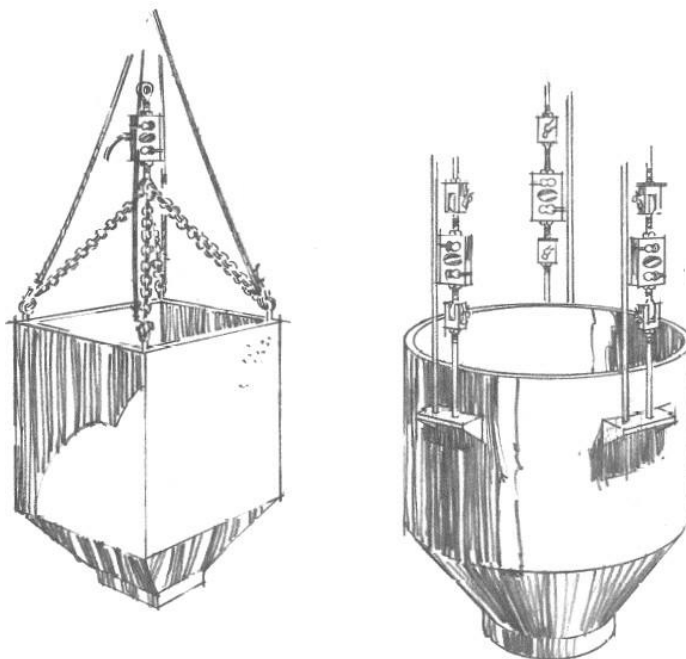
У режимі стиснення конвеєр, резервуар, бункер або силос підтримуються тензодатчиками. Якщо резервуар планується встановити на бетонній плиті, найбільш підходящим методом буде стиснення, оскільки система розтягування вимагатиме встановлення дорогої підвіски.



5.1.2. Режим розтягування

У режимі розтягування ємність підвішується на одному або декількох тензодатчиках. Якщо є відповідна конструкція для застосування розтягування, зазвичай простіше і дешевше підвісити ємність (до 10 тонн). Для ємностей більшої місткості економічно вигідніше забезпечити відповідну основу для зважування під тиском.

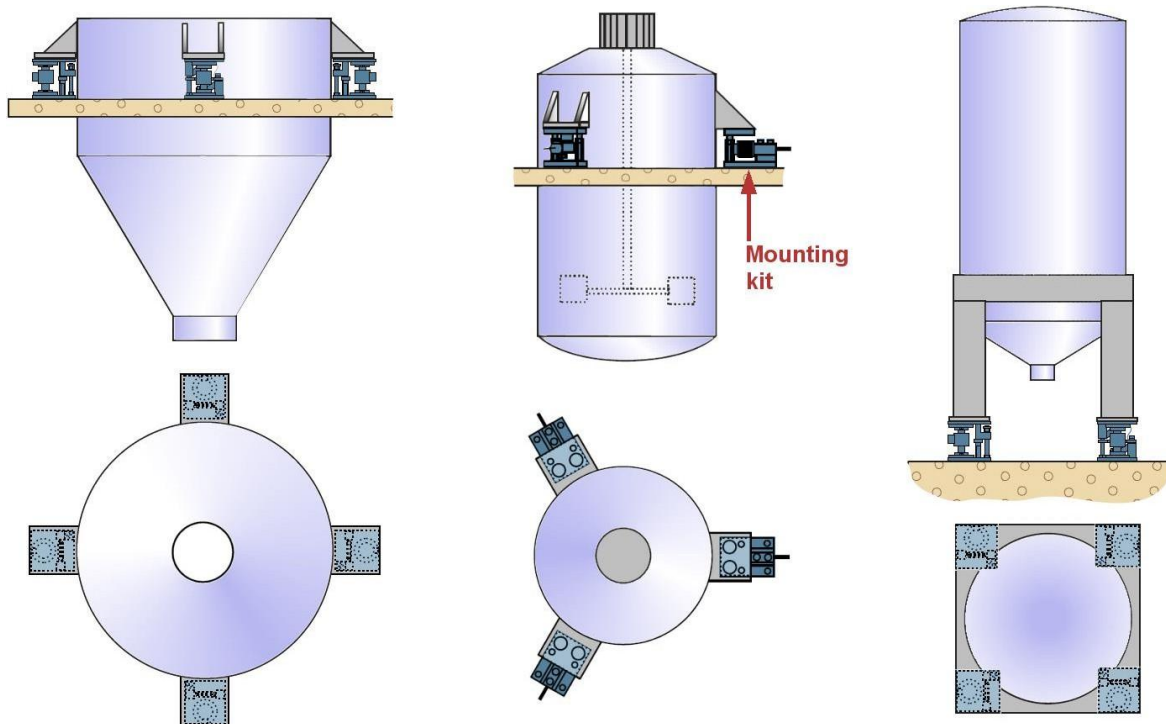
- Теоретично підвішування ємності на одному тензодатчику може бути ідеальним рішенням, але такі установки зазвичай нереальні.
- Найчастіше використовуються конфігурації з трьома або чотирма точками опори.
- Для полегшення впровадження системи компанія SCAIME пропонує кульові шарніри, пристосовані до тензодатчиків типу S.



5.2. Комплекти для монтажу під тиском

Монтажні комплекти дозволяють перетворити будь-яку конструкцію на ваги. Ці комплекти можна інтегрувати в нову конструкцію або додати до існуючої.

Комплекти для компресійного кріплення підходять для більшості застосувань зважування на конвеєрах, резервуарах, бункерах, цистернах або силосах. Вони кріпляться болтами безпосередньо до землі або до балок конструкції. Резервуар або інший приймач навантаження закріплюється зверху на комплекти для кріплення.



Tanks weighing with compression mounting kits

Мета монтажного комплексу — полегшити встановлення тензодатчика та забезпечити його працездатність під час використання.

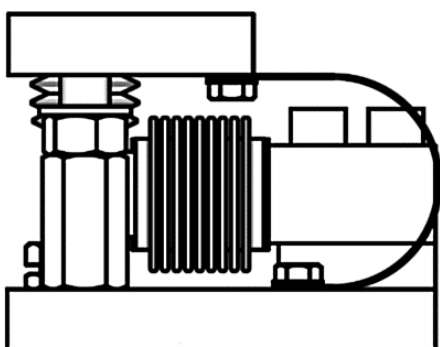
Типові монтажні комплекси складаються з верхньої плити (яка приймає навантаження), опорної плити (прикрученої до підлоги) та пристрою для передачі навантаження на тензодатчик. Цей пристрій відіграє ключову роль у нейтралізації небажаних сил і повинен бути підібраний відповідно до умов експлуатації та необхідної точності.

Деякі комплекси можуть містити додаткове обладнання:

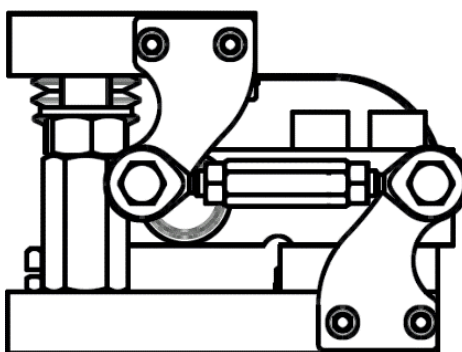
- Пристрій, що запобігає підняттю, щоб запобігти перекиданню ємності.
- Упор для обмеження руху конструкції.
- Стабілізуючий стрижень для поглинання небажаних бічних сил.
- Еластомерний амортизатор для поглинання ударів і вібрацій.

У наступних абзацах наведено опис цих систем для основних монтажних комплектів SCAIME.

5.2.1. Монтажний комплект STABIFLEX



▲ STABIFLEX для тензодатчика F60X

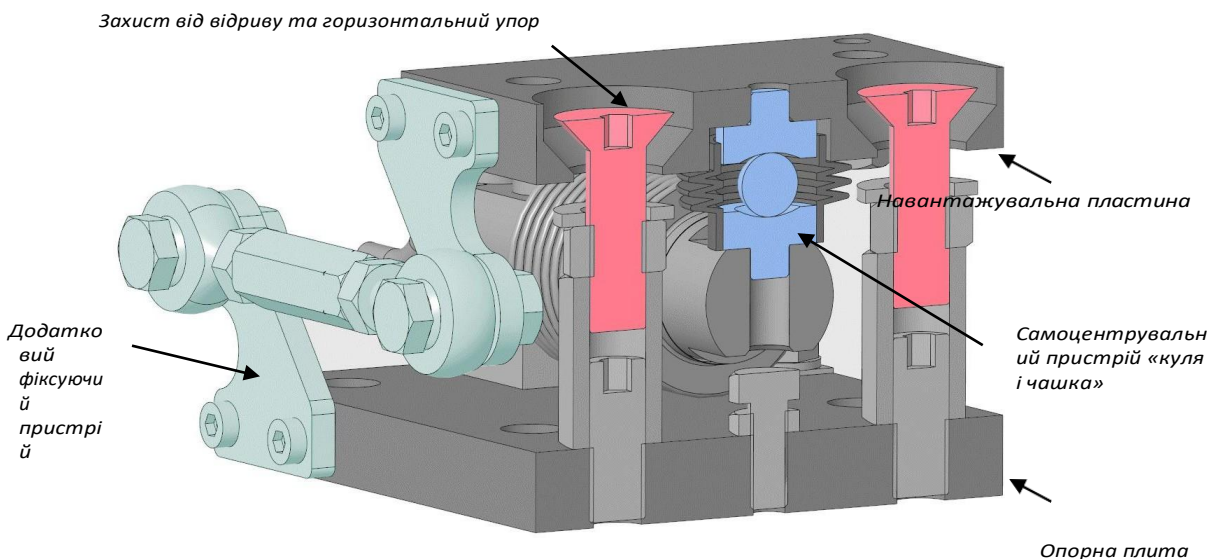


▲ STABIFLEX з фіксуючим пристроєм для тензодатчика SK30X

Монтажний комплект STABIFLEX — це самоцентрувальна система кріплення, що включає кульково-чашковий механізм, який забезпечує найкращі результати зважування для широкого спектра застосувань.

Комплект також оснащений двома упорами, що обмежують вертикальні та горизонтальні переміщення верхньої пластини (рецептора навантаження). Ці пристрої слугують засобом запобігання відриву та захистом від випадкових горизонтальних сил.

- **Комплект STABIFLEX можна використовувати для статичних або динамічних умов експлуатації, за наявності горизонтальних навантажень, у гнучких трубопровідних з'єднаннях, у випадках теплового стиснення/розширення, а також у випадках, коли застосування вимагає високої точності.**



▲ Поперечний переріз комплексу STABIFLEX для тензодатчика F60X

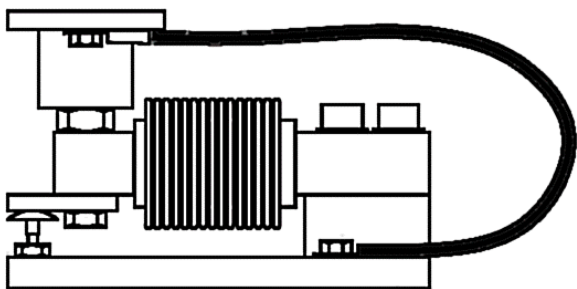
Комплект може бути оснащений фіксуючим пристроєм для запобігання одностороннім горизонтальним переміщенням. Опорна штанга включає кульові шарніри з регульованими кінцями, які з'єднують верхню пластину (рецептор навантаження) з опорною пластиною.

Опорні штанги можуть використовуватися у трьох випадках:

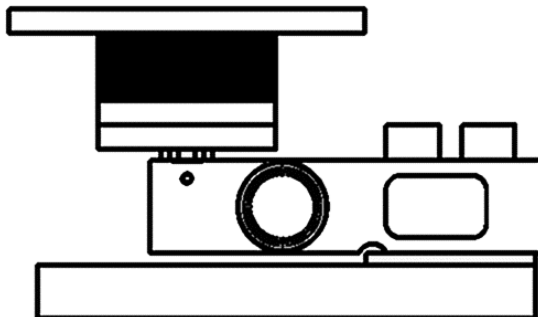
1. Для стабілізації динамічної системи, коли зважування відбувається під час роботи великого змішувача.
2. Для стабілізації системи, коли час стабілізації має вирішальне значення, наприклад, у випадку високошвидкісного конвеєра.
3. Для стабілізації динамічної системи та захисту від пошкодження підключених труб.

► Опорні стрижні погіршують метрологічні характеристики тензодатчиків з низькою вантажопідйомністю. Слід уникати їх використання з тензодатчиками, вантажопідйомність яких не перевищує 100 кг.

5.2.2. Монтажні комплекти RUBBERKIT та ISOFLEX



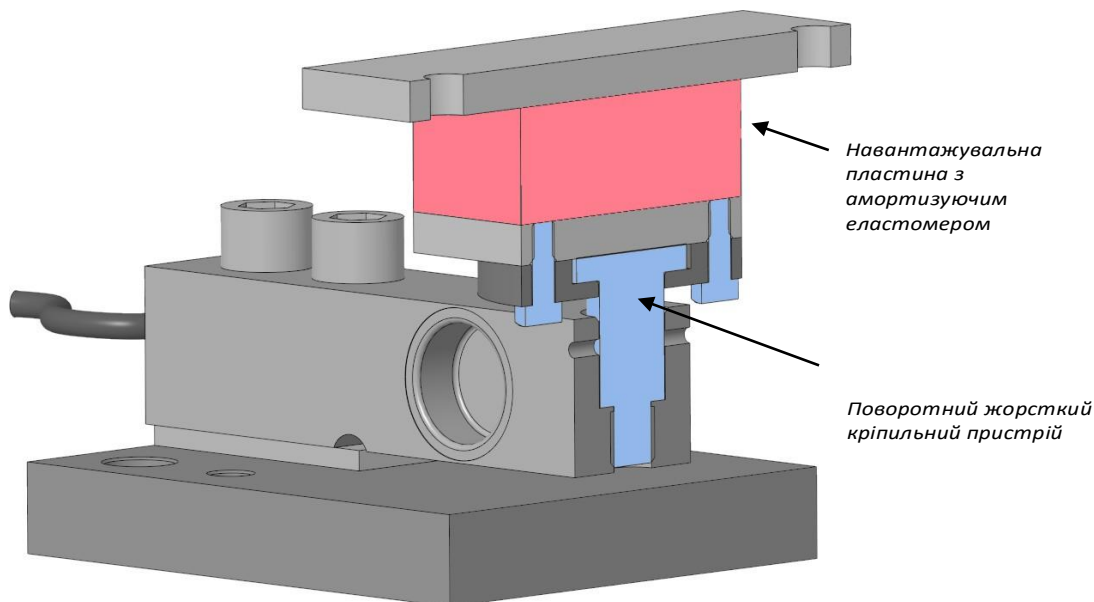
▲ RUBBERKIT для тензодатчика F60X



▲ ISOFLEX для тензодатчика SK30X

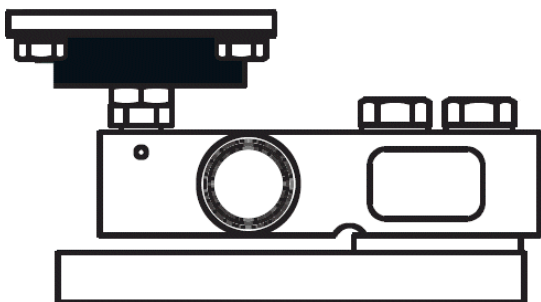
Монтажні комплекти RUBBERKIT та ISOFLEX є жорсткими монтажними системами. Пристроєм передачі навантаження є поворотне болтове з'єднання між приймачем навантаження та тензодатчиком. Ці комплекти містять еластомер для гасіння ударів та вібрацій.

► Комплекти RUBBERKIT та ISOFLEX можна використовувати для статичних або динамічних застосувань, за наявності горизонтальних сил, трубних з'єднань, але з низьким тепловим стисканням/розширенням.



▲ Поперечний переріз комплекту ISOFLEX для тензодатчика SK30X

5.2.3. Монтажний комплект QUICKFIT

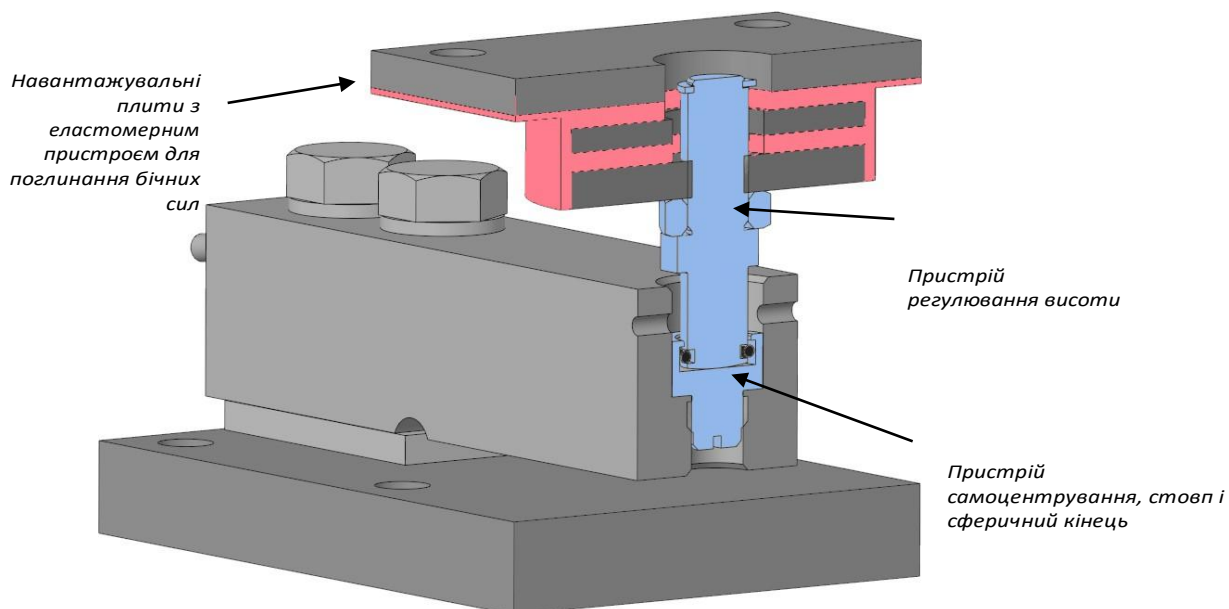


◀ QUICKFIT для тензодатчика SK30X

Монтажний комплект QUICKFIT — це самоцентрувальне кріплення, що забезпечує точне передавання навантаження для високої точності в широкому діапазоні застосувань.

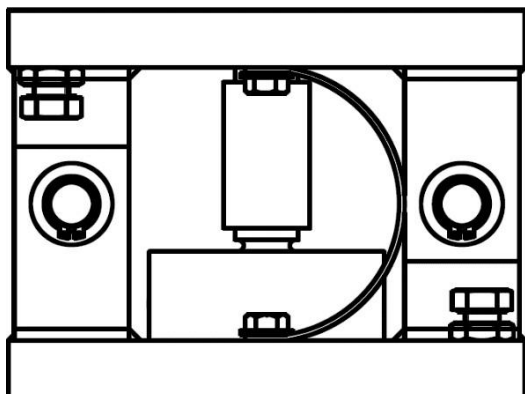
Пристрій передачі навантаження — це стовп із сферичним кінцем, закріплений на шарнірі в тензодатчику. Цей стовп прикручений болтами до регульованої по висоті навантажувальної пластини, що містить еластомерну систему для поглинання бічних сил.

- ▶ Комплект QUICKFIT можна використовувати для статичних або динамічних застосувань, за наявності горизонтальних сил, трубних з'єднань з тепловим стискуванням/розширенням.

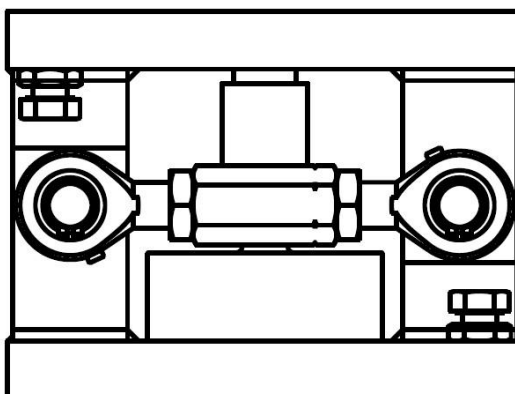


▲ Поперечний переріз комплекту QUICKFIT для тензодатчика SK30X

5.2.4. Монтажний комплект SILOSAFE



▲ SILOSAFE для тензодатчика R10X



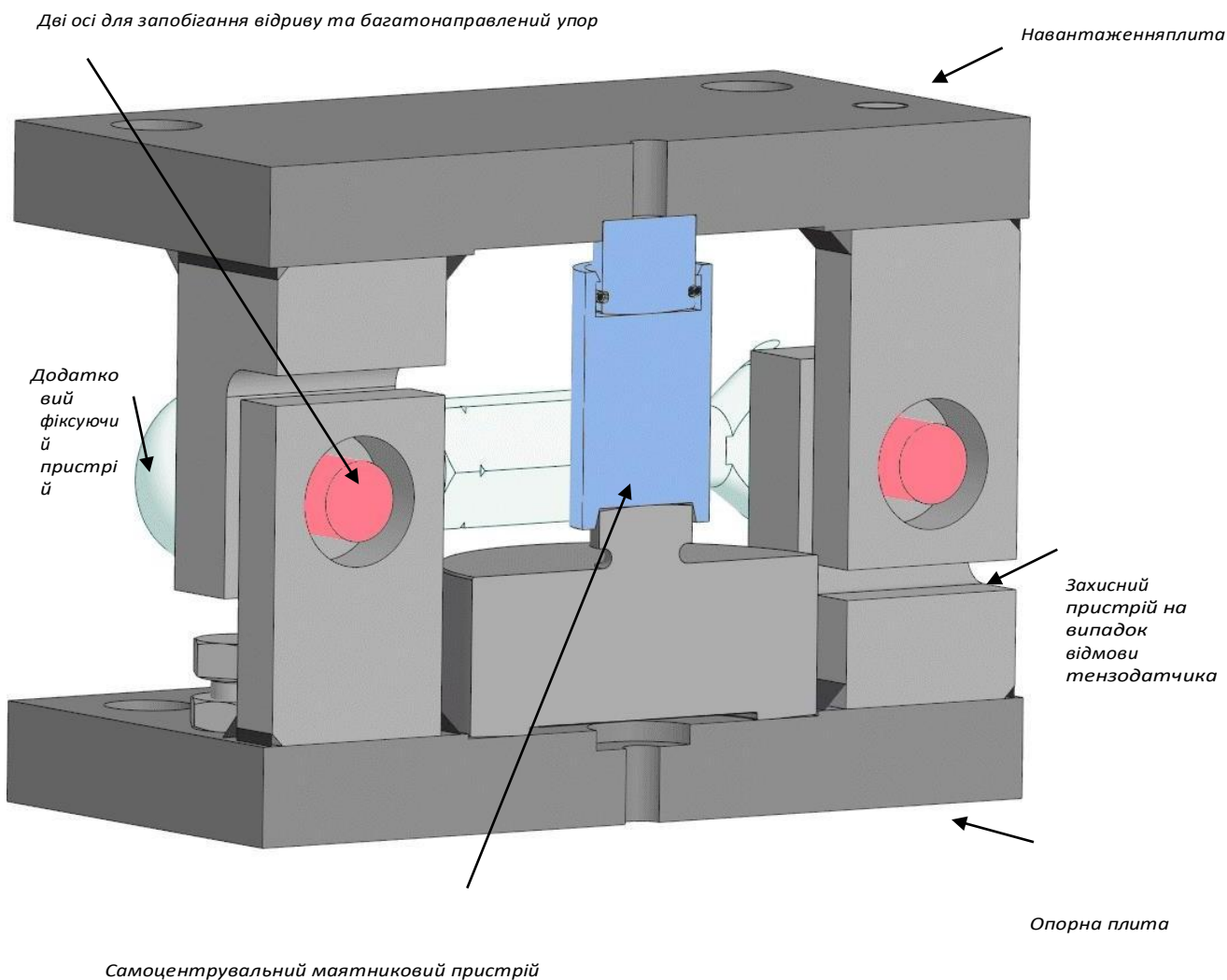
▲ SILOSAFE з фіксуючим пристроєм для тензодатчика R10X

Монтажний комплект SILOSAFE — це вузол із самоцентрувальним маятниковим пристроєм передачі навантаження з двома сферичними кінцями. Цей пристрій забезпечує найкращі результати зважування для всіх застосувань з великим навантаженням.

Комплект також оснащений двома осями, що використовуються як упори, які обмежують бічні багатонаправлені рухи верхньої пластини (рецептора навантаження). Ці надзвичайно міцні пристрої слугують засобом запобігання відриву та захистом від випадкових горизонтальних сил.

Цей монтажний комплект також розроблений з урахуванням безпеки: у разі виходу з ладу тензодатчика опора навантажувальної плити спирається на опору базової плити.

- **Комплект SILOSAFE можна використовувати для статичних або динамічних застосувань, за наявності горизонтальних сил, гнучких трубних з'єднань, з урахуванням теплового стиснення/розширення, а також коли застосування вимагає високого рівня безпеки.**



▲ Поперечний переріз комплекту SILOSAFE для тензодатчика R10X

Комплект може бути оснащений одним або двома фіксуючими пристроями для запобігання одностороннім горизонтальним переміщенням. Стійка включає кульові шарніри з регульованими кінцями, які з'єднують верхню пластину (рецептор навантаження) з опорною пластиною через вісь запобігання підйому.

Опорні штанги можуть використовуватися у трьох випадках:

4. Для стабілізації динамічної системи, коли зважування відбувається під час роботи великого змішувача.
5. Для стабілізації системи, коли час стабілізації має вирішальне значення.
6. Для стабілізації динамічної системи та захисту від виходу з ладу підключених труб.

5.3. Характеристики системи зважування

Точність, роздільна здатність та повторюваність — це основні поняття, що використовуються для оцінки продуктивності системи зважування.

5.3.1. Роздільна здатність

Роздільна здатність — це найменша зміна ваги, яку може виявити цифрова система зважування. Роздільна здатність вимірюється як кількість кроків (інтервалів).

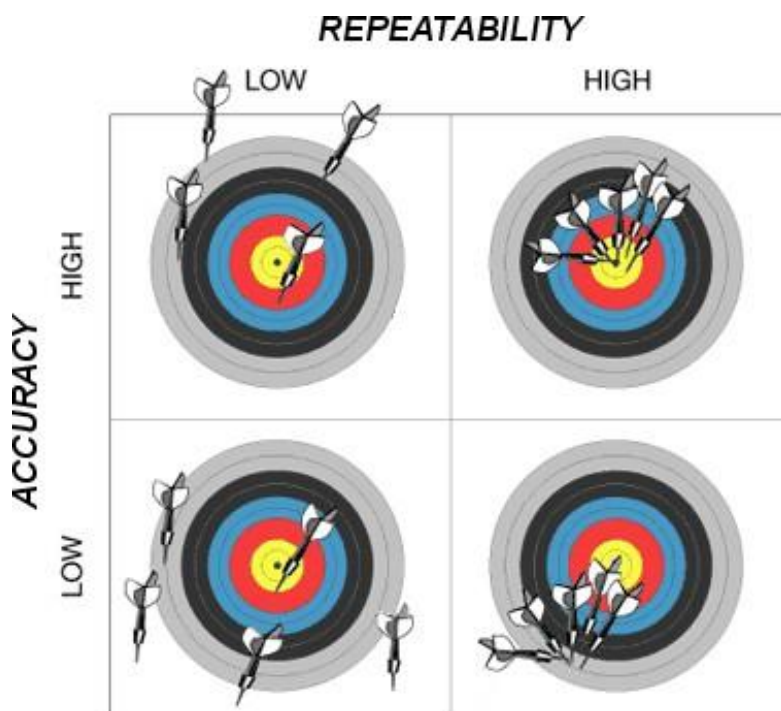
Для аналогового тензодатчика це поняття не має сенсу, оскільки воно залежить лише від здатності електроніки системи виявляти зміну сигналу тензодатчика.

У багатьох випадках, що вимагають обробки вимірювальних даних, таких як цифрове фільтрування, визначення стабільності вимірювання, обчислення результату зважування або зупинка наповнення ваги, електронна система зважування повинна підтримувати дуже малу роздільну здатність, наприклад 0,01 кг. Однак це не означає, що точність системи становить 0,01 кг.

У законодавчій метрології, щоб не вводити користувача в оману, відображуваний результат не може перевищувати точність. З іншого боку, під час обробки вимірювань та виконання різних функцій індикатор або передавач використовує набагато вищу внутрішню роздільну здатність, зазвичай у 10 разів вищу за роздільну здатність дисплея.

5.3.2. Точність і повторюваність

- **Точність** являє собою різницю між вагою, що відображається вагами, та фактичною вагою. Точність ваг зазвичай вимірюється за визнаним стандартом, таким як контрольні гири.
- **Повторюваність** — це здатність ваг відображати однакове значення кожного разу, коли зважується однакове навантаження. Це особливо важливо для процесів наповнення, які вимагають використання однакової кількості матеріалу для кожної партії.



- ▶ Повторюваність і точність йдуть рука об руку. Можна мати повторювану систему, яка не є точною, але не можна мати точну систему, якщо вона не є повторюваною.

5.4. Скільки тензодатчиків?

Кількість тензодатчиків, необхідних для підтримки ємності, зазвичай залежить від її конструкції.

Ідеальним варіантом є використання 3 тензодатчиків. Якщо резервуар підтримується 4 або більше тензодатчиками, загальну вагу можуть витримувати лише 3 або, у найгіршому випадку, лише 2 тензодатчики. У цьому випадку на цих датчиках може виникнути перевантаження.

Вимірюючи вихідний сигнал кожного окремого тензодатчика, таку ситуацію можна виявити та виправити, розмістивши прокладки під найменш навантаженими датчиками.



- Тензодатчики слід розміщувати таким чином, щоб кожен з них витримував однакову вагу.

5.4.1. Сила, що діє на тензодатчик

Тензодатчики повинні витримувати загальне прикладене навантаження в нормальних та екстремальних умовах. Максимальна вантажопідйомність тензодатчика, C_{LC} , повинна відповідати наступній формулі:

$$C_{LC} \geq \frac{Q \times (Tare + C_{LIVE})}{N}$$

Де:

- **Tare**: Тара або власна вага (кг)
- C_{LIVE} : Максимальне навантаження (кг)
- **Q**: Коефіцієнт безпеки
- **N**: Кількість тензодатчиків

5.4.2. Коефіцієнт безпеки

Не існує правил визначення коефіцієнта безпеки Q , який зазвичай залежить від умов навколишнього середовища:

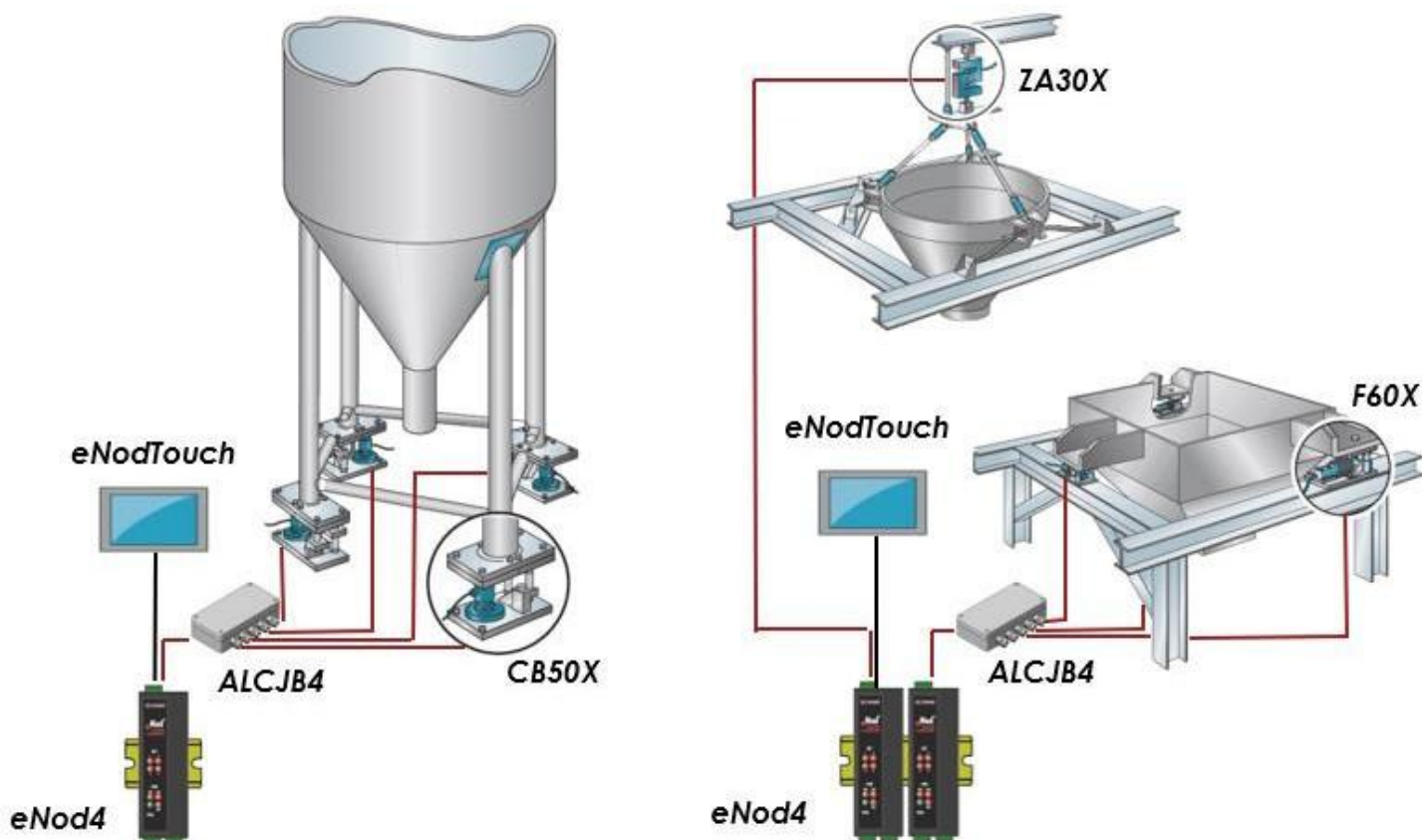
- Умови ексцентричного навантаження
- Діапазон початкового обнулення (20 % від номінального навантаження)
- Удари та динамічне навантаження
- Вітрові навантаження
- Конструкція приймача навантаження

Деякі приклади для інформації:

	Q
4 тензодатчики платформних ваг	1,8
Внутрішній резервуар	1,3
Ємність із змішувачем	1,7
Ваговий міст	2
1 платформа з тензодатчиком	1,4

5.5. Можливості системи зважування

При проектуванні системи з необхідною роздільною здатністю необхідно оцінити сумісність комбінації тензодатчиків та індикатора або передавача.



▲ Приклади систем зважування з 1, 3 або 4 тензодатчиками

5.5.1. Роздільна здатність системи

Бажану роздільну здатність системи можна визначити за допомогою такої формули:

$$\text{Signal par échelon } (\mu V) = \frac{\text{Echelon} \times \text{Sensibilité capteur (mV/V)} \times \text{Tension alim (V)} \times 1000}{\text{Capacité nominale capteur} \times \text{Nombre de capteurs}}$$

- Розрахований сигнал за приростом повинен бути більшим за мінімально допустимий для даного індикатора (як зазначено в його технічному паспорті).

Приклад

Візьмемо ємність з чотирма тензодатчиками на 5000 кг (2 мВ/В), підключеними до вагового перетворювача eNod4.

Ви хочете мати можливість зважувати до 15 000 кг з кроком 2 кг (на дисплеї відображається 7500 кроків).

Використовуйте формулу для визначення сигналу на один крок:

$$\frac{2\text{kg} \times 2 \text{ mV/V} \times 5 \text{ VDC} \times 1000}{5000\text{kg} \times 4} = 1 \mu V$$

Мінімальний допустимий рівень сигналу для eNod4 становить 0,5 мкВ на крок. Оскільки сигнал у 1 мкВ, отриманий за формулою, перевищує 0,5 мкВ, ви повинні мати змогу відобразити

5.5.2. Напряга збудження

У вимірювальному ланцюзі напруга збудження, що подається датчиком, повинна бути придатною для живлення тензодатчиків.

$$\text{Опір системи зважування розраховується: } Z = \frac{R_{LC}}{N} (\Omega)$$

N

Де:

- R_{LC} : вхідний опір тензодатчика
- N : кількість тензодатчиків

$$\text{Напряга збудження повинна забезпечувати інтенсивність: } I_{ALIM} = \frac{U_{ALIM}}{Z}$$

Де:

- U_{exc} — напруга збудження тензодатчика

► **Переконайтеся, що $Z > R_{min}$ (мінімальний імпеданс індикатора) або $I_{exc} < I_{max}$ (максимальна інтенсивність індикатора)**

5.6. Визначення точності системи

Перше питання, яке повинен задати собі розробник системи зважування: якої точності може досягти система зважування?

Простої відповіді на це немає, оскільки на точність і повторюваність системи зважування можуть впливати багато факторів.

- **Фактори, пов'язані з тензодатчиками:** тип, кількість, номінальне навантаження, характеристики (див. §4)
- **Механічні фактори:** форма резервуара, опорна конструкція, трубопроводи
- **Фактори навколишнього середовища:** вітер, температура, вібрація
- **Калібрування**

Найпростішим першим кроком є визначення максимальної точності, якої можна досягти з обраними тензодатчиками, та вивчення різних факторів впливу, щоб спробувати мінімізувати їхні наслідки.

Щоб визначити точність, яку може досягти система зважування, необхідно знати такі елементи:

- Вагова здатність системи (C_{live}): це максимальне навантаження, що прикладається до системи, за винятком власного ваги (порожньої тари).
- Власне навантаження або порожня тара (**Tare**): це навантаження, що прикладається до датчиків, коли вони порожні (вага вагової платформи, вага порожнього резервуара)
- Кількість використовуваних коміркових навантажень (**N**)

Проектувальник системи зважування також повинен проаналізувати вимоги до її застосування: комерційне або внутрішнє використання, точність вимірювання, повторюваність або стабільність, або швидкість зчитування.

► **Щоб допомогти проектувальнику в цьому аналізі, у наведеному нижче посібнику з оцінки узагальнено основні параметри, які слід враховувати при проектуванні системи зважування, відповідно до сфери застосування та необхідної точності.**

5.6.1. Посібник з аналізу системи зважування

Дані системи				
Необхідна точність	Висока	Середня	Низька	Виявлення
Точність системи (% від ємності)	від $\pm 0,01$ до $0,03$	від $\pm 0,03$ до $0,1$	від $\pm 0,1$ до $0,5$	$> \pm 0,5$
Застосування	Контроль ваги			
	Дозування - наповнення			
	Змішування - Формулювання			
		Переміщення матеріалу		
			Рівень у резервуарі для зберігання	
Обладнання для систем зважування				
Сертифікація тензодатчиків	OIML C6, C3	OIML C3	OIML D1, не сертифіковано	Не сертифіковано
Сумарна похибка тензодатчика	від $\pm 0,008$ до $0,02$	від $\pm 0,02$ до $0,05$	від $\pm 0,05$ до $0,2$	$\pm 0,2$ або менше
Діапазон роботи тензодатчика (% номінальної потужності)	≥ 50	≥ 30	≥ 30	≥ 20
Навантаження монтажного комплекту	Куля та чашка, маятник	Куля і чашка, маятник, ковзний	Куля та чашка, маятниковий, ковзний, жорсткий	Куля та чашка, маятник, ковзний, жорсткий Використання шарнірів
Фальшиві тензодатчики або шарніри	-	-	-	Для рідин/газів
Параметри монтажу				
Трубні з'єднання	Гнучкі	Гнучкі	Гнучкі або жорсткі	Гнучкі або жорсткі
Конструкція	Жорстке ізолювання від факторів навколишнього середовища	Жорсткий, ізолюваний від факторів навколишнього середовища	Жорсткий	Жорсткий
Параметри навколишнього середовища				
Діапазон температур тензодатчика	У межах номінального діапазону	У межах номінального діапазону	У межах номінального діапазону	У межах робочого діапазону
Вібрації	Ні	Обмежена, використання засобів гасіння вібрації	Обмежено, використання гасіння вібрацій	Використання гасіння вібрацій
Вітер, протяги	Ні, застосування у приміщенні	У межах можливостей монтажного комплекту	У межах можливостей монтажного комплекту	У межах можливостей монтажного комплекту
Калібрування				
Процедура	Контрольні гири, заміна матеріалу	Контрольні гири, заміна/перенесення матеріалу	Заміна/перенесення матеріалу	Теоретична
Електроніка				
Електронна сертифікація	OIML 6000d	OIML 3000d	-	-
Розширений цифровий фільтр	Так	За потреби	За потреби	Ні

5.6.2. Визначення точності за характеристиками OIML R60

Для оцінки точності (юридична метрологія) використовуються характеристики OIML R60 тензодатчиків.

- Максимальна кількість інтервалів верифікації: n_{\max}
- Мінімальний інтервал верифікації: $v_{\min(LC)}$

Перед цим необхідно перевірити, чи відповідає номінальне навантаження тензодатчика вимогам застосування.

Ми обчислюємо мінімальний інтервал для системи з урахуванням мінімального інтервалу для тензодатчиків:

$$V_{\min(sys)} = V_{\min(LC)} \times \sqrt{N}$$

Ми також обчислюємо інтервал для системи у співвідношенні до максимальної кількості інтервалів для тензодатчиків та вагової ємності системи:

$$e_{(sys)} = \frac{C_{LIVE}}{n_{\max}}$$

Потім перевіряємо сумісність двох результатів:

- ▶ Якщо $e_{(sys)} \geq v_{\min(sys)}$, результат $e_{(sys)}$ (округлений у більшу сторону, кратний 1, 2 або 5) можна вибрати як інтервал для системи
- ▶ Якщо $e_{(sys)} \leq v_{\min(sys)}$, то результат $v_{\min(sys)}$ (округлений у більшу сторону, кратний 1, 2 або 5) можна вибрати як інтервал для системи

Приклад

Візьмемо наш резервуар місткістю **15 000 кг** з чотирма тензодатчиками по **5 000 кг**, підключених до передавача ваги eNod4. Вміст ємності становить **15 000 кг**.

Ми хочемо виміряти вагу відповідно до вимог законодавчої метрології і потребуємо найкращого можливого інтервалу для цієї системи.

Дані тензодатчика: $n_{\max} = 3000$ та $V_{\min} = 0,5$ кг

Розрахунок мінімальних інтервалів для системи виглядає наступним чином:

- $v_{\min(sys)} = 0,5 \times \sqrt{4} = 1$ кг

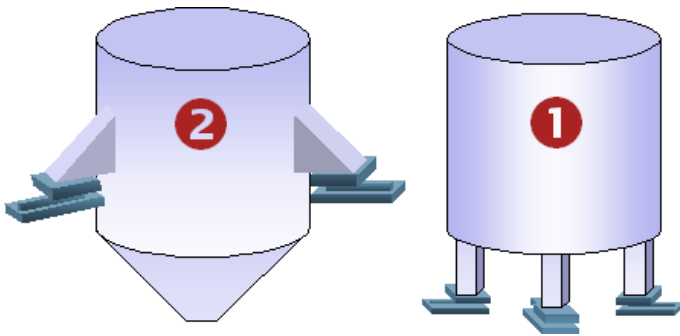
Розрахунок інтервалу щодо максимальної кількості інтервалів та ємності:

- $e_{(sys)} = 15\,000 / 3\,000 = 5$ кг

- ▶ Якщо користувач бажає використовувати повну місткість ємності (15 000 кг), то найкращим можливим інтервалом для системи буде $e_{(sys)} = 5$ кг
- ▶ Якщо користувач віддає перевагу вищій точності, ємність не повинна використовуватися на повну потужність:
 - Інтервали по 1 кг для корисної місткості 3 000 кг
 - Інтервали 2 кг для корисної місткості 6 000 кг

5.7. Розташування тензодатчика

Тензодатчики зазвичай встановлюються:

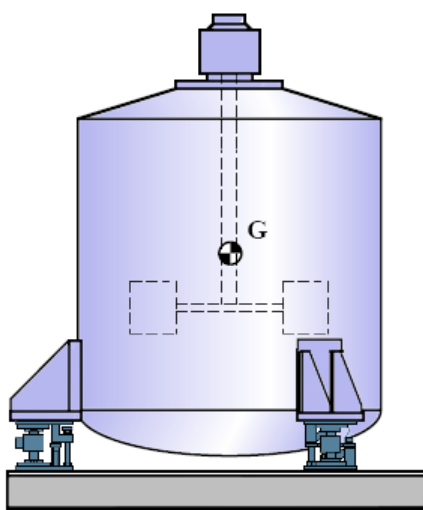
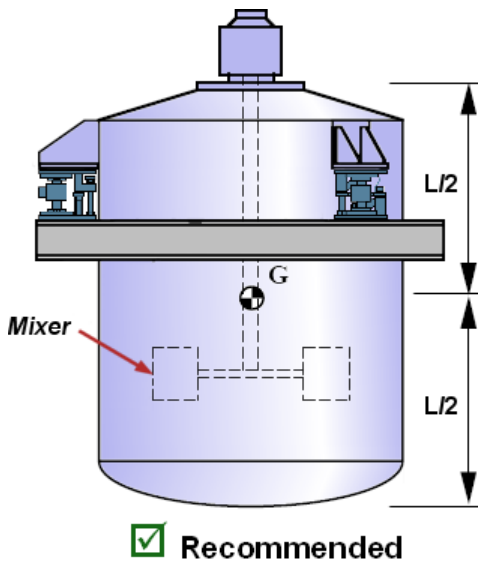


- 1 Під ніжками посуду.
- 2 Між кронштейном з розпіркою та мезонином.

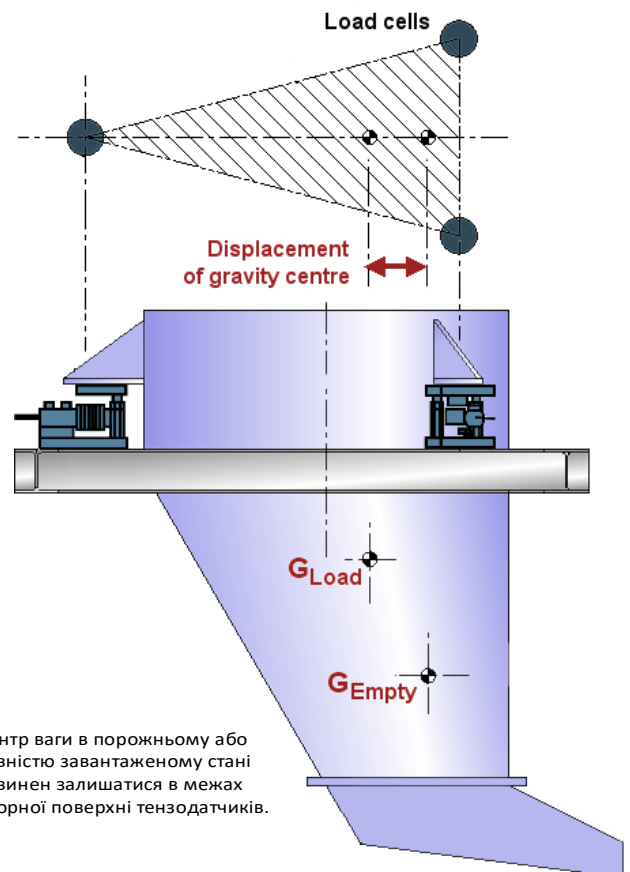
Встановлення пристрою під ніжками є цілком прийнятним. Однак другий варіант є найкращим завдяки природній стійкості, яку забезпечує низький центр ваги.

Кілька прикладів розміщення тензодатчиків

▼ Ємність із змішувачем



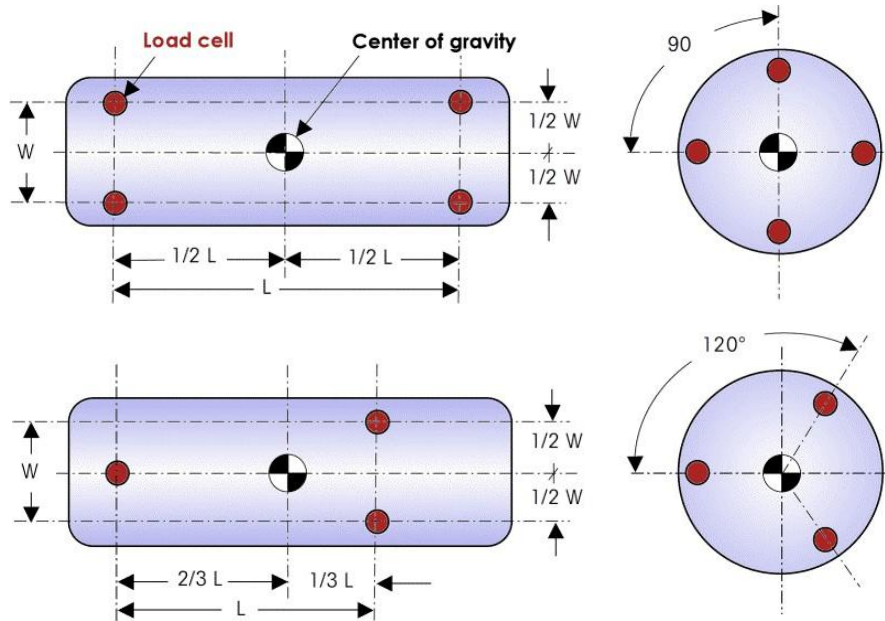
▼ Ексцентрична ємність із змінним центром ваги



Центр ваги в порожньому або повністю завантаженому стані повинен залишатися в межах опорної поверхні тензодатчиків.

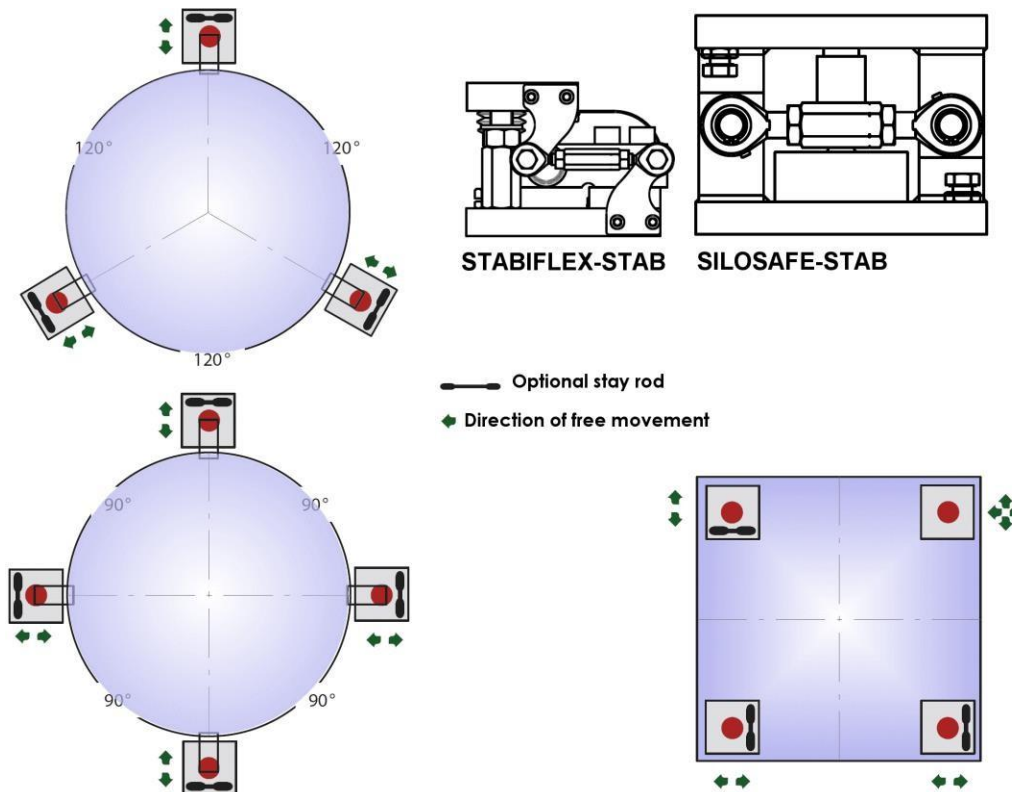
Сплануйте розміщення тензодатчиків так, щоб вони могли витримувати приблизно однакову вагу. Перевірте, чи правильно орієнтовані монтажні комплекти один щодо одного. Орієнтація модуля зважування залежить від його конструкції і може залежати від параметрів стабілізації системи.

Приклади розміщення монтажних комплектів — ємність на 3 та 4 опорах



- За цих нормальних умов зважування на всі тензодатчики має діяти сила, спрямована вниз.

Приклади орієнтації монтажних комплектів із фіксуючими пристроями

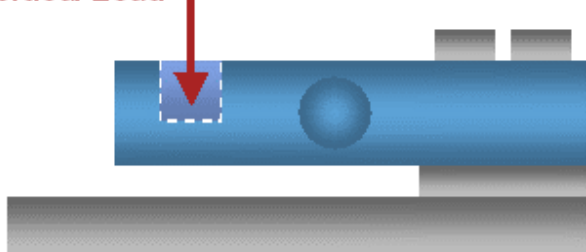


- Фіксуючі пристрої повинні бути орієнтовані таким чином, щоб усунути небажані горизонтальні сили, одночасно забезпечуючи можливість теплового розширення конструкції.

5.8. Введення навантаження

Тензодатчики, оснащені тензометричними датчиками, мають достатню чутливість для виявлення навіть найменших коливань ваги. Мета полягає в тому, щоб вони реагували лише на вагу, яку потрібно виміряти, а не на інші сили. Для отримання точних показань ваги необхідно ретельно контролювати, як і де прикладається навантаження.

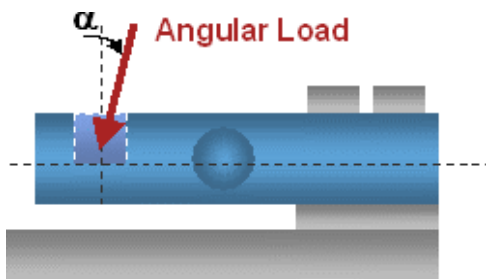
Vertical Load



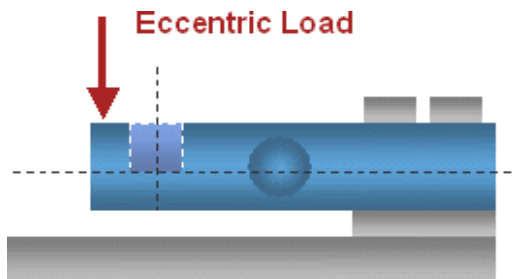
- Тензодатчик слід встановлювати так, щоб навантаження завжди прикладалося вертикально в усьому діапазоні ваги.
- Для цього опора тензодатчика повинна бути рівною, паралельною та жорсткою.

Проблеми з силою навантаження

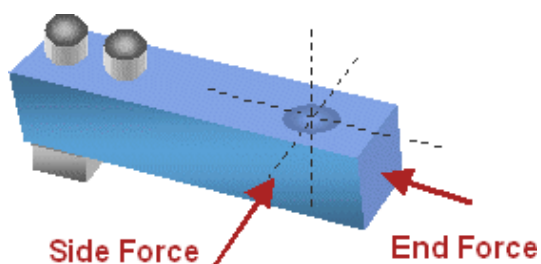
Якщо тензодатчик встановлено неправильно, на його точність можуть впливати кілька типів сил:



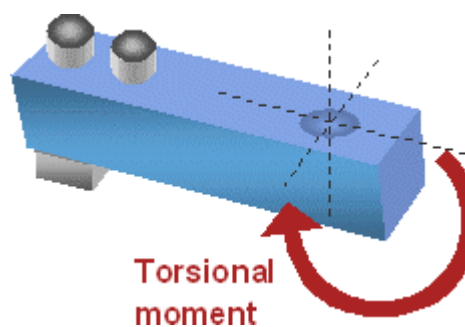
- ▲ **Кутове навантаження** виникає, коли на тензодатчик діє сила, яка не є ідеально вертикальною.



- ▲ **Ексцентричне навантаження** виникає, коли вертикальна сила прикладається до тензодатчика в точці, відмінній від його осі. Ця проблема може бути спричинена тепловим розширенням.

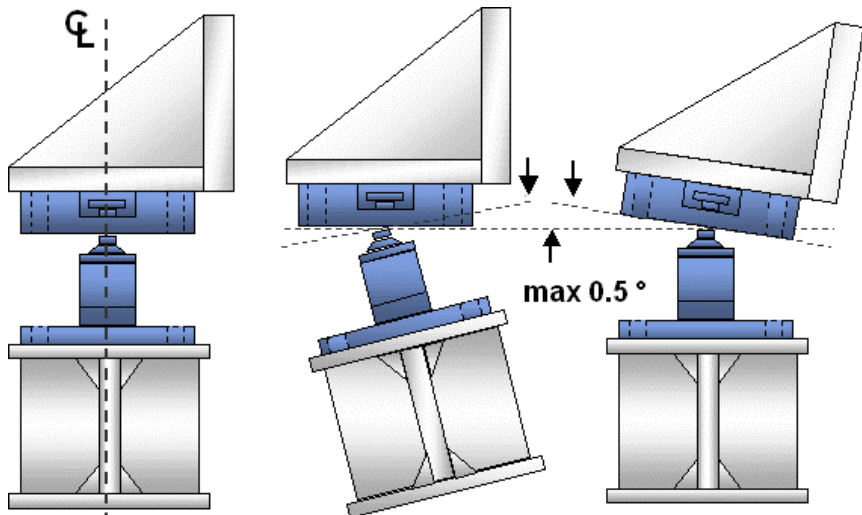


- ▲ **Бічне та торцеве навантаження** виникають, коли горизонтальні сили діють на бічну або торцеву частину тензодатчика. Вони можуть бути викликані тепловим розширенням, неправильним вирівнюванням або рухом внаслідок динамічного навантаження.



- ▲ **Кручення** виникає, коли бічна сила скручує тензодатчик. Воно може бути спричинене прогином конструкції, динамікою системи, тепловим переміщенням або нерівномірним розташуванням.

Кутова похибка



- Верхня та нижня опори повинні бути вирівняні та розташовані горизонтально.
- Верхня та нижня опори не повинні відхилитися більше ніж на 0,5°.
- Ось навантаження (CL) на тензодатчику повинна збігатися з віссю опори, щоб запобігти прогину конструкції.



- Монтажні комплекти повинні знаходитися в одній площині з похибкою не більше ± 3 мм.
- Верхня та нижня опорні плити повинні бути вирівняні з похибкою не більше $\pm 0,5$ градуса.
- Верхня та нижня опорні плити не повинні деформуватися більше ніж на $\pm 0,5$ градуса при навантаженні, що відповідає номінальній вантажопідйомності.
- Конструкція повинна деформуватися рівномірно.

$$Erreurdemesure = 1 - \frac{1}{\cos(\alpha)} \times charge$$

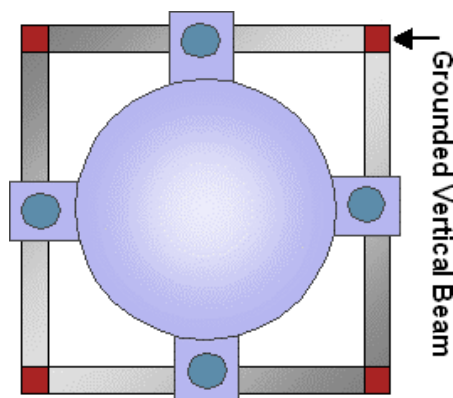
5.9. Цілісність конструкції

Ефективність роботи тензодатчика головним чином залежить від його здатності деформуватися в умовах високої відтворюваності при прикладенні або знятті навантаження.

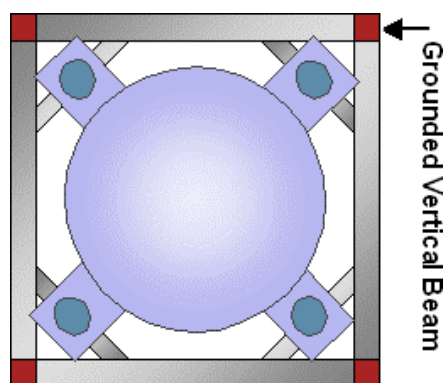
5.9.1. Конструкція опорної рами

Металеві опорні конструкції мають властивість згинатися або прогинатися при збільшенні навантаження, що на них припадає.

Занадто сильна деформація може вплинути на точність системи зважування на судні.



Not Recommended



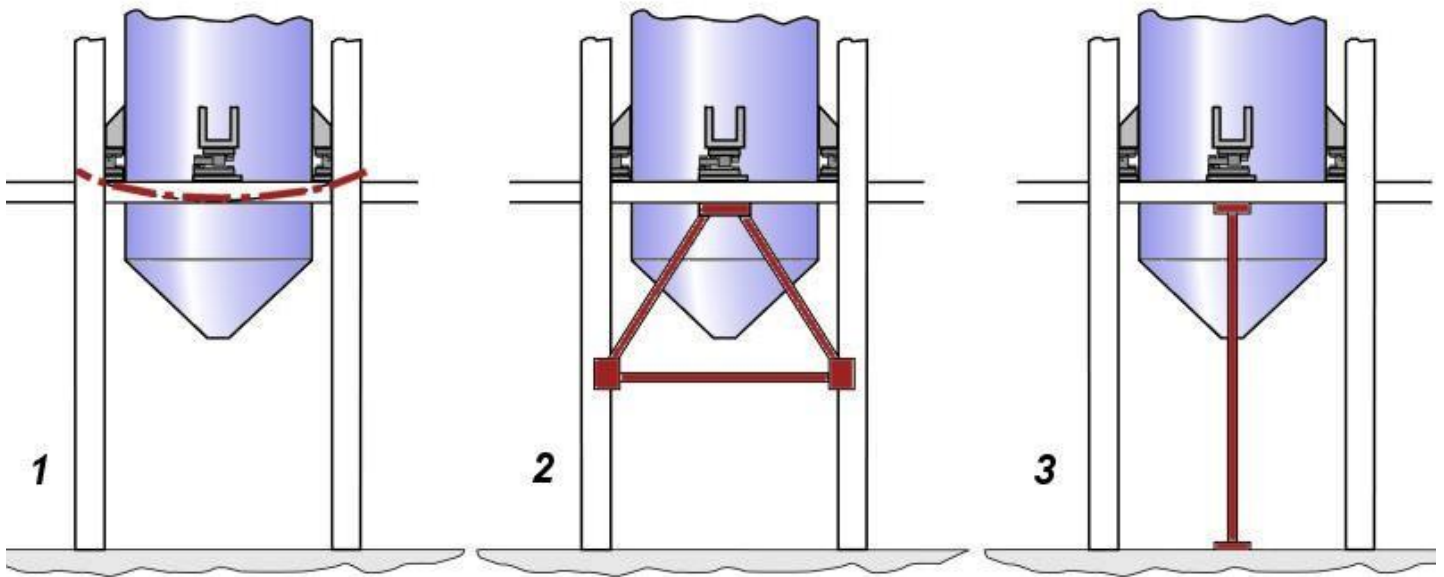
Recommended

▲ Встановлення тензодатчиків у центрі опорних балок призведе до значної деформації при великих навантаженнях.

▲ Щоб зменшити деформацію, встановіть тензодатчики поруч із вертикальними стійками та закріпіть кожен тензодатчик за допомогою ідентичними балками.

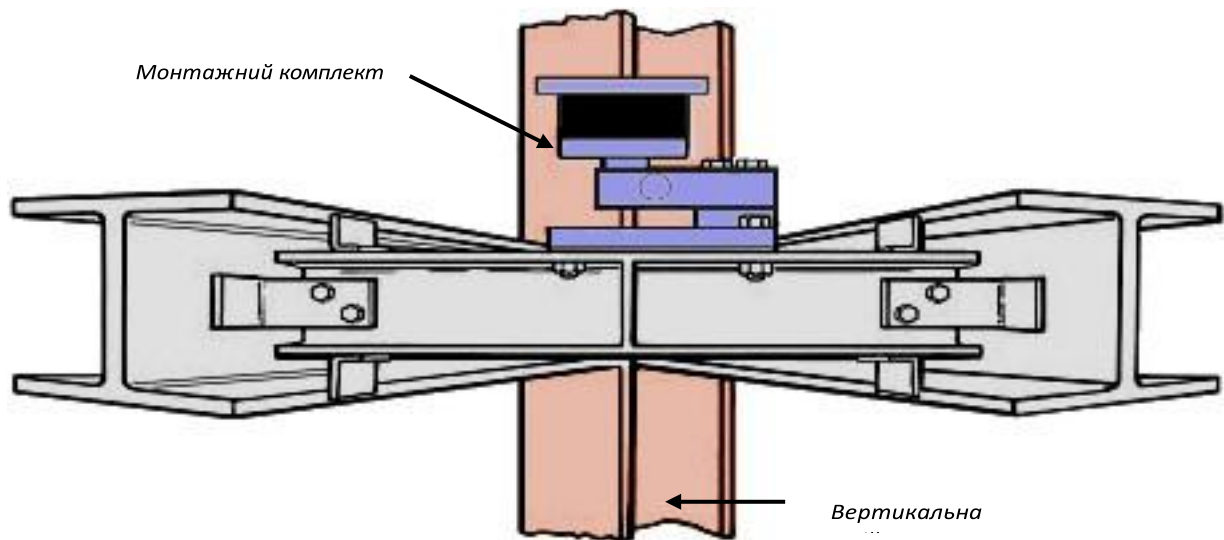


- Рекомендується посилити опорні балки, щоб мінімізувати деформацію.

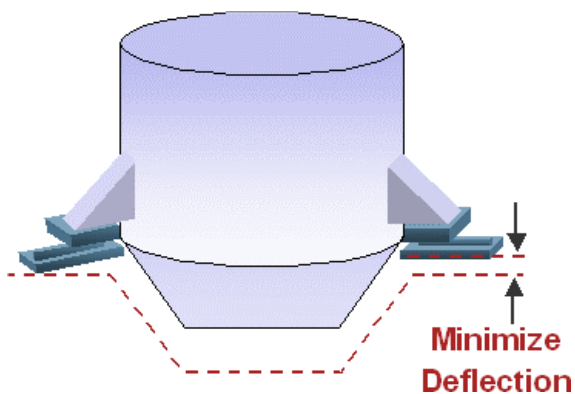


- На малюнку 1 показано, як може деформуватися опорна балка, якщо модуль зважування встановлено посередині прольоту. Якщо такого розташування уникнути неможливо, слід посилити опорні балки, щоб мінімізувати деформацію.
- На малюнках 2 і 3 показано типові методи посилення.

Приклад методу, що використовується для кріплення тензодатчиків поблизу заземлених вертикальних опор



5.9.2. Деформація конструкції

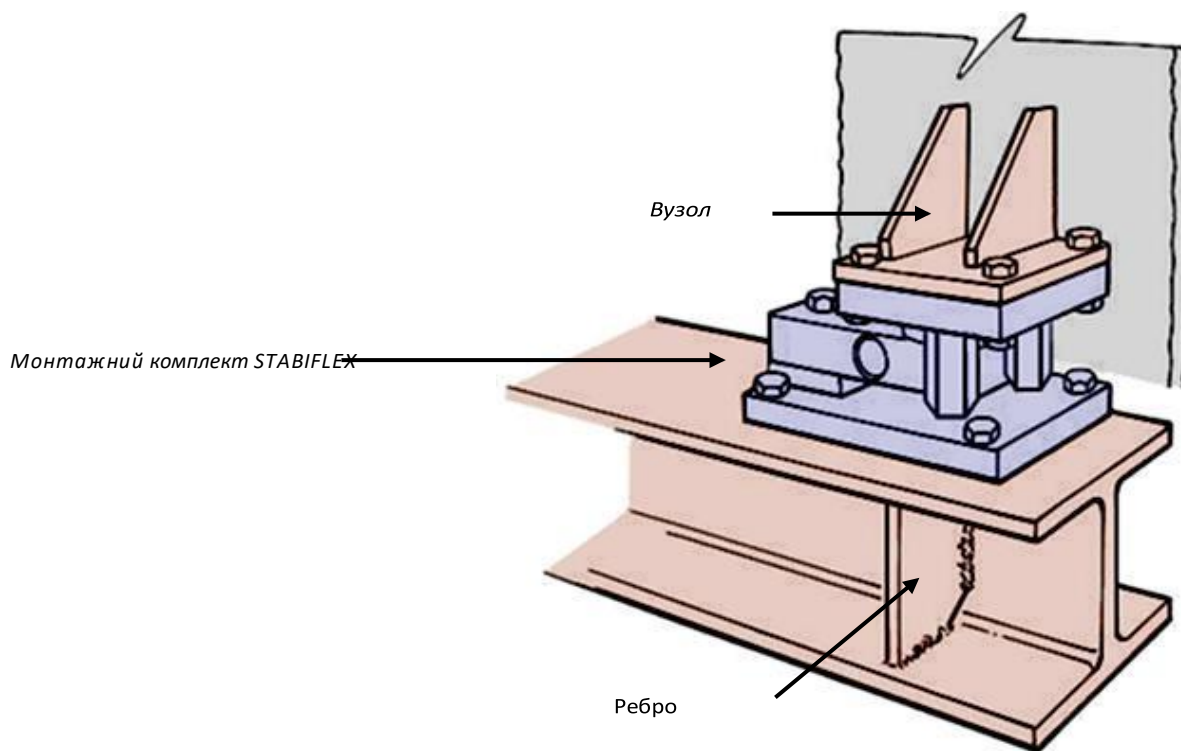


- Конструкція вагової платформи судна повинна деформуватися якомога менше, а будь-яка деформація має бути рівномірною у кожній точці опори.
- Опорні конструкції та основа фундаменту повинні бути горизонтальними ($\pm 0,5$ градуса) і знаходитися в одній площині.

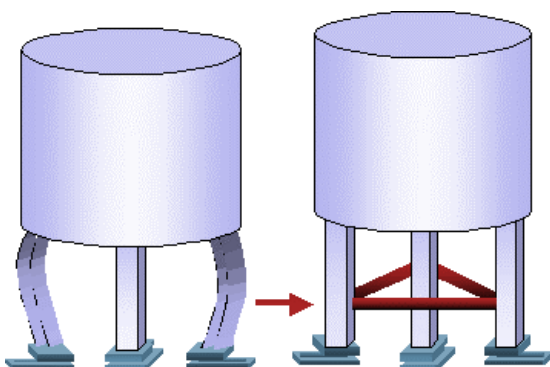


- Додайте ребра жорсткості та кутові вставки, щоб запобігти скручуванню балок під дією навантаження.

Приклади посилення опор



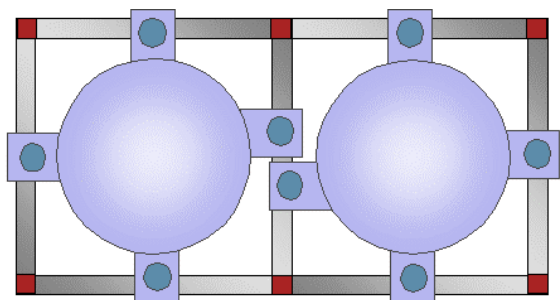
Приклад підсилень на вертикальних опорах



- У деяких випадках опори ємності можуть викривлятися під її вагою. Якщо деформація є достатньою, щоб вплинути на вимірювання ваги, опори ємності слід підкріпити, щоб забезпечити їхню жорсткість.
- Використовуйте опорні балки однакових розмірів, щоб уникнути нерівномірної деформації.

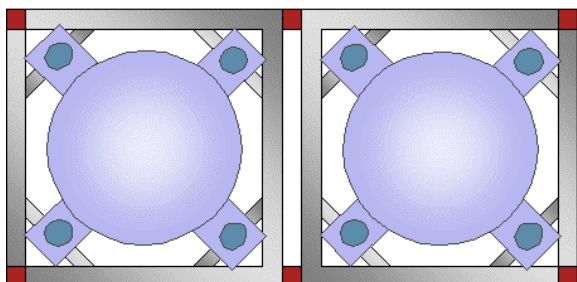
5.9.3. Взаємодія між двома ємностями

Резервуари, що мають спільну опорну конструкцію, впливатимуть один на одного під час вимірювань. Будь-який рух або збурення одного резервуара легко передається на другий.



 **Not Recommended**

- Найгіршим варіантом є монтаж тензодатчиків у середині горизонтальної балки, коли обидва резервуари мають спільну опорну конструкцію. Це призводить до деформації та взаємодії між двома резервуарами.



 **Recommended**

- Найкращим рішенням є встановлення тензодатчиків поблизу вертикальних опор, причому кожен резервуар має окрему опорну конструкцію.

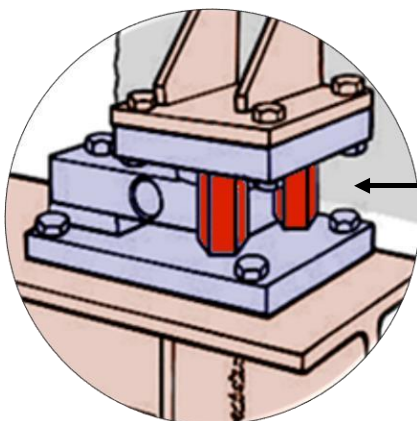
5.10. Пристрої запобігання підняттю

Випадкові сили, такі як вітер або сейсмічні явища, можуть бути достатньо сильними, щоб перевернути певні ємності. У разі такого ризику слід використовувати монтажні комплекти, що містять пристрої запобігання підйому, або, за відсутності таких, зовнішні пристрої, здатні протистояти цим силам, що спричиняють перевертання.

- Проектувальник системи зважування повинен перевірити, чи є опір пристрою достатнім для даного застосування (сила вітру, сейсмічна зона).
- Цей запобіжний пристрій не слід використовувати в звичайних умовах експлуатації.



- Опір пристрою запобігання відриву повинен відповідати умовам застосування.
- Якщо монтажний комплект не містить такого запобіжного пристрою, необхідно встановити зовнішню систему запобігання відриву.



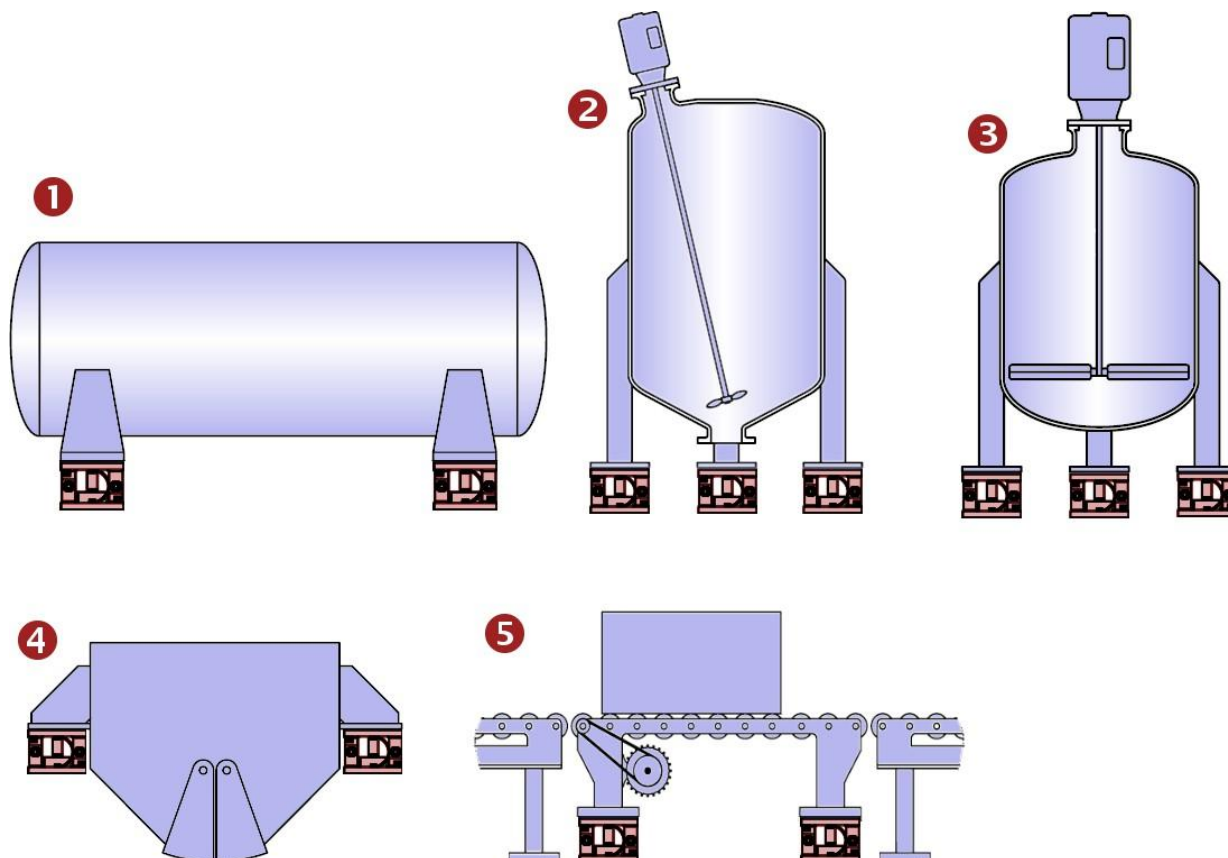
← Пристрій запобігання відриву, інтегрований у монтажний комплект STABIFLEX.

5.11. Пристрої стабілізації

При виборі найбільш підходящого монтажного комплексу для конкретного застосування слід врахувати, як навантаження буде прикладатися до тензодатчиків:

- **Статичне навантаження:** Установки в резервуарах або бункерах часто піддаються статичному навантаженню. У цьому випадку горизонтальні сили, що передаються на тензодатчики, є низькими: **Зазвичай використання пристроїв фіксації не потрібне.**
- **Динамічне навантаження:** Обладнання, таке як конвеєри або резервуари, оснащені потужними змішувачами, може піддаватися динамічному навантаженню. У цьому випадку горизонтальні сили можуть передаватися на тензодатчики: **тому рекомендується використовувати фіксувальні пристрої.**

5.11.1. Області застосування, що не вимагають використання пристроїв фіксації



- **Статична ємність ①:** Статична горизонтальна або вертикальна ємність без змішувача не вимагає використання пристроїв фіксації. Пристрої фіксації не потрібні, якщо ємність використовується виключно для наповнення та спорожнення.
- **Ємність з низькошвидкісним змішуванням ②:** Деякі ємності оснащені змішувачем низької потужності для змішування рідини. Пристрої фіксації не потрібні, навіть якщо змішування відбувається одночасно з зважуванням.
- **Ємність з перемішуванням, статичне зважування ③:** Цей тип ваг іноді піддається динамічним силам, але не під час операції зважування. Оскільки змішувач не впливає на зважування, пристрої фіксації не потрібні.
- **Дозувальна машина ④:** Деякі дозувальні машини оснащені вібраторами для полегшення вивантаження. Відкривання та закривання заслінок може спричинити додаткові удари. Якщо ці навантаження не виникають під час операції зважування, пристрої фіксації на дозувальній машині не потрібні.
- **Конвеєр, низька швидкість ⑤:** У випадках зважування на конвеєрах з низькою швидкістю (зазвичай великої пропускної здатності), де час стабілізації не є критичним, конструкції дають можливість відновитися після будь-яких горизонтальних ударів. Якщо платформа час від часу піддається сильним ударам, рекомендується використовувати монтажні комплекти з вбудованими бічними упорами.

Для цих застосувань монтажний комплект обирають відповідно до:

- Максимальній вазі
- Необхідної точності
- Будь-які можливі вібрації
- Будь-які випадкові бічні удари.

► Див. §3, де наведено опис та рекомендації щодо вибору монтажних комплектів.

5.11.2. Застосування, що вимагають використання пристроїв фіксації

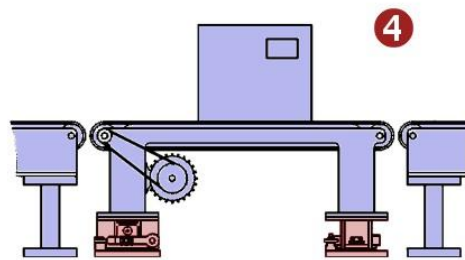
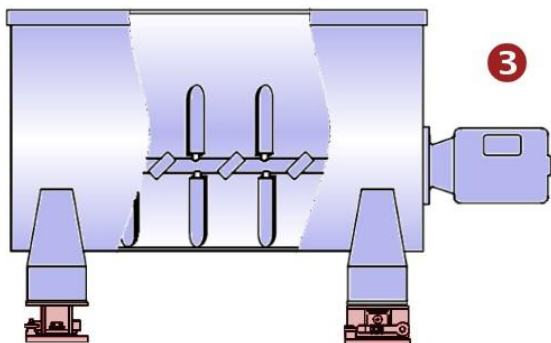
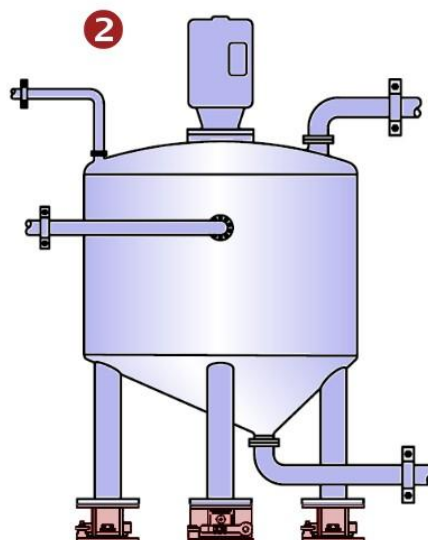
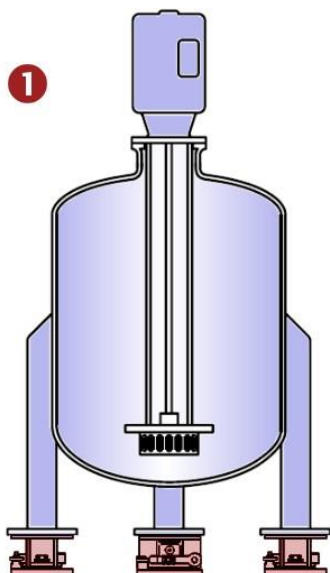
Стабілізуючий пристрій усуває значні бічні сили, які є частиною нормальної роботи системи. Зазвичай цей пристрій складається з тяги, що забезпечує вертикальний рух і запобігає будь-якому горизонтальному переміщенню.

Система повністю стабілізується в горизонтальному напрямку завдяки поєднанню фіксувальних пристроїв усіх встановлених монтажних комплектів. Для забезпечення ефективної стабілізації монтажні комплекти необхідно розмістити правильно.



• **Не слід плутати пристрій бічної стабілізації та пристрій бічного упору:**

- Утримуючий пристрій запобігає бічним зусиллям, що виникають під час нормальної експлуатації.
- Бічний упор — це запобіжний пристрій, який слід використовувати лише для запобігання випадковим навантаженням або ударам.



- **Ємність з потужним змішувачем¹**: Потужні змішувачі розсіюють, емульгують або гомогенізують рідини, пасти, порошки або тверді речовини. Ці змішувачі зазвичай працюють на високій швидкості і можуть створювати сильні вібрації та коливань. Для такого застосування рекомендується використовувати пристрої фіксації.
- **Ємність із змішувачем і жорсткими трубами²**: Якщо ємність оснащена потужним змішувачем і жорсткими трубами, коливання резервуара можуть призвести до руйнування труб через втомну міцність. Кріпильні пристрої допомагають утримувати ємність у нерухомому стані та запобігають пошкодженню труб.
- **Горизонтальний змішувач³**: У цій системі змішувач обертається в горизонтальному резервуарі. Він використовується для змішування інгредієнтів з метою отримання пасти. Під час таких операцій також очікуються сильні вібрації, тому настійно рекомендується використовувати пристрої фіксації настійно рекомендується.
- **Високошвидкісний конвеєр⁴**: Конвеєри з високою швидкістю та великою пропускною здатністю зустрічаються нечасто. Якщо час стабілізації є критичним для такого типу застосування, слід використовувати фіксувальні пристрої для утримання конвеєра на місці.

Для цих застосувань комплект кріплення обирається відповідно до:

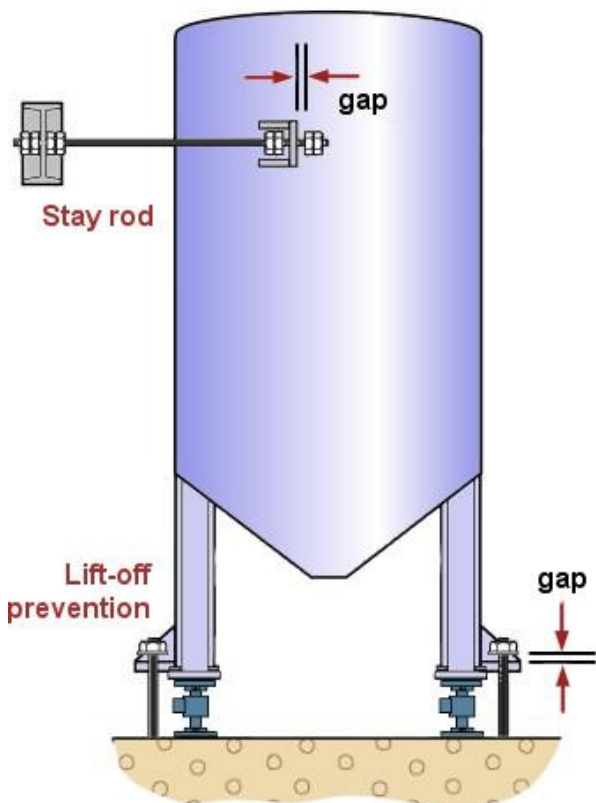
- Вантажопідйомності
- Необхідної точності

► Див. §3, де наведено опис та інструкцію щодо вибору монтажних комплектів.

5.11.3. Додаткова безпека при стисненні

Незважаючи на те, що монтажні комплекти забезпечують захист від бічних або підйомних сил, додаткові системи стабілізації можуть знадобитися у разі сильного впливу вітру, у сейсмічних районах або для установок з потужними змішувачами.

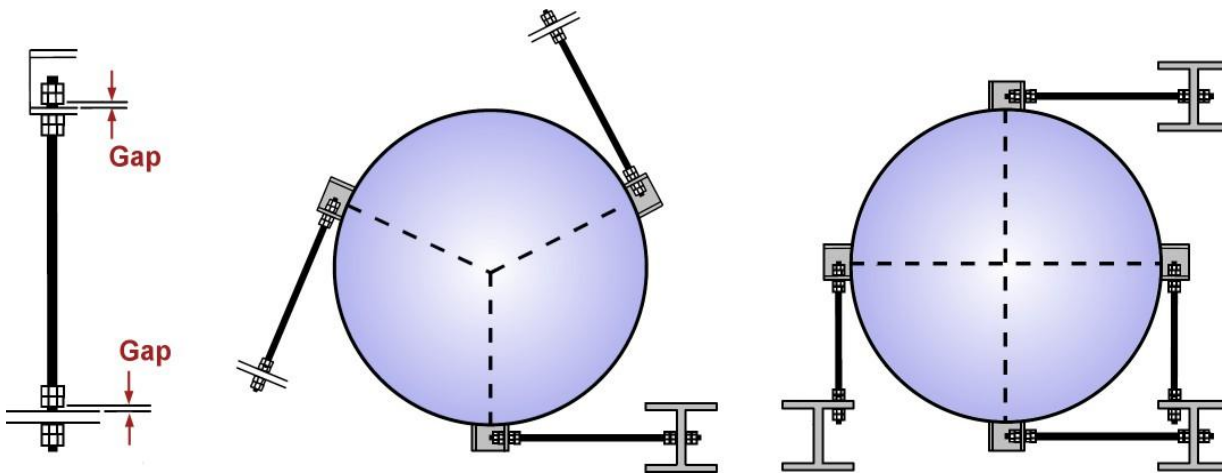
Ці додаткові пристрої повинні бути сконструйовані таким чином, щоб забезпечувати вертикальну свободу руху для зважування, одночасно усуваючи поперечні сили.



- Опорні стрижні використовуються для обмеження горизонтального переміщення резервуара, щоб він не перекинувся або не обернувся. Вони повинні бути розташовані в центрі ваги резервуара або вище нього, коли він заповнений.



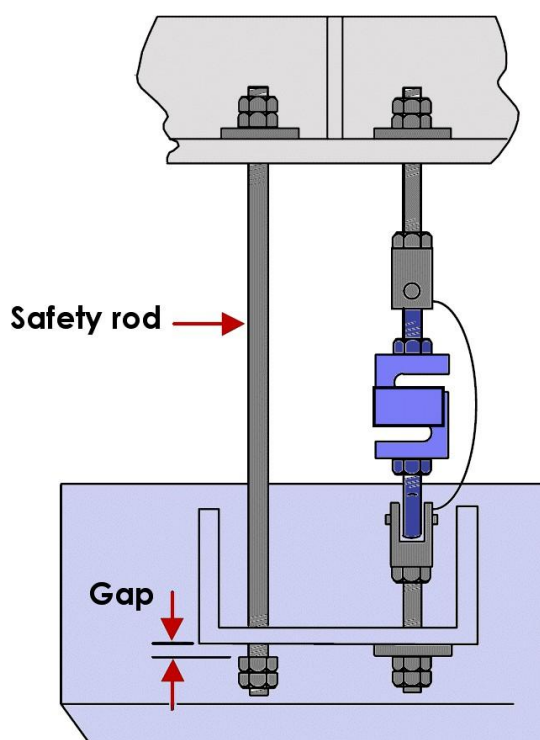
- Система запобігання підняттю повинна бути встановлена, якщо монтажний комплект не містить такого запобіжного пристрою.



- Зверніть увагу, що стрижні розташовані по дотичній до бака, причому між гайками на кінцях стрижнів і кронштейнами на баку залишається зазор. Це дозволяє стрижням утримувати бак, водночас забезпечуючи можливість незначного теплового розширення.

5.11.4. Додаткова безпека при розтягуванні

Будь-який резервуар, підвішений на тензодатчиках S-типу, повинен бути оснащений додатковою системою безпеки. Захисні стрижні повинні бути достатньо міцними, щоб витримати вагу повного резервуара у разі виходу з ладу одного з тензодатчиків. У більшості випадків достатньо встановити вертикальний захисний стрижень поруч із кожним тензодатчиком S-типу.



- Відрегулюйте кожну запобіжну штангу, висунувши її так, щоб вона не впливала на вимірювання.
- Захисні стрижні повинні бути достатньо міцними, щоб витримати повний резервуар у разі виходу з ладу основної системи підвіски.
- Для запобігання розгойдуванню можна використовувати горизонтальні запобіжні стрижні або упори.



- Будь-який резервуар, підвішений на натягу, повинен бути оснащений додатковою системою утримання.

5.12. Поворотна система зважування

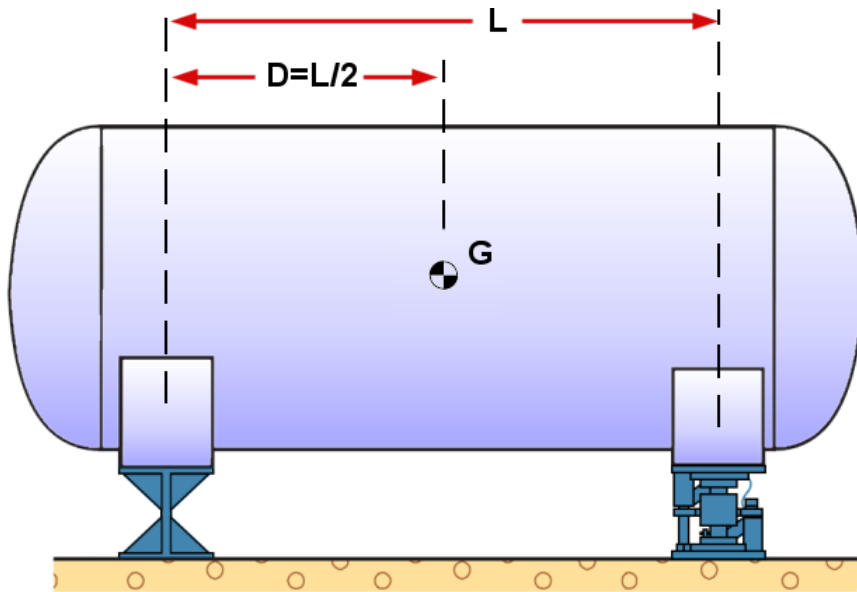
У деяких випадках зважується лише половина ємності, а інша половина спирається на фіктивний тензодатчик або гнучку балку, що виконує роль шарнірів.

Хоча зварна поворотна система зважування є дешевшою, монтажний комплект, оснащений фіктивним тензодатчиком, дає можливість у майбутньому встановити робочий тензодатчик, якщо знадобиться вища точність.

Шарнірні системи зважування можуть бути економічно вигідним рішенням, але з системою виявлення низької точності ($\pm 1\%$).

Поворотні системи зважування особливо підходять для ємностей, що містять рідини або газ. Вони не підходять для зважування твердих речовин, порошоків або гранул, оскільки горизонтальне зміщення центру ваги спричиняє неточності.

Ємність або силос повинні бути симетричними відносно вертикальної осі, вздовж якої центр ваги (G) збільшується/зменшується у міру наповнення або спорожнення резервуара або силосу. Рівномірний розподіл навантаження є необхідною умовою для належного функціонування поворотної системи зважування



- Насправді тензодатчик вимірює не вагу, а силу. Цю силу можна обчислити за такою формулою:

$$F_{LC} = \frac{D \times F_{Total}}{L}$$



- Ємність повинна бути симетричною відносно вертикальної лінії, що проходить через центр ваги вмісту.
- Ємність розташована в приміщенні і не піддається впливу вітру.
- Судно повинно спиратися лише на три або чотири опорні точки
- Відстань між реальним тензодатчиком і фіктивним тензодатчиком (L) має бути якомога більшою.

5.13. Трубопровідні з'єднання

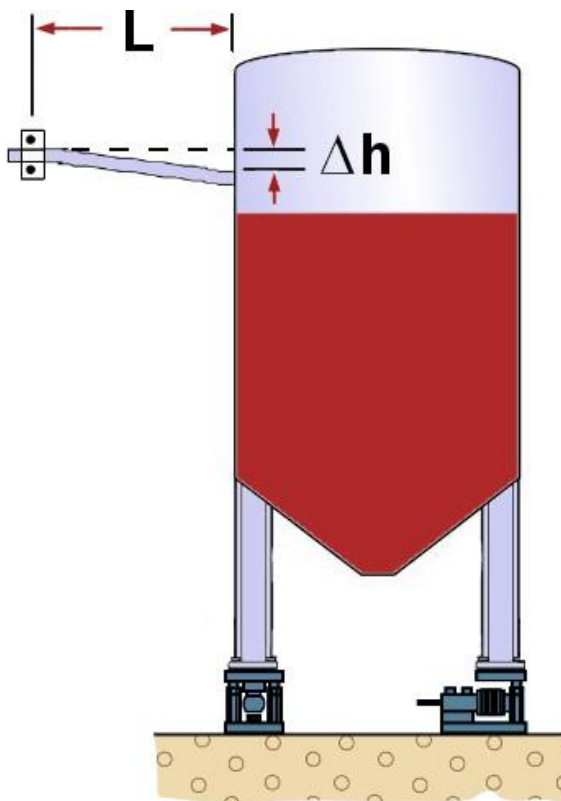
Резервуар, що спирається на тензодатчики, деформується під дією навантаження. Це відбувається через властиву тензодатчикам деформацію та деформацію конструкції під навантаженням, причому остання зазвичай є найбільшою.

Кожного разу, коли труби підключаються до резервуара (пряме та постійне з'єднання), це створює небажані вертикальні сили. Використання неправильно встановлених або погано спроектованих трубопроводів може спричинити похибки зважування, оскільки вони підтримують частину ваги, яка повинна припадати на тензодатчики.

Сила, що чиниться трубою

Коли резервуар заповнений, він зміщується вниз через прогин (Δh) датчика та конструкції.

Труба чинить силу на резервуар, що впливає на вимірювання. Чим гнучкіша труба, тим менша сила прикладається до резервуара.



Сила, що чиниться трубою, дорівнює:

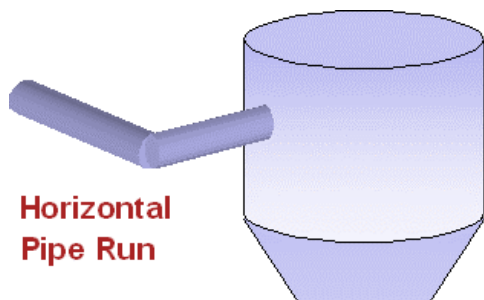
$$F = \frac{0,6 \times (D^4 - d^4) \times \Delta h \times E}{L^3}$$

Де:

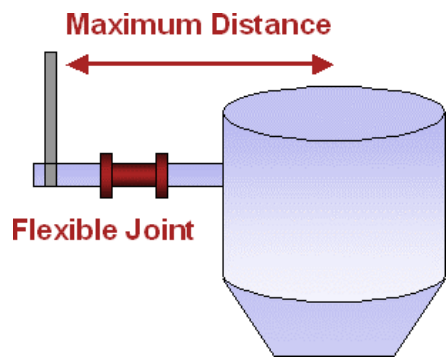
- D = Зовнішній діаметр труби (мм)
- d = внутрішній діаметр труби (мм)
- E = модуль Юнга (для сталі: 210 000 Н/мм², для міді: $E = 110\,000$ Н/мм²)

Труби повинні бути здатні зменшувати небажані навантаження на резервуар. Це навіть важливіше, ніж вимоги до точності.

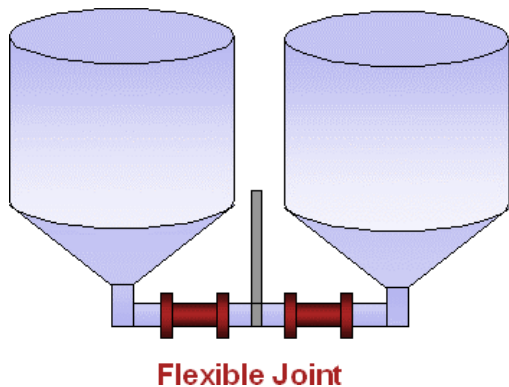
Тут ви знайдете загальні рекомендації щодо проектування трубопровідної системи:



- Не підключайте вертикальні труби до резервуара. Навантажений резервуар має тенденцію до деформації та осідання, а труба запобігає цьому в межах своєї жорсткості.
- Прокладайте всі труби від резервуара горизонтально. Коліно під кутом 90 градусів у горизонтальному напрямку зробить трубу більш гнучкою.
- Використовуйте труби з найменшим можливим діаметром і найменшою можливою товщиною. Це зробить трубу більш гнучкою.

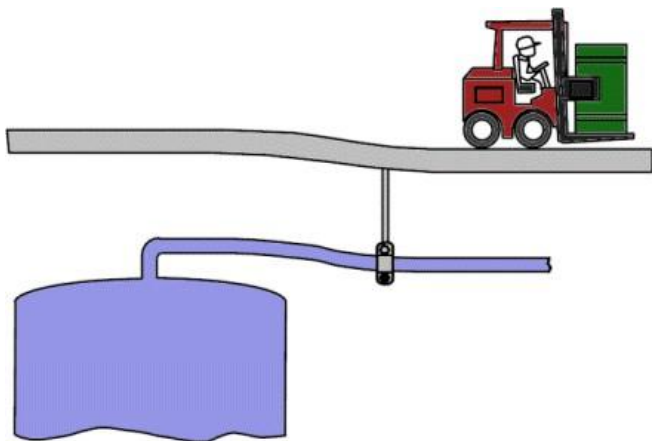


- Зменште кількість труб, підключених до переливу.
- За можливості використовуйте гнучкі труби та з'єднання.
- Розташуйте першу жорстку опору для трубопроводу якомога далі від резервуара. Це зробить трубу більш гнучкою.

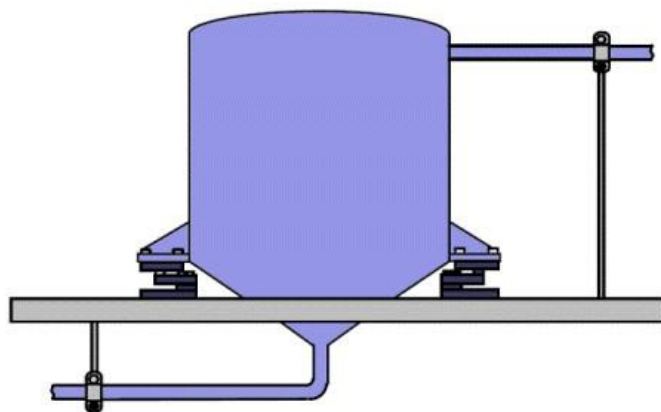


- Якщо сусідні резервуари використовують одну зливну трубу, спроектуйте систему так, щоб зливні трубопроводи від кожного резервуара підтримувалися незалежно і не взаємодіяли з іншим резервуаром.

- Не кріпіть трубопровід до антресолі, підлоги або конструкції, яка рухається незалежно від резервуара.
- Натомість кріпіть трубопровід до опорної конструкції резервуара так, щоб трубопровід рухався разом із резервуаром.



 **Not Recommended**



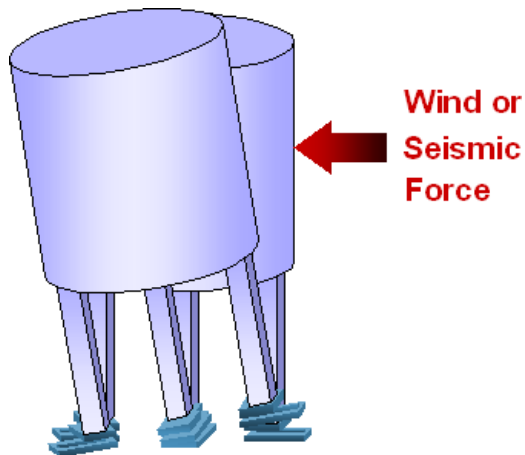
 **Recommended**

5.14. Фактори навколишнього середовища

Оскільки фактори навколишнього середовища можуть впливати на точність і безпеку системи зважування, їх необхідно враховувати на етапі проектування.

5.14.1. Вітер або сейсмічна активність

Вітер та сейсмічні сили можуть мати значний вплив на зовнішні системи зважування. На тензодатчики діють сили, спрямовані вгору, вниз та зсувні сили.



Вплив вітру

Через вплив вітру на систему зважування важливо підібрати тензодатчик з відповідною вантажопідйомністю та визначити найкращий спосіб кріплення для зовнішнього застосування.

Ці ефекти є складними і залежать від таких факторів, як ступінь впливу, місцевий рельєф та максимальна швидкість вітру.



- При виборі тензодатчиків слід враховувати додаткові навантаження
- Для фіксації положення ваг можна застосовувати механічні фіксатори.

Шкала Бофорта для визначення швидкості вітру

	Бефорт	км/год	м/с
Сильний нормальний вітер	5	30-40	8-11
Сильний вітер	6	40-50	11-14
Дуже сильний вітер	7	50-60	14-17
Штормовий	8	60-72	17-20
Шторм	9	72-85	20-24
Сильна буря	10	85-100	24-28
Дуже сильна буря	11	100-115	28-32
Ураган	12	115-180	32-50

Вітер, що обдуває відкритий резервуар або силос, створює бічну силу, яка викликає момент перекидання та меншу вертикальну силу.

- Коли силос порожній: сила вітру може бути достатньою, щоб перекинути конструкцію.
- Коли силос повний: поєднання реакції сили перекидання та загальної ваги силосу може спричинити перевантаження тензодатчиків.

Сила вітру

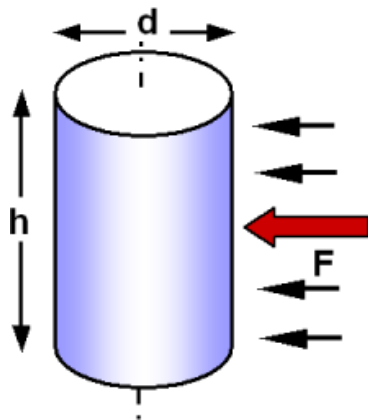
На установку впливають горизонтальні сили, що діють у напрямку вітру.

Ці сили можна обчислити в Н за формулою:
$$F = \frac{1}{2} \times \delta \times C \times A \times V^2$$

Де:

- δ : щільність повітря (1 293 кг/м³),
- C: коефіцієнт опору (0,8 для вертикального циліндра)
- A: відкрита площа поперечного перерізу (м²)
- V: швидкість вітру (м/с)

Приклад



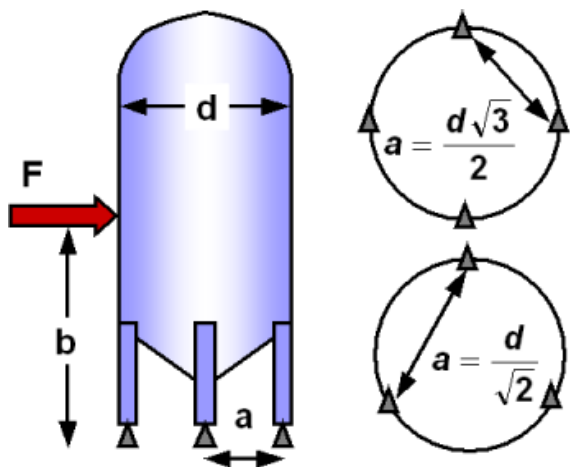
Технічні характеристики

- V = 30 м/с
- h = 10 м
- d = 3 м
- A = h × d

$$F = 0,5 \times 1,293 \times 0,8 \times h \times d \times V^2$$

$$F = 13960 \text{ Н}$$

Сила вітру створює момент перекидання, який буде врівноважуватися реактивним моментом тензодатчиків.



F_{ov} : Сила перекидання, спричинена вітром

$$F_{ov} = \frac{F \times b}{a}$$

Де:

- F: сила перекидання, спричинена силою вітру
- a: Відстань між тензодатчиками
- b: висота, на якій діє сила вітру

Використовуючи раніше розраховану силу вітру 13960 Н і значення b, рівне половині висоти силосу:

$$F_{ov} = \frac{13960 \times 5}{3} = 2330 \text{ Н} = 2380 \text{ кг}$$

Висновок

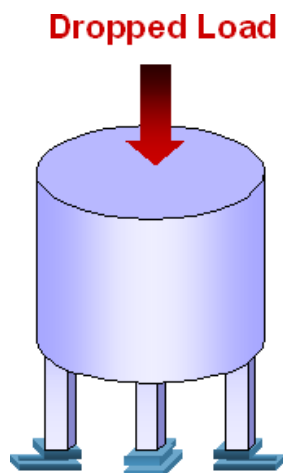
- У разі порожнього силосу слід розглянути можливість застосування захисту від зльоту, якщо власна вага резервуара на кожній тензодатчику становить **менше 2380 кг**.
- У разі повного завантаження силосу до розрахункової вантажопідйомності тензодатчика необхідно додати **2380 кг**.

5.14.2. Ударне навантаження

Динамічне навантаження на систему зважування може бути випадковим або властивим її роботі. Це необхідно врахувати на етапі проектування.

Воно спричиняється раптовою зміною ваги на системі зважування, що виникає внаслідок падіння вантажу або розміщення предмета на системі. Це може статися під час завантаження системи зважування, наприклад, при використанні грейфера, електромагніту або підйомного пристрою.

Якщо існує ризик, використовуйте тензодатчики з більшою ємністю, щоб врахувати потенційні великі удари, та використовуйте амортизуючий матеріал для гасіння навантаження.



Сили удару, спричинені падінням вантажів:

$$W_1 \times \left(1 + \sqrt{\frac{(1 + 2H) \times K}{W_1 + W_2}} \right) + W_2$$

Де:

- w_1 = Вага об'єкта, що падає (кг)
- w_2 = Власна вага (кг)
- K = жорсткість пружини тензодатчика: номінальна вантажопідйомність, поділена на відхилення тензодатчика при номінальній вантажопідйомності (кг/м).
- H = Висота, з якої скидається об'єкт

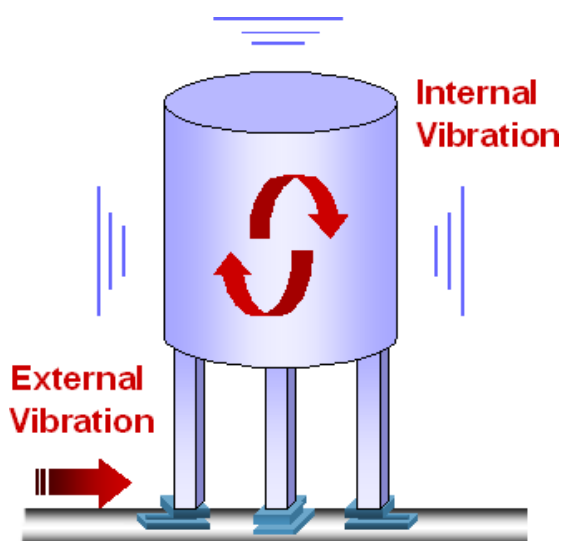
Використання амортизаторів

Використання монтажних комплектів з вбудованими еластомерними прокладками або встановлення амортизаторів між верхніми пластинами монтажного комплексу допомагає зменшити динамічне навантаження, що передається на тензодатчики, за рахунок збільшення деформації конструкції під навантаженням.

5.14.3. Вібрація

Вібрації, спричинені навколишнім середовищем або змішувачем, викликають електричні перешкоди на сигналі тензодатчика

Деякі електронні пристрої SCAIME (наприклад, eNod) оснащені потужними системами фільтрації, здатними усунути вплив вібрацій. Однак важливо впровадити заходи для зменшення внутрішніх або зовнішніх вібрацій, які електроніка не може усунути.



- **Зовнішні вібрації:** вібрації від фундаменту або навколишнього середовища. Рекомендується визначити джерело вібрацій та усунути його. Ви також можете відокремити конструкцію від опор тензодатчиків.
- **Внутрішні вібрації:** Вібрації зазвичай спричинені перемішуванням рідин. Ви можете зменшити колювання, встановивши перегородки в резервуарі. Якщо змішувач постійно прикріплений до резервуара, можна розглянути можливість встановлення амортизаторів.

5.14.4. Вплив температури

Температура може впливати на тензодатчик через розширення та стискання середовища.

Під час розширення та стискання резервуара між системою зважування та сусідніми конструкціями можуть виникати механічні з'єднання. У цьому випадку порушується вертикальне переміщення, що позначається на точності вимірювання. У проєкті важливо передбачити необхідний простір між резервуарами для компенсації розширення.

Якщо система зважування жорстко з'єднана з тензодатчиками, її розширення може спричинити небажані поперечні сили, що діють на тензодатчики. Тензодатчики не слід кріпити болтами безпосередньо до конструкції; натомість слід використовувати монтажні комплекти, що забезпечують можливість розширення (див. §3).

Температурні коливання можуть спричинити розширення труб і, як наслідок, виникнення осьових сил на резервуарі. Ці сили можуть вплинути на точність, якщо труби з'єднані з резервуаром вертикально.

Зміни довжини об'єкта відповідно до зміни температури:

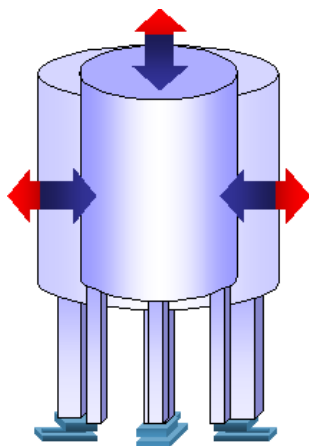
$$\Delta L = a \times L \times \Delta T$$

При цьому:

- ΔL = зміна довжини в мм
- a = Коефіцієнт лінійного розширення в мм/мм °C
- L = початкова довжина в мм
- ΔT = зміна температури в °C Приклади

коефіцієнтів лінійного розширення:

- Алюміній: $23,0 \times 10^{-6}$
- Нержавіюча сталь 304: $17,3 \times 10^{-6}$
- Нержавіюча сталь 17-4PH: $10,8 \times 10^{-6}$
- М'яка сталь: $11,7 \times 10^{-6}$



5.14.5. Волога, корозія та забруднення

Профілактичне обслуговування

Користувачі тензодатчиків часто нехтують профілактичним обслуговуванням. Однак кілька перевірок та прості операції з технічного обслуговування можуть значно подовжити термін експлуатації тензодатчиків.

Волога та корозійні речовини можуть фізично пошкодити тензодатчики та спричинити коротке замикання в електронних компонентах. Бруд, що накопичується на тензодатчиках, призведе до похибок вимірювання, обмежуючи вертикальний механічний рух системи.

- Забезпечте належний відвід води від тензодатчиків.
- Регулярно очищайте накопичене сміття. Утримуйте кабелі в чистоті та належному стані.
- Захищайте тензодатчики та кабелі від корозійних матеріалів.
- Якщо цього вимагають умови навколишнього середовища, регулярно очищайте тензодатчики, щоб запобігти хімічній корозії

Корозійна стійкість

Стійкість тензодатчиків до корозії — це складне питання, головним чином через велику різноманітність їхніх конструкцій. Тому стандартні таблиці корозії є основним довідковим матеріалом для тензодатчиків. У додатку до цього посібника наведено стандартну таблицю корозії, яка слугує лише орієнтиром.

Окрім цих орієнтовних даних, необхідно враховувати такі фактори, що впливають на корозію:

- Стан поверхні тензодатчика
- Якість зварювання та товщина герметичних тензодатчиків
- Рівень навантажень на тензодатчики

На роботу тензодатчика також значний вплив має навколишнє середовище. Наприклад, солоня вода має дуже різний корозійний вплив залежно від обставин. Нержавіюча сталь, що перебуває у стоячій солоній воді, піддається корозії, тому для запобігання швидкому зношенню тензодатчика необхідне регулярне очищення.

На жаль, термін «нержавіюча сталь» є синонімом «відсутність корозії, відсутність проблем та відсутність необхідності в технічному обслуговуванні». Хоча нержавіюча сталь забезпечує оптимальний захист у багатьох середовищах, слід враховувати й інші фактори.

Тому для деяких застосувань нанесення шару фарби або морського мастила після встановлення тензодатчиків та монтажних комплектів може бути ефективним методом боротьби з корозією.

5.14.6. Зважування в гігієнічних умовах

Фахівці агропромислового сектору повинні дотримуватися дедалі більшої кількості вимог щодо безпеки харчових продуктів, особливо стосовно конструкції пакувальних машин, таких як вагові наповнювачі або порціонувальні машини.

Для таких застосувань компанія SCAIME пропонує одноточкові тензодатчики, гігієнічна конструкція яких сертифікована EHEDG (Європейською групою з гігієнічної інженерії та проектування) — асоціацією, що сприяє впровадженню гігієнічного проектування обладнання в харчовій промисловості.



Сертифікація EHEDG

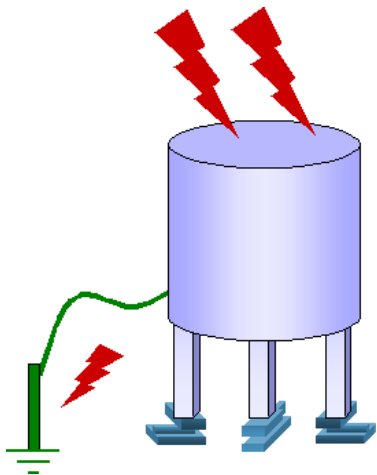
- **Тип EL:** Обладнання, що очищається рідинами
- **CLASS I AUX:** Відкрите обладнання (поверхні знаходяться зовні обладнання), яке очищується без демонтажу

Ці тензодатчики, виготовлені з нержавіючої сталі та герметично закриті, забезпечують рівень захисту IP68 та IP69K, що гарантує їх безперебійну роботу в найсуворіших умовах.

Завдяки гігієнічній конструкції очищення стає набагато простішим. Обладнання не має горизонтальних плоских поверхонь або гострих кутів, що гарантує, що процес очищення на місці (CIP) або стерилізації на місці (SIP) видалить усі залишки мікроорганізмів.

5.14.7. Захист від блискавки та перенапруги

Стрибки напруги можуть спричинити постійне пошкодження тензодатчиків. Стрибки напруги можуть бути спричинені блискавкою, великими електричними машинами або зварюванням.



- Перевірте цілісність існуючих систем заземлення.
- Використовуйте одноточкову систему заземлення та пристрої захисту від перенапруги.
- Не проводьте електрозварювальні роботи поблизу тензодатчиків.



- Кожен тензодатчик слід шунтувати багатожильним мідним кабелем, щоб запобігти протіканню зварювальних струмів через тензодатчик.

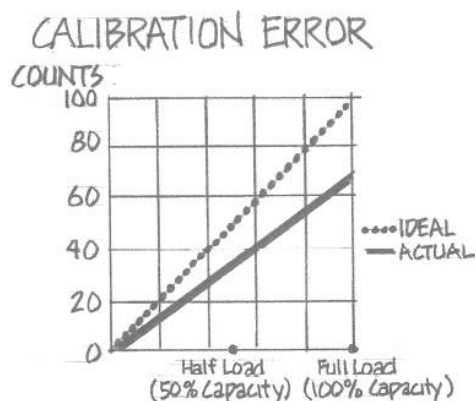
5.15. Калібрування

Після встановлення вагової системи її необхідно відкалібрувати, щоб показання індикатора точно відображали вагу, розміщену на вагах.

Похибка калібрування

Неправильна калібрування вагового обладнання призведе до помилок у показаннях. У разі помилки калібрування залежність між вагою та навантаженням є лінійною, але неправильною.

Це може бути пов'язано з помилкою під час теоретичного калібрування або з використанням еталонного вантажу, вага якого була занадто малою для фізичного процесу калібрування.

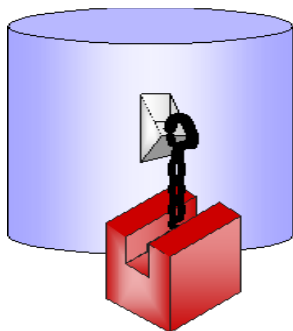


Існує кілька методів калібрування, які будуть описані нижче:

5.15.1. Фізична калібрування з використанням контрольних гир

Найточніший і найнадійніший спосіб калібрування ваг — це використання контрольних гир.

Цей метод зазвичай застосовується для зважування платформ або ємностей з невеликою вантажопідйомністю через складність поводження з великими гирями та їх розміщення.



Встановіть кронштейни, рівномірно розміщені навколо резервуара, для підвішування контрольних гир.



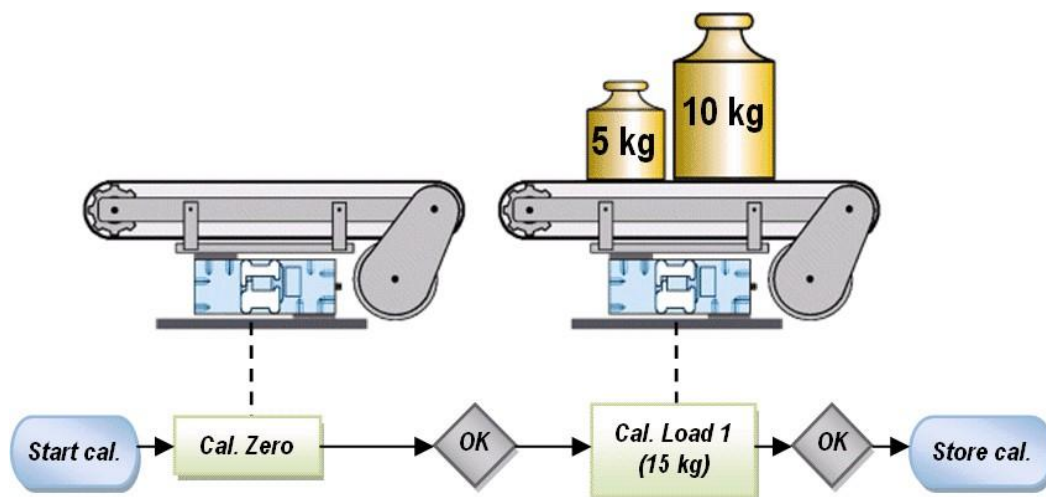
- Калібрування з використанням контрольних гир слід проводити до досягнення максимальної ємності системи з контрольними гирями.
- Якщо це неможливо, не рекомендується проводити калібрування з використанням контрольних гир, що становлять менше 20% від максимальної вантажопідйомності.

Процедура для резервуара з декількома тензодатчиками

Під час зважування резервуара з декількома тензодатчиками слід виміряти вихідний сигнал кожного тензодатчика, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження.

- Підвісьте контрольний гирю поблизу кріплення одного тензодатчика та зніміть показання. Перемістіть контрольний гирю до другого тензодатчика, зніміть показання. Повторіть процедуру для кожного встановленого тензодатчика.
- Під кожне кріплення тензодатчика слід підкласти прокладки, доки відхилення вихідного сигналу кожного окремого тензодатчика не становитиме менше 25 % для кожного сигналу.

Це стосується переважно ємностей з 4 або більше тензодатчиками. Ємності з 3 тензодатчиками, які були вирівняні, повинні мати природний автоматичний розподіл ваги.



- Опорожніть ваги (або ємність), переконайтеся, що немає перешкод для ємності.
- Встановіть нуль вагового приладу.
- Повісьте калібрувальне навантаження (пробні гири) на ваги.
- Відкалібруйте ваги так, щоб показання відповідали прикладеній вазі.
- Вийміть контрольні гири та перевірте, чи стрілка повертається в нульове положення.
- Якщо у вас є достатня кількість контрольних гир, додавайте їх у ємність по одній і перевіряйте лінійність системи. Якщо система не є лінійною, перевірте наявність механічних перешкод.

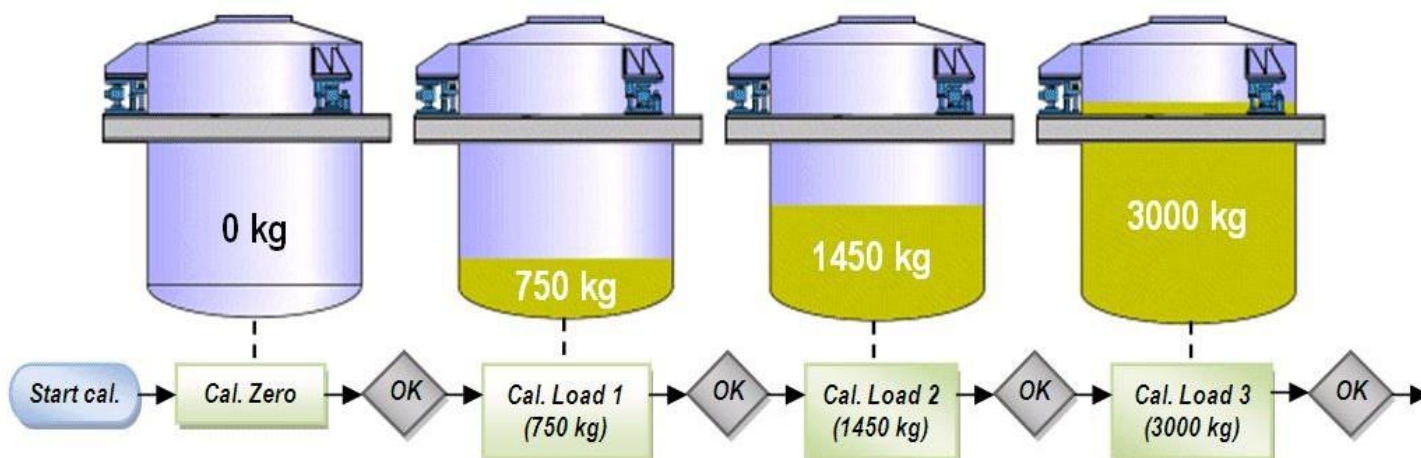
5.15.2. Фізична калібрування з перенесенням матеріалу

Для великих резервуарів, як правило, фізично неможливо підвісити контрольні гири. У цьому випадку можна використовувати інший вимірювальний прилад для вимірювання ваги заданої кількості матеріалу, а потім використовувати цей матеріал як контрольну гирю.

Найпоширеніші методи передбачають використання об'ємного витратоміра для вимірювання води, що надходить у ємність, або використання інших ваг.

- Цей метод зазвичай є простим способом калібрування вимірювальної ємності, але точність вимірювальної ємності завжди буде такою ж, як і точність вимірювального приладу.
- Процес калібрування є таким самим, як і фізичне калібрування. Контрольні гири замінюються відомою кількістю матеріалу, що використовується як калібрувальне навантаження.

Калібрування з перенесенням матеріалу



5.15.3. Моделювання тензодатчика

Третій метод калібрування полягає у заміні тензодатчиків електронним пристроєм, що імітує тензодатчик. Імітатор подає сигнал, який відповідає сигналу, що мав би генерувати тензодатчик.

Головна проблема симулятора тензодатчика полягає в тому, що він не враховує вплив відхилень, спричинених неправильним вирівнюванням або механічними з'єднаннями з ваговою системою.

Коли симулятор тензодатчика підключений, процес калібрування схожий на фізичне калібрування:

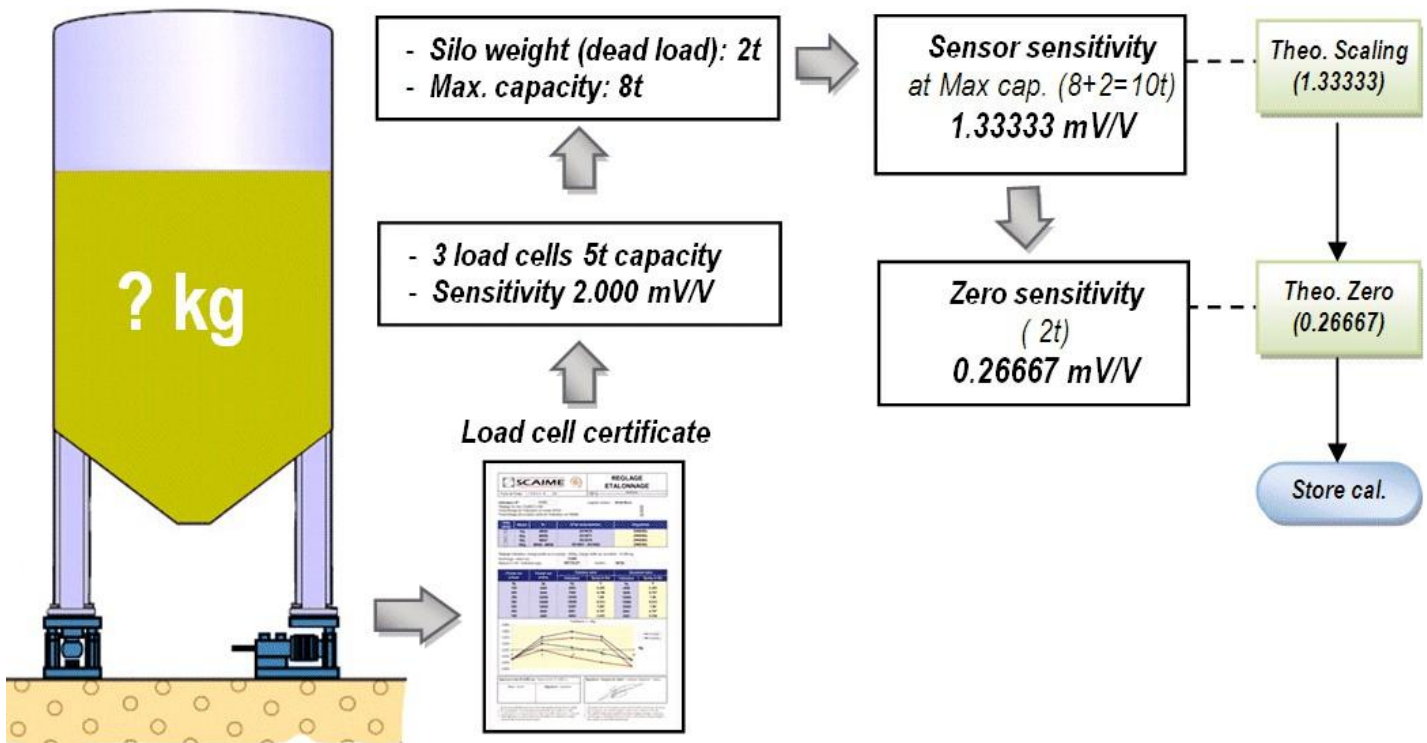
- Налаштувавши симулятор на відсутність вихідного сигналу, встановіть індикатор на нуль.
- Налаштуйте симулятор на повний вихід (тобто сигнал, рівний тому, який генерували б усі тензодатчики при номінальній навантаженні).
- Налаштуйте індикатор так, щоб він показував загальну ємність усіх тензодатчиків у системі.
- Підключіть вхід тензодатчика до індикатора.
- Налаштуйте індикатор так, щоб він показував нуль для порожньої ваги резервуара.

5.15.4. Теоретичне калібрування

Якщо попередні методи не можуть бути використані, можна застосувати метод остаточного калібрування, якщо ваговий термінал підтримує цю функцію.

Цей метод полягає у введенні параметрів тензодатчиків у ваговий термінал та проведенні теоретичного калібрування.

Процес теоретичного калібрування



- У сертифікаті, що додається до тензодатчиків, зчитайте чутливість тензодатчика (в мВ/В).
- Розрахуйте теоретичний вихідний сигнал тензодатчика, коли на ваги не прикладається навантаження (силос порожній): це «нульова» чутливість тензодатчика в мВ/В.
- Розрахуйте теоретичний вихідний сигнал тензодатчика, коли на ваги подається максимальне навантаження (силос повний): це навантаження при максимальній чутливості в мВ/В.
- Введіть ці 2 значення в терміналу зважування та виконайте теоретичне калібрування.

6. Електричне підключення

6.1. Загальні міркування

Тензодатчики з тензометричною системою вимірювання можна підключати до вимірювальних підсилювачів на несучій частоті або до вимірювальних підсилювачів постійного струму, призначених для тензометричних систем вимірювання.



- Електричні та магнітні поля часто спричиняють напруги перешкод, які вводяться в вимірювальний контур.

- Використовуйте лише екрановані вимірювальні кабелі з низькою ємністю (вимірювальні кабелі, що постачаються компанією SCAIME, відповідають цим вимогам).
- Не прокладайте ці вимірювальні кабелі вздовж ліній збудження та управління. Якщо це неможливо, захистіть вимірювальний кабель (наприклад, за допомогою труб зі сталеву оболонкою).
- Уникайте полів витоку від трансформаторів, двигунів та контакторів.

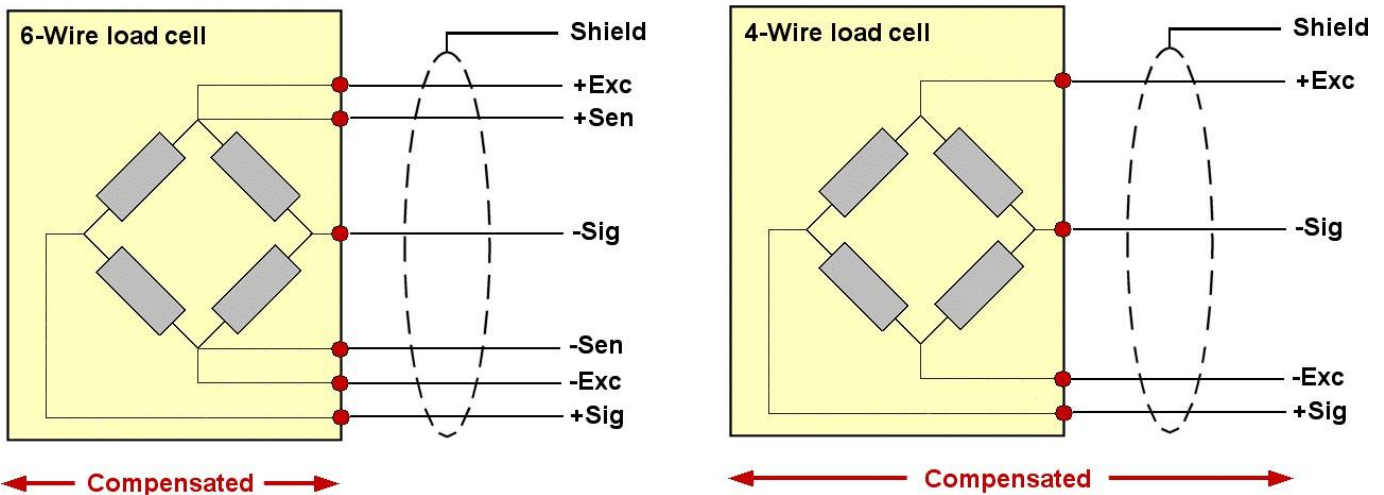
6.2. 4-провідні/6-провідні тензодатчики

Технологія вимірювання за допомогою моста Уїтстона вимагає підключення щонайменше чотирьох проводів до електроніки обробки сигналів.

Для тензодатчиків з 4-провідним підключенням кабель є частиною системи температурної компенсації тензодатчика. Тензодатчик калібрується та компенсується разом із кабелем підключення.

Деякі тензодатчики використовують 6-провідне підключення. Вони мають два додаткові проводи на діагоналі збудження, які слугують для регулювання напруги на клеммах тензодатчика. Якщо опір кабелю змінюється внаслідок коливань температури або якщо довжина кабелю відрізняється, система обробки сигналів внутрішньо компенсує падіння напруги, регулюючи напругу, що подається на тензодатчик.

Перевага 6-провідного підключення полягає в тому, що можна використовувати дуже довгі кабелі (до декількох сотень метрів) без впливу на чутливість тензодатчика. Будь-які зміни опору дроту, спричинені коливаннями температури, не вплинуть на показання. Це особливо зручно, коли температура кабелю та температура тензодатчика відрізняються.



- Кабель 6-провідного тензодатчика можна вкоротити.
- Кабель 4-провідного тензодатчика не можна вкорочувати.

6.3. Підключення декількох тензодатчиків

У системах зважування з декількома тензодатчиками тензодатчики можна з'єднати паралельно, з'єднавши кінці жил кабелю тензодатчиків одного кольору. Для цього компанія SCAIME пропонує розподільні коробки ALCJB. Вихідний сигнал у цьому випадку є середнім значенням окремих вихідних сигналів.



- **Перевантаження окремого тензодатчика не можна виявити за вихідним сигналом.**

Якщо кілька тензодатчиків з'єднані між собою паралельно, струм, необхідний для живлення цих тензодатчиків, може перевищити максимальну вихідну потужність індикатора.

Щоб розрахувати необхідний вихідний струм для конкретної установки, скористайтеся такою формулою:

$$\text{Необхідний струм} = V_{EXC} \times \left(R + \frac{1}{LC} \right) \times N_{LC}$$

Де:

- v_{exc} : напруга збудження
- r_{lc} : вхідний опір тензодатчика
- n_{lc} : Кількість тензодатчиків

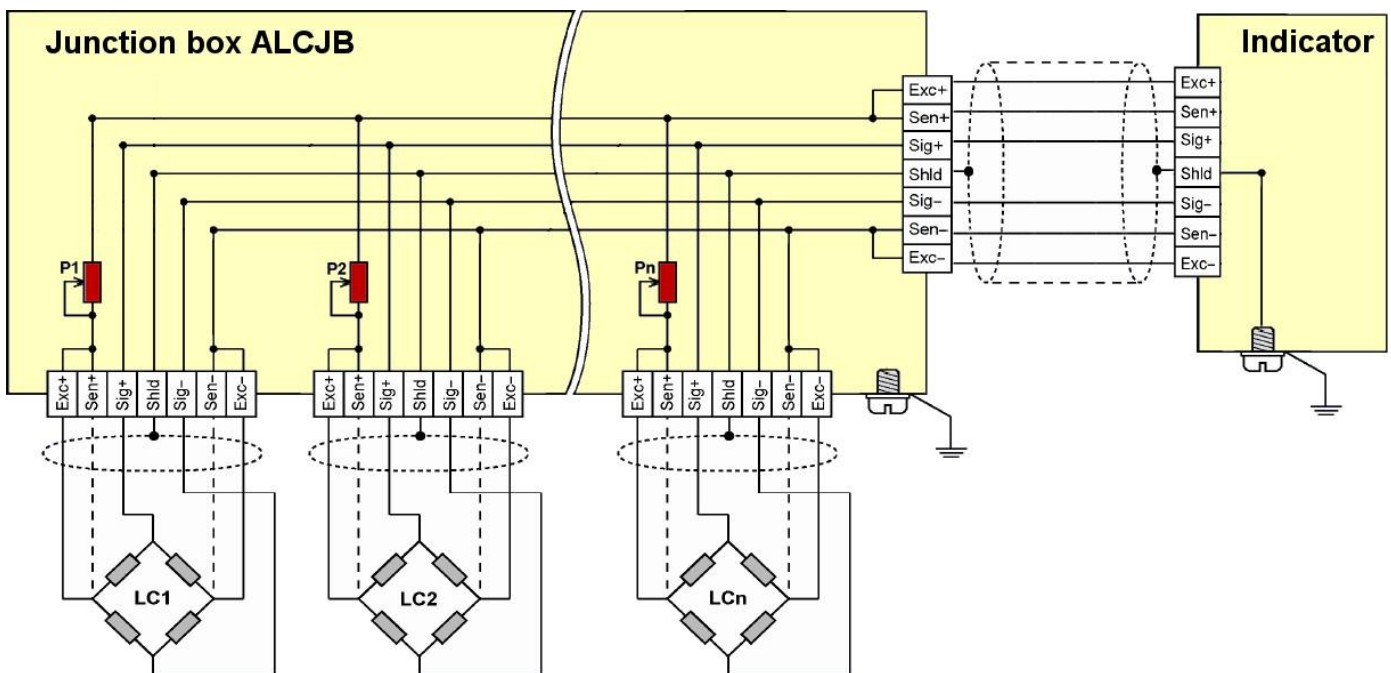


- **Перевірте, чи індикатор може забезпечити електроживлення тензодатчиків.**

Іноді вихідний сигнал кожного окремого тензодатчика потрібно підрегулювати, щоб уникнути коливань показань, зумовлених положенням навантаження. Ці відмінності можуть бути спричинені:

- Різницю в вихідному опорі тензодатчиків.
- Нерівномірний розподіл навантаження.

Регулювання можна здійснити за допомогою перемінних резисторів ($P1...Pn$), розміщених у ланцюгах збудження ALCJB.



6.4. Подовжувальні кабелі

Подовжувальні кабелі повинні бути екранованими та мати низьку ємність. Ми рекомендуємо використовувати кабелі SCAIME, які відповідають цим вимогам.

При використанні подовжувальних кабелів важливо забезпечити надійне з'єднання з мінімальним опором контакту та якісною ізоляцією.

При використанні б-провідної схеми ефекти змін опору в подовжувальному кабелі компенсуються.

Якщо подовжити кабель за допомогою чотирипровідної схеми, відхилення чутливості можна усунути шляхом регулювання підсилювача. Однак температурні ефекти можна компенсувати лише при роботі з шестипровідною схемою.

6.5. Заземлення та екранування

6.5.1. Заземлення

Правильне заземлення та екранування можуть мати вирішальне значення для успішної роботи тензодатчиків, які генерують сигнали надзвичайно низького рівня (<5 мкВ/ділення шкали).

Кабелі тензодатчиків оснащені плетеним екраном, який при правильному використанні захищає кабелі від електростатичних перешкод. Цей екран може бути плаваючим (не підключеним до корпусу тензодатчика) або підключеним до корпусу тензодатчика (див. технічні характеристики тензодатчика).

Корпус тензодатчика та розподільна коробка заземлюються за допомогою механічного кріплення до конструкції, на якій вони встановлені.

Плетений екран, що охоплює кабелі тензодатчика, заземлений на індикаторі, який, у свою чергу, заземлений через кабель живлення або свій корпус.



- Кабелі тензодатчиків слід тримати подалі від ланцюгів живлення, на відстані не менше 1 м.
- Кабелі живлення слід перехрещувати під прямим кутом.

6.5.2. Підключення екранування тензодатчика

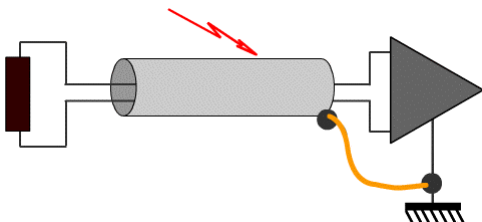
Екран захищає від перешкод та електромагнітних полів. Для забезпечення максимальної ефективності екранування необхідно дотримуватися таких вимог:

- Надійне з'єднання екрану з заземленням.
 - Рівномірність та безперервність екранування, особливо у разі використання подовжувачів кабелю.
- Для найкращого захисту екранування слід підключати з обох боків, якщо це можливо. У такому разі тензодатчики захищені від високочастотних (ВЧ) та низькочастотних (НЧ) перешкод.

Якщо екран підключено лише з одного боку, він ефективний лише проти НЧ-перешкод.

Екран не підключений до корпусу тензодатчика

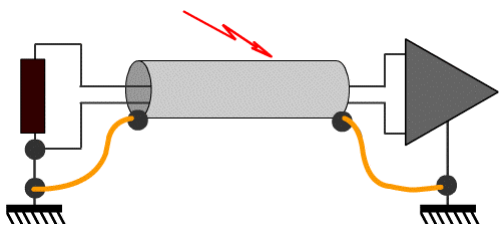
У деяких випадках екран не підключений до корпусу тензодатчика і тому не може бути заземлений.



- У такому випадку екран обов'язково має бути заземлений через систему обробки сигналів.
- Тоді гарантується захист від НЧ-перешкод.

Екран, підключений до корпусу тензодатчика

У більшості тензодатчиків екран підключений до корпусу тензодатчика. Тензодатчик, кабель та блок обробки сигналів утворюють клітку Фарадея, ефективну проти паразитних перешкод.



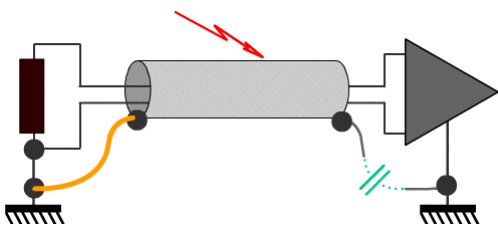
- У цьому випадку екран буде підключено на стороні кондиціонера, якщо екіпотенційне заземлення виконано правильно.
- Тоді гарантується захист від НЧ- та ВЧ-перешкод.

Проблеми з екіпотенційним заземленням

Вимірювальні кабелі та їх екранування мають невелику ділянку з досить високим імпедансом, тому їх не можна використовувати для екіпотенційного заземлення.

Якщо рівнопотенціальність порушена, екран утворює петлю з заземленням, що призводить до виникнення струму перешкод. Екран, замість того щоб захищати вимірювальні кабелі, стає джерелом перешкод, що спричиняє нестабільність вимірювань.

► Екіпотенціальне з'єднання необхідно встановити якомога швидше.



- Якщо рівнопотенціальне заземлення неможливе, струми контуру можна уникнути, заземливши екран за допомогою конденсатора, підключеного послідовно.
- Більшість електронних пристроїв (наприклад, eNod) мають цей конденсатор у стандартній комплектації.
- У цьому випадку гарантується захист від НЧ- та ВЧ-перешкод.

Нарешті,

- якщо рівнопотенційне заземлення неможливе,
- якщо кондиціонер не оснащений конденсатором для підключення до землі
- якщо конденсатор не можна додати до з'єднання екрану з землею тоді

непідключений екран залишиться на стороні кондиціонера.

7. Усунення несправностей тензодатчика

Тензодатчики можуть пошкодитися внаслідок перевантаження (ударів), сильних стрибків напруги (ударів блискавки), потрапляння хімічних речовин або вологи, неправильного поводження (падіння, підйому за кабель тощо), вібрації або несправності внутрішніх компонентів.

Як безпосередній наслідок, система може зміщуватися (відхилятися від нуля), надавати нестабільні або помилкові показання, або взагалі не надавати їх.

7.1. Загалом

Ретельно перевірте цілісність системи перед оцінкою тензодатчиків:

- Перевірте наявність силових шунтів (можуть бути спричинені брудом, тертям або механічним зміщенням).
- Перевірте кабельні з'єднання з розподільною коробкою та індикатором.

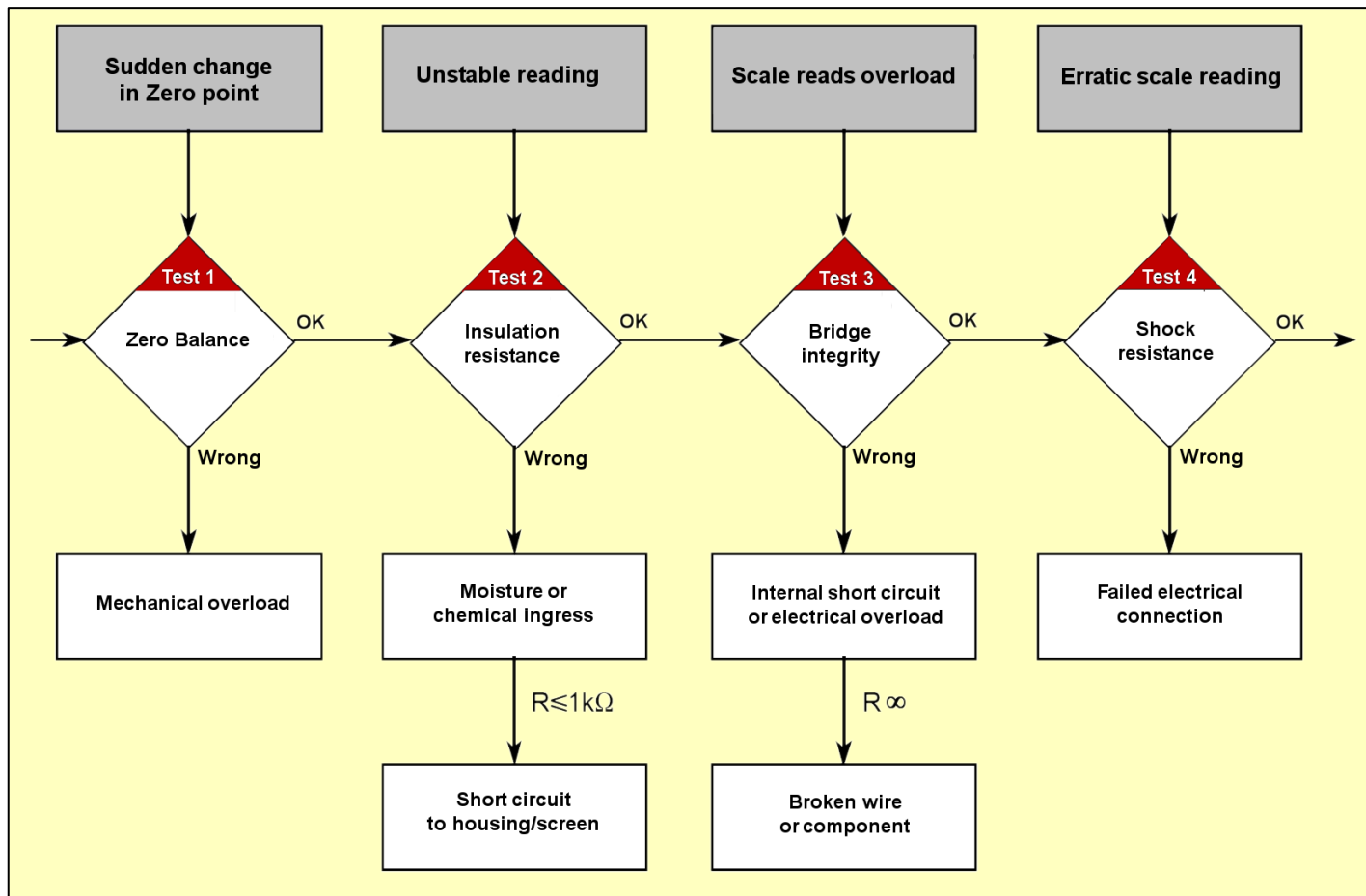
Візуально огляньте тензодатчики перед виконанням випробувань, як описано на наступних сторінках. Зверніть увагу на ознаки корозії та цілісність кабелю.

7.2. Процедура випробування тензодатчика

Характеристики тензодатчика наведені в технічному паспорті, що додається до кожного тензодатчика.

Для належної оцінки тензодатчика необхідне таке випробувальне обладнання:

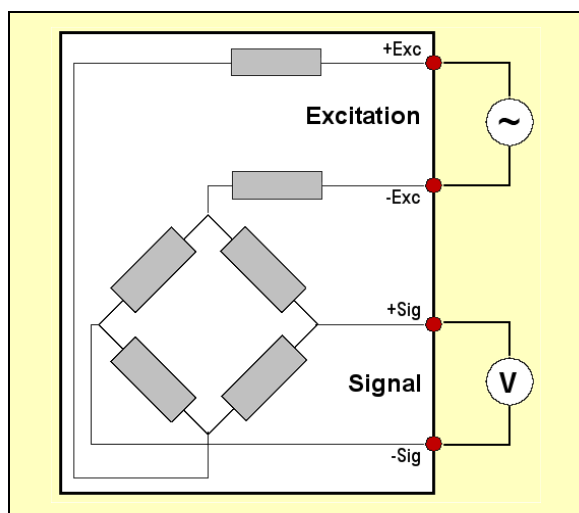
- Цифровий вольтметр і омметр з точністю вимірювання $\pm 0,1$ мВ і $\pm 0,5$ Ом для вимірювання нульового балансу та цілісності моста Уїтстона.
- Мегаомметр низької напруги, здатний показувати 1000 МОм при 50 вольтах, для вимірювання опору ізоляції.



▲ Схема випробування тензодатчика

7.2.1. Випробування 1: Нульове відхилення

Нульове балансування визначається як сигнал тензодатчика в режимі «без навантаження».



- Підключіть тензодатчик до стабільного джерела живлення (зважувального індикатора) з напругою збудження не менше 5 вольт.
- Відключіть усі інші тензодатчики, якщо система складається з декількох тензодатчиків.
- Виміряйте напругу на сигнальних виводах тензодатчика за допомогою вольтметра та розділіть це значення на вхідну напругу або напругу збудження, щоб отримати нульове відхилення в мВ/В.
- Виміряне значення повинно знаходитися в межах меж нульового балансу тензодатчика.

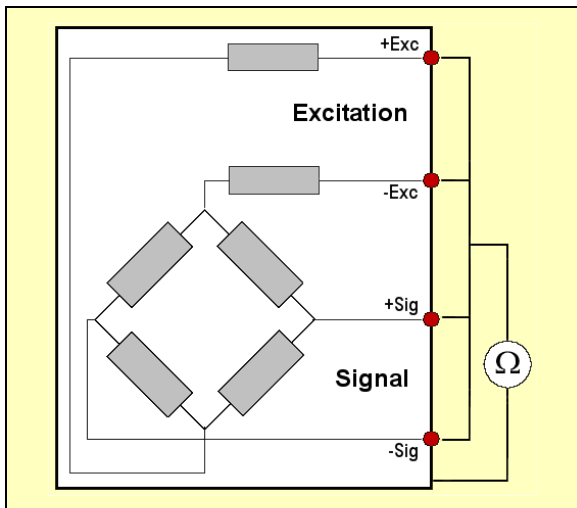
Аналіз:

Зміни нульового балансу відбуваються, якщо тензодатчик зазнав постійної деформації внаслідок перевантаження або ударів.

Тензодатчики, у яких спостерігаються поступові зміни нульового виходу за певний проміжок часу, найімовірніше, зазнають зміни опору тензодатчика через проникнення вологи. У цьому випадку також буде порушено опір ізоляції та/або цілісність моста.

7.2.2. Випробування 2: Опір ізоляції

Опір ізоляції вимірюється між ланцюгом тензодатчика та корпусом датчика або екраном кабелю.



- Від'єднайте тензодатчик від розподільної коробки або індикатора та з'єднайте між собою всі кабелі збудження, сигнальні та вимірювальні (якщо є).
- Виміряйте опір ізоляції за допомогою низьковольтного мегаомметра між цими чотирма або шістьма з'єднаними проводами та корпусом тензодатчика.
- Повторіть вимірювання між цими проводами та екраном кабелю.
- Нарешті виміряйте опір ізоляції між корпусом тензодатчика та екраном кабелю.

Аналіз:

Опір ізоляції повинен бути більшим за 1000 МОм. Менше значення вказує на електричні втрати, які часто спричинені вологою або хімічним забрудненням всередині тензодатчика.

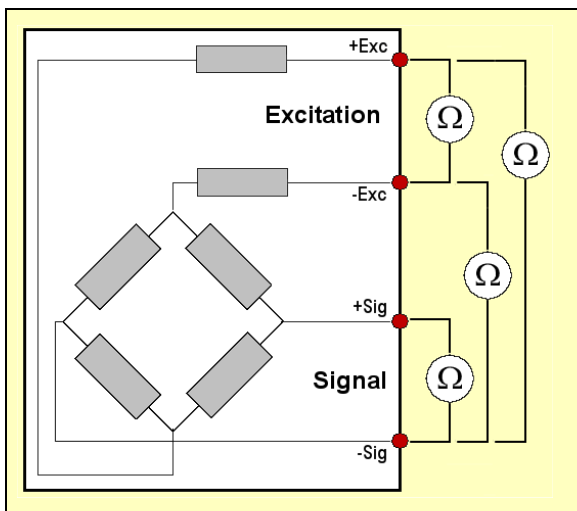
Надзвичайно низькі значення (< 1 КОм) вказують на коротке замикання, а не на проникнення вологи. Електричний витік часто спричиняє нестабільність тензодатчика або індикатора. Стабільність може змінюватися залежно від температури.



- **Деякі мегаомметри можуть подавати напругу 500 В, що може пошкодити тензодатчик. Не подавайте на тензодатчик напругу, що перевищує 50 В.**

7.2.3. Випробування 3: Цілісність моста Уїтстона

Цілісність моста перевіряється шляхом вимірювання вхідного та вихідного опору моста.



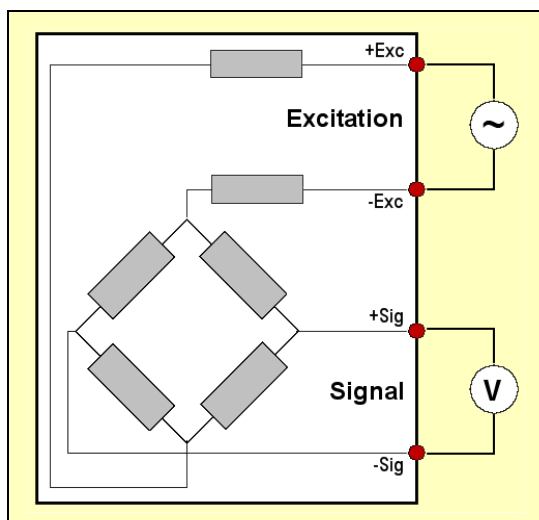
- Від'єднайте тензодатчик від розподільної коробки або вимірювального приладу.
- Виміряйте вхідний та вихідний опір омметром на кожній парі кабелів (збудження та сигнал).
- Порівняйте вхідний та вихідний опір із даними технічного паспорта.
- Виміряйте та порівняйте опір між -Sig і -Exc, а також між -Sig і +Exc, щоб отримати баланс моста. Різниця між цими двома значеннями повинна становити **не більше 1%**

Аналіз:

Зміни опору моста або балансу моста найчастіше спричинені обривом дроту, несправністю електричного компонента або внутрішнім коротким замиканням.

Це може бути наслідком електричних перенапруг (блискавки або зварювання), фізичного пошкодження від удару, вібрації, надмірної температури або виробничих невідповідностей.

7.2.4. Випробування 4: Ударостійкість



- Підключіть тензодатчик до стабільного джерела живлення.
- Відключіть усі інші тензодатчики, якщо система складається з декількох тензодатчиків.
- Підключіть вольтметр до вивідів вихідного сигналу.
- Легко постукайте по опорі тензодатчика маленьким молотком, щоб злегка його струсити. Будьте надзвичайно обережні, щоб не перевантажити тензодатчики з низькою ємністю під час випробування їх ударостійкості.
- Під час випробування зчитуйте показання вольтметра. Показання не повинні ставати нестабільними, мають залишатися досить стабільними та повертатися до початкового нульового значення.

Аналіз:

Нестабільні показання можуть свідчити про несправність електричного з'єднання або пошкодження клейового шару між тензодатчиком і корпусом тензодатчика внаслідок електричного перехідного процесу.

8. Додатки

8.1. Що можна і чого не можна робити з тензодатчиками

8.1.1. Що можна робити

НАГАДУЄМО: хоча тензодатчики можуть виглядати надзвичайно міцними, вони містять чутливі сенсорні пристрої і можуть дуже легко пошкодитися внаслідок неправильного використання, що зробить прилад непридатним для експлуатації.

1. **Виберіть** тензодатчик, що відповідає вашим потребам за типом та сумісністю з навколишнім середовищем.
2. **Виберіть** правильну вантажопідйомність.
3. **Враховуйте** необхідний клас точності.
4. **Враховуйте** вплив навколишнього середовища на точність (вітер, тертя, теплове розширення, кріплення проводів або трубопроводів).
5. **Розробіть** належний захист від перевантаження та недовантаження, а також від інших механічних пошкоджень (наприклад, фізичного насильства, проблем із гризунами...).
6. Перед монтажем **використовуйте** тестові тензодатчики.
7. **Слід бути обережними** з ударними навантаженнями. Вони можуть бути дуже великими і, навіть якщо тривають недовго, легко можуть спричинити незворотне пошкодження.
8. **Зберігайте** та **поводьтеся** з тензодатчиками обережно до та під час монтажу.
9. **Використовуйте** високоякісні болти з рекомендованим моментом затягування.
10. **Переконайтеся**, що поверхня, до якої буде кріпитися тензодатчик, рівна, а її обробка відповідає вимогам.
11. Перед підключенням **перевірте** колірне маркування кабелів тензодатчиків.
12. **Використовуйте** якісні з'єднувальні клеми/роз'єми.
13. Регулярно **перевіряйте** тензодатчики та систему зважування, особливо після екстремальних погодних умов (грози, повені, сейсмічної активності тощо), а також перед початком і після закінчення сезонів.
14. **Перевіряйте** тензодатчик та кріпильні елементи на наявність пошкоджень від корозії.

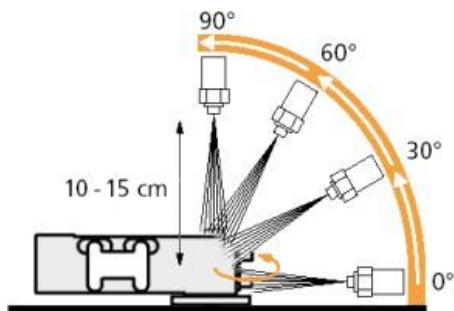
8.1.2. Чого не слід робити

1. **Не дозволяйте** тензодатчикам працювати з навантаженням, що перевищує їхню номінальну потужність.
2. **Не кидайте** тензодатчик на підлогу.
3. **Не забивайте** тензодатчик на місце молотком. Ударні навантаження можуть назавжди пошкодити деякі пристрої.
4. **Не використовуйте** тензодатчик як механічне з'єднання.
5. **Не забудьте** захистити кабель тензодатчика.
6. **Не проводьте** електрозварювальні роботи поблизу тензодатчиків.
7. **Ніколи не піднімайте** тензодатчики за кабель.
8. **Не застосовуйте надмірне зусилля до** болтів або інших різьбових з'єднань.
9. **Не обрізайте** кабелі тензодатчика, якщо це не є необхідним, оскільки це може вплинути на його роботу.
10. **Не дозволяйте** тензодатчику бути електричним сполученням між землею та металевою конструкцією, що зважується. Краще використовуйте відповідні з'єднувальні стрічки та ізолятори.
11. **Не перевищуйте** зазначене номінальне вхідне напруження під час підключення тензодатчика до мережі.
12. **Не перевищуйте** рекомендований діапазон робочих температур.
13. **Не допускайте** накопичення води/бруду навколо тензодатчиків.

8.2. Захист відповідно до EN60529

	0		Відсутність захисту
	1		Захист від твердих предметів розміром до 50 мм та випадкового дотику рукою
	2		Захист від твердих предметів (> 12,5 мм) та випадкового дотику пальцями
	3		Захист від твердих предметів (> 2,5 мм) та випадкового контакту (інструменти)
	4		Захист від твердих предметів (> 50 мм) та випадкового контакту (інструменти + дрібні дроти)
	5		Захист від пилу. Потрапляння пилу не повинно спричиняти перешкод.
6		Повний захист від пилу.	
	0		Відсутність захисту
	1		Захист від вертикально падаючих крапель води
	2		Захист від крапель води, що падають під кутом до 15° від вертикалі.
	3		Захист від дощової води під кутом до 60° від вертикалі
	4		Захист від бризок води у всіх напрямках
	5		Захист від струменів води під низьким тиском у всіх напрямках
	6		Захист від сильних струменів води у всіх напрямках з пожежного шланга
	7		Захист від тимчасового занурення на глибину до 1 м
	8		Захист від тривалого занурення (30 хв) на глибину понад 1 м.

8.3. Клас захисту IP69K згідно з DIN40050



Випробування за стандартом IP69K згідно з DIN 40050, частина 9

Метою випробування є імітація умов очищення під тиском. Під час випробування тензодатчик піддається впливу струменя води під тиском 100 бар при температурі 80 °С. Тривалість кожного циклу очищення становить 30 с. Випробування проводиться за допомогою розпилювальної насадки, розташованої під заданими кутами та на відстані 10–15 см від тензодатчика.

8.4. Таблиця корозійної стійкості

Дані щодо корозійної стійкості, наведені в цій публікації, є лише орієнтовними. Ця інформація може розглядатися як основа для рекомендацій, але не як гарантія. Матеріали слід випробувувати в реальних умовах експлуатації, щоб визначити їх придатність для конкретного призначення.

	Кон (%)	Т (°C)	304 нержавіюча сталь
H ₂ SO ₄	0,05	60	●●●●
	1	20	●●
	2	60	●●
	5	35	●
	10	20	●●
	20	20	●●
	20	35	●
	25	25	●●
	20	20	●
	>40	>20	-
HCl	0,2	20	●●
	0,2	50	●
	1	20	●
	2	20	●●
	>2	>20	-
HNO ₃	50	60	●●●●
	60	20	●●●●
	60	Кипіння	●●
	65	Кипіння	●
	>90	Кипіння	-
H ₃ PO ₄	30	102	●●●●
	50	108	●●
	50	Кипіння	●
	60		●●●●
	60	Кипіння	-
	80		●●
	80	Температура кипіння	-
CH ₃ -COOH	10		●●●●
	10	Кипіння	●●
	80		●●●●
	80	Температура кипіння	●

	Вміст (%)	Т (°C)	304 нержавіюча сталь
HCOOH	10	20	●●
	10	Кипіння	●
	40	65	●
H ₂ CO ₃	<100	< Кипіння	●●●●
NaOH	25	Кипіння	●●●●
	30	Кипіння	●
	34	20	●●●●
	34	Кипіння	●
	50	20	●●
	60	Кипіння	-
Ca(OH) ₂	<100	< Кипіння	●●●●
NH ₄ OH	<100	< Кипіння	●●●●
NaNO ₃	<100	< Кипіння	●●●●
Na ₂ CO ₃	<100	20	●●●●
	100	820	-
NaCl	<100	30	●●●●
	100	>30	●
NH ₄ Cl	10	20	●●●●
	10	Кипіння	●●
	25	20	●●
	25	Кипіння	●
(NH ₄) ₂ SO ₄	5	20	●●●●
	10	20	●●
	10	Кипіння	●
FeCl ₂	10	25	●●●●
FeCl ₃	1	20	●
	5	20	-
K ₂ CO ₃	30	65	●●●●
HBr/HF			-
Ацетон	100	< Кипіння	●●●●
Ефір	100	< кипіння	●●●●

●●●● Не зазнав впливу

●● Трохи уражений

● Сильно уражений

- Непридатний

8.5. Інструкції з безпеки

У випадках, коли несправність може спричинити травмування людей або пошкодження обладнання, користувач повинен вжити відповідних заходів безпеки (таких як захист від падіння, захист від перевантаження тощо). Безпечна та безперебійна робота тензодатчиків вимагає належного транспортування, правильного зберігання, складання та монтажу, а також обережної експлуатації та технічного обслуговування.

Необхідно дотримуватися відповідних правил техніки безпеки. Зокрема, слід враховувати граничні навантаження, зазначені в технічних характеристиках.

► Використання відповідно до правил

Тензодатчики SCAIME призначені для зважування. Використання для будь-яких інших цілей вважається таким, що не відповідає нормам.

Для забезпечення безпечної експлуатації тензодатчики слід використовувати виключно відповідно до інструкцій, наведених у цьому посібнику. Під час використання також необхідно дотримуватися відповідних законодавчих та технічних норм безпеки, що стосуються даного застосування. Те саме стосується використання додаткового обладнання.

Тензодатчики можуть використовуватися як компоненти машин (наприклад, для зважування резервуарів). У таких випадках слід враховувати, що для досягнення високої чутливості тензодатчики не розроблені з урахуванням коефіцієнтів безпеки, які зазвичай застосовуються при проектуванні машин.

Тензодатчик не є елементом безпеки в розумінні його використання відповідно до нормативних вимог.

► Кваліфікований персонал

Ці тензодатчики повинні встановлюватися виключно кваліфікованим персоналом у суворій відповідності до технічних умов та наведених нижче правил і норм безпеки. Також необхідно дотримуватися відповідних законодавчих вимог щодо безпеки, що стосуються даного застосування. Те саме стосується використання супутніх пристроїв.

Під кваліфікованим персоналом розуміються особи, яким доручено монтаж, установку, введення в експлуатацію та експлуатацію виробу і які мають відповідну кваліфікацію для виконання своїх функцій.

► Умови навколишнього середовища

У контексті вашого застосування зверніть увагу, що кислоти та всі матеріали, які виділяють хлориди, руйнують усі шари нержавіючої сталі та будь-які зварювальні шви. Це може призвести до корозії тензодатчика, що, у свою чергу, може спричинити інші несправності.

► Заборонені модифікації

Тензодатчики не повинні модифікуватися з точки зору конструкції або техніки безпеки, за винятком випадків, коли ми надали на це свою пряму згоду. Будь-яка модифікація виключає будь-яку відповідальність з нашого боку за будь-які збитки, що виникли внаслідок цього.

► Опція: вибухозахищений варіант

Під час монтажу користувачі повинні дотримуватися всіх відповідних нормативних вимог.

Необхідно дотримуватися умов монтажу, зазначених у сертифікаті відповідності та/або сертифікаті типу.

Використання тензодатчиків

Ви можете завантажити наші документи на

WWW.SCAIME.COM



SCAIME SAS

Technosite Altéa
294, Rue Georges Charpak 74100
Жувінї – Франція

Т: +33 (0)4 50 87 78 64
Ф: +33 (0)4 50 87 78 42

info@scaime.com www.scaime.com

