

Вимірювання технічних параметрів механічного обладнання

В умовах виробництва іноді доводиться, крім звичайних вимірів за допомогою типових інструментів (штангенциркулів, зубомірів, мікрометрів і т.п.), проводити вимірювання із використанням спеціальних приладів наступних параметрів металургійного обладнання:

- зусиль і крутних моментів;
- напружень у деталях і металоконструкціях;
- переміщень, швидкостей і прискорень;
- амплітуди і частоти коливань (вібрацій) пружних ланок;
- різноманітних дефектів у деталях і металоконструкціях та інше.

Для вимірювання будь-якого із вказаних параметрів потрібні відповідна техніка і, ясна річ, уміння нею користуватись. Апаратура і методи щодо вимірювання окремих параметрів розглянуті у розділі 5. Тому у цьому розділі обмежимось лише описом вимірювань напружень, зусиль і крутних моментів, переміщень і швидкостей.

1. ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЬ І НАПРУЖЕНЬ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРІЇ

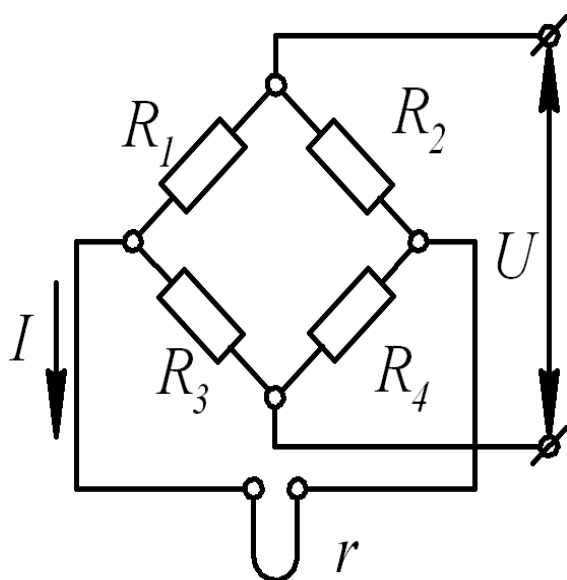
При вимірюваннях напружень, як правило, застосовується тензометрія із використанням різних типів тензорезисторів [12].

Найбільшого поширення набули дротові і фольгові тензорезистори. Але в останній час почали широко застосовуватись і інші типи резисторів: напівпровідникові, тензорезистоти на основі SMS-шару, які у порівнянні з дротовими і фольговими значно чутливіші, оскільки їх електричний опір

досягає 50000 Ом (замість 200 Ом, як-то у дротових і фольгових), а коефіцієнт тензочутливості – 180, в той час як для дротових і фольгових він не перевищує 2,2. А це спрощує конструкцію підсилювачів електричних сигналів і підвищує точність вимірів.

Принцип дії тензорезисторів побудований на змінненні величини їх електричного опору при їх деформації сумісно із пружною деформацією деталі. Для перетворення змінення опору тензорезисторів у струм зазвичай застосовують схему одинарного моста, який компенсує температурний вплив на показання тензорезисторів і підвищує їх чутливість (рис 4.1).

Надійність роботи тензорезисторів у значній мірі залежить від якості їх скріплення з поверхнею деталі чи металоконструкції. Технологія скріплення тензорезисторів детально описана у роботі [12].



Тензорезистори наклеюються на пружний елемент і складаються із мостів таким чином, щоб отримати найбільшу різницю у виразі для вираження струму:

$$I = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{M}, \quad (4.1)$$

де U – напруга живлення;

R_1, R_2, R_3, R_4 - опір плечей моста;

$$M = r(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2),$$

де r – опір приладу.

Рисунок 4.1

Схема тензомоста Уітсона

Очевидно, що найбільше значення струму виникне, якщо тензорезистори R_1 і R_4 будуть сприймати деформацію розтягнення, що буде збільшувати їх електричний опір, а тензорезистори R_2 і R_3 - деформацію стискання, що

зменшує їх електричний опір. Проте тут необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати вплив температурної дії. Якщо при зміні температури деталі чи металоконструкції усі резистори моста сприймають одного знаку деформацію, то така схема буде компенсувати температурні дії. У випадку, якщо резистори сприймають різну деформацію, необхідно застосувати мостову схему із компенсаційними резисторами (рис. 4.2).

Причому компенсаційні резистори не повинні сприймати активних деформацій. Їх наклеюють, як правило, на пластини, які розташовують поряд із поверхнею вимірів. Інколи, якщо не потрібна висока точність вимірів, компенсаційні резистори накладаються безпосередньо на деталь перпендикулярно напрямленню дії головних напружень чи осі діючої сили.

Згідно із виразом (4.1) у мостовій схемі (рис. 4.2, а) робочі датчики R_1 і R_2 мають сприймати один вид деформації (розтягнення чи стискання), оскільки в іншому випадку сигнал на виході моста буде нульовим.

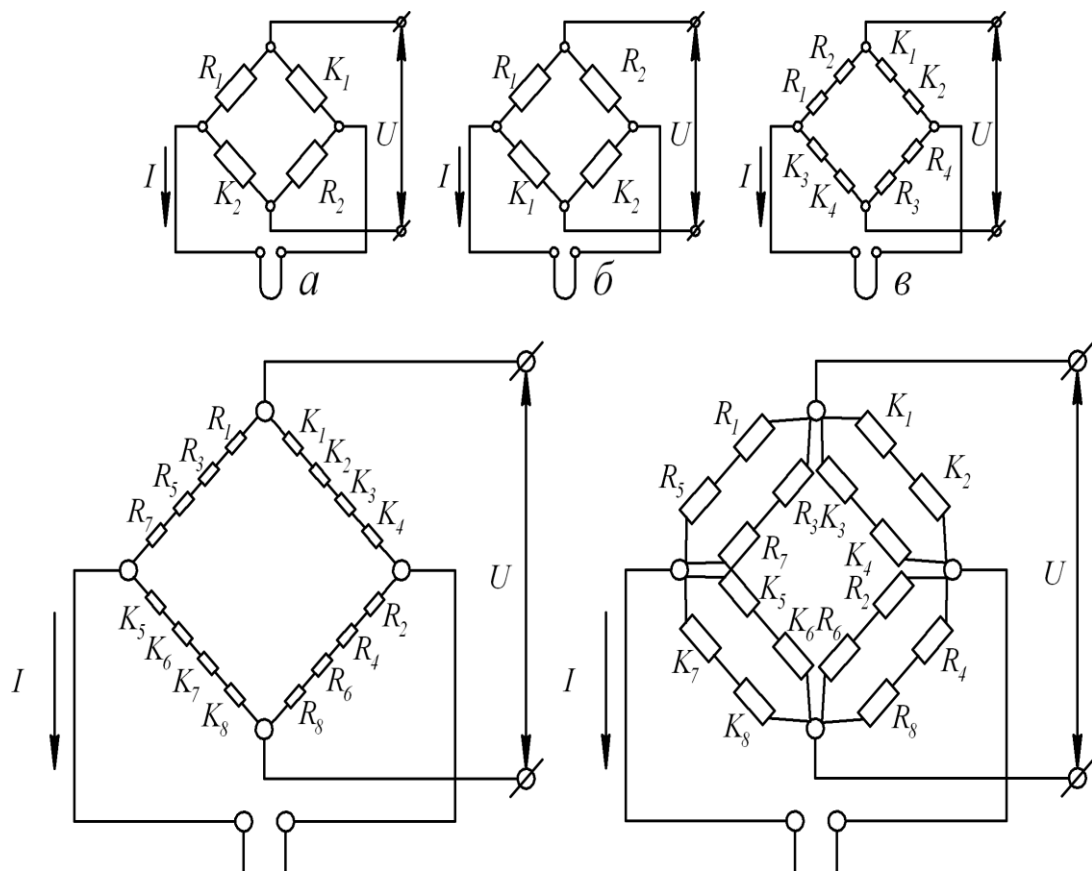


Рисунок 4.2

Схеми тензомостів з робочими і компенсаційними датчиками

Якщо ж робочі датчики мають деформації зворотніх знаків (у випадку вимірювань напружень згину в балці при наклеюванні резисторів із нижньої і верхньої сторін), то схема з'єднання моста буде мати вигляд, що показаний на рис 4.2, б.

Якщо вимірювання здійснюється на двох чи декількох однакових деталях, що сприймають різні за величиною і знаком деформації, то використовують послідовне з'єднання робочих і компенсаційних датчиків у плечах моста, як це показано на рис. 4.2, в.

При вимірюванні зусиль тензорезистори застосовуються разом із різноманітними пружними елементами, що утворюють так звані перетворювачі. Вони можуть використовуватись для вимірювання зусиль від десятих часток до декількох мільйонів ньютонів.

Особливо великою різноманітністю, як за конструктивним виконанням, так і за діапазоном вимірювань зусиль, володіють датчики фірми НВМ ІМТ (табл. 4.1) (російський представник фірми «МЕССТЕХНИК - НВМ»), які виготовляються на стиснення (серії С18, С2, С4, С6А, С9В) і на розтягнення (серії S2, S9, U10М, U1М, U2В, U3, U5, U9В, Z30, Z4А). Кожний із датчиків розрахований на цілий ряд номінальних зусиль, кН: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 10; 20; 50 (величина зусиль вимірювання при цьому складає від нуля до вказаної величини). Матеріал датчиків – неіржавна сталь. Діапазон робочих температур - -10...+70°C.

Таблиця 4.1

Характеристики датчиків зусиль фірми НВМ ІМТ

Тип	Номінальне навантаження, кН	Вид навантаження	Допускне перевантаження, %
1	2	3	4
С18	10...4500	стискання	150
С2	0,5...200	стиснення	130
С4	20...500	стиснення	150
С6А	200...5000	стиснення	150
С9В	0,05...50	стиснення	120

Продовження таблиці 4.1

S2	0,02...1,0	розтягнення-стиснення	150
S9	2...50	розтягнення-стиснення	150
U10M	1,25...500	розтягнення-стиснення	230
U1M	0,01...0,05	розтягнення-стиснення	120
U2B	0,5...200	розтягнення-стиснення	150
U3	0,5...50	розтягнення-стиснення	150/130
U5	100...500	розтягнення-стиснення	150
U9B	0,05...50	розтягнення-стиснення	300
Z30	0,05...10	розтягнення-стиснення	150
Z4A	20...500	розтягнення-стиснення	150

Зовнішній вигляд датчиків С9В і U9В показано на рис. 4.3, а приклад застосування датчиків розтягнення - на рис. 4.4



a



б

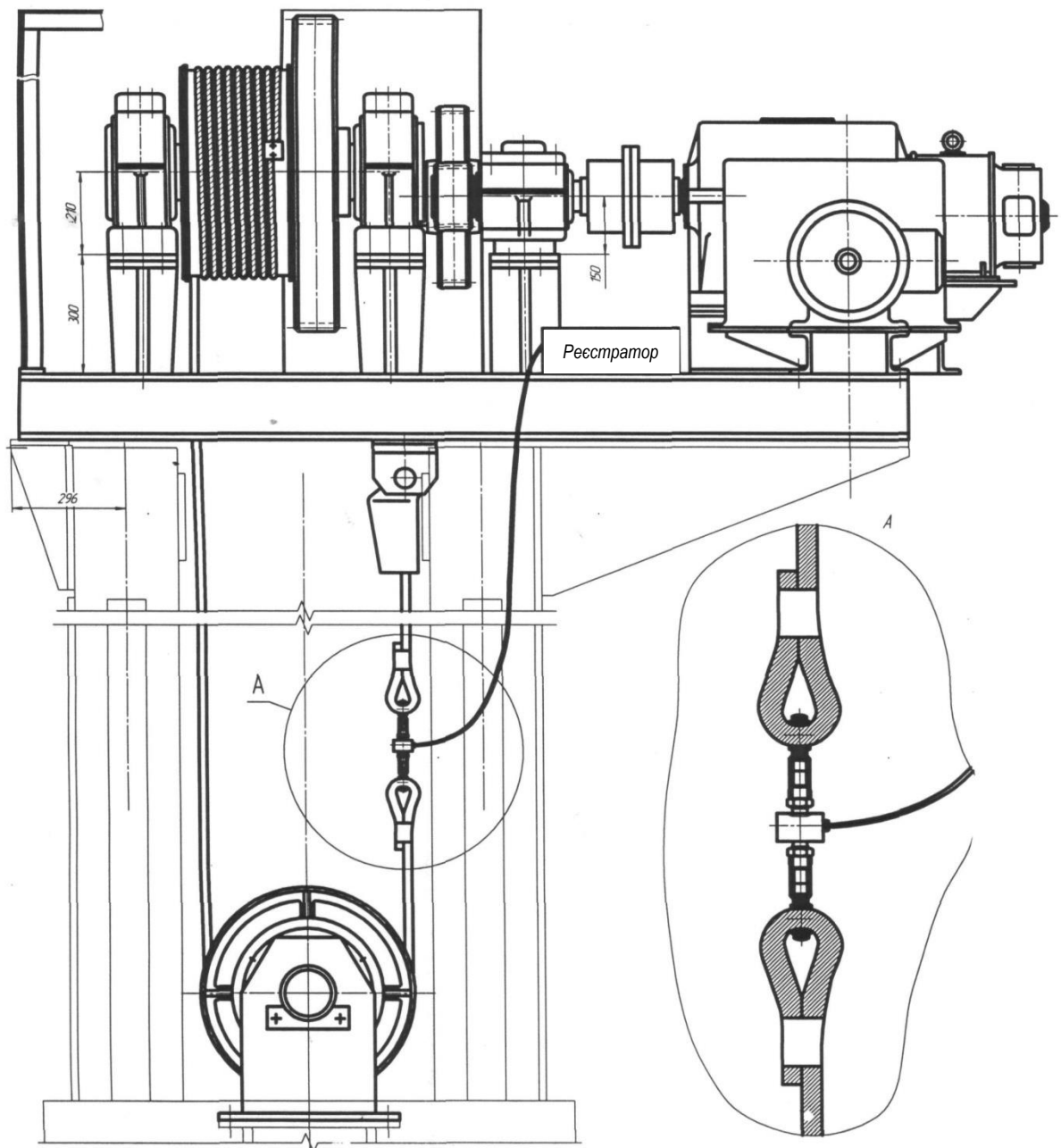
Рисунок 4.3

Зовнішній вигляд датчиків С9В (а) і U9В (б)

Серед датчиків сили, що виготовляються на території бувшого СРСР, широкого поширення набули датчики стиснення серій Мхх, Мххх, Мкх, МВ та інші (Весоизмерительная компания «Тензо-М») (табл. 4.2).

Датчики призначені для використання їх у вагових пристроях, але можуть використовуватись і при вимірюванні зусиль в інших видах механічного обладнання.

Це сімейство має традиційний пружний елемент або із хрестоподібним розташуванням згинальних балок, що виготовляються із легованих сталей (серія МК), або у вигляді профільованої мембрани із легової і неіржавної сталі (серія М). У всіх серіях датчиків використовується мостова схема на базі тензорезисторів.



Позначення виводів (чотирипровідна схема включення)



Рисунок 4.4

Вимірювання зусиль на-тягу в канатах механізму підйому електроду руднотермічної печі

Таблиця 4.2

Основні характеристики датчиків серій МК і М

Тип датчика	МК2	М65	М70	М100
Найбільша границя виміру, КН	5; 10; 20	50	100;150;200; 250;300	300;500
Клас точності	1;3	1	3	3
Напруга живлення, В	12	12	12	12
Маса датчика, кг	3,7	3,0	4,0	8,0
Довжина кабелю, м	3	10	10	10

Зовнішній вигляд датчиків показано на рис. 4.5



Рисунок 4.5

Датчики сили «Тензо-М»

Ці датчики можуть використовуватись при вимірюванні зусиль прокатування, правлення, різання і т.п.

Напруження в деталях і металоконструкціях визначають, як відмічалось

вище, безпосередньо вимірюванням деформацій, залежність між якими визначаються законом Гука.

При плоскому двоосному напруженому стані для визначення напруження в даній точці використовують два датчика при відомих напрямках головних деформацій і три, коли напрями невідомі. Тут можна застосовувати так звані розетки (розетки з двох датчиків, прямокутна і дельта-розетка із трьох датчиків).

Якщо напрями головних напружень відомі, то один робочий датчик наклеюється в напрямі головної деформації ε_1 , а інший робочий датчик – в напрямі головної деформації ε_2 (рис.4.6). Після вимірів їх значення знаходять головні напруження за відомими формулами:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2),$$
$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_1),$$

де E – модуль пружності;

ν – коефіцієнт Пуассона.

Якщо напрями головних деформацій невідомі, для визначення напружень в даній точці деталі (металоконструкції) використовують схему наклеювання, що показана на рис. 4.6, б (прямокутна розетка).

Головні деформації ε_1 і ε_2 розраховуються на підґрунті виміряних деформацій $\varepsilon_0, \varepsilon_{45}, \varepsilon_{90}$ за формулами:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2},$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2},$$

а напрями головних деформацій виражаються кутом φ згідно з формулою:

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}.$$

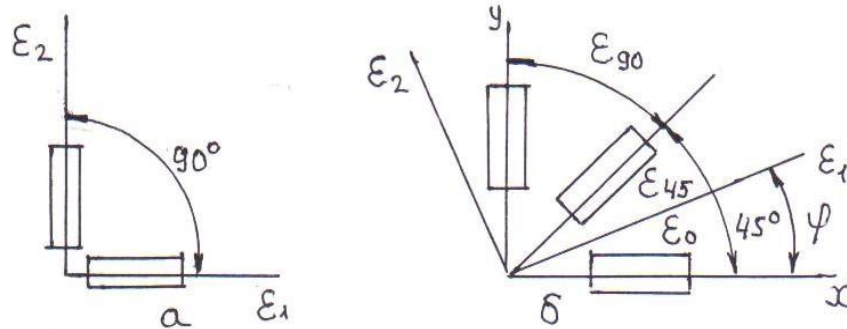


Рисунок 4.6

Розташування тензодатчиків при вимірюванні деформацій у випадках плосконапруженого стану: а - напрям головних напружень відомий, б - напрям головних напружень невідомий

Точність визначення головних напружень залежить від величини і знаків вимірних деформацій ε_0 , ε_{45} , ε_{90} . Невеликі похибки виникають тоді, коли ці деформації мають однакові знаки і близькі за величиною.

Для реєстрації вимірів можуть використовуватись осцилографи, самописні прилади та різні типи реєстраторів [11].

2. ВИМІРЮВАННЯ КРУТНИХ МОМЕНТІВ

Раніше основним методом для вимірювання крутних моментів застосовувалась тензометрія, при якій тензорезистори наклеювались безпосередньо на вал. Головним недоліком цього методу є те, що для підводу живлення до тензодатчиків і зняття електричного сигналу необхідно установлювати на вал струмоз'ємники, що далеко не завжди можна було зробити.

В останні роки виготовляють десятки різноманітних типів датчиків, що не потребують використання додаткових струмоз'ємних пристроїв і отримали назву безконтактних.

Типовим представником з безконтактним фланцем є датчик T10FS (рис. 4.7). Датчик відрізняється високими швидкістю обертання і точністю вимірів, малою інерційністю рухомих частин, відсутністю струмоз'ємного пристрою. Вимірюване тіло і фланець для вводу крутного момента виготовлено з однієї деталі.



Рисунок 4.7

Датчики вимірюваного моменту типу T10 FS

Датчик складається з двох основних частин: ротора і статора. Ротор у вигляді фланця з'єднують з рухомою частиною об'єкта вимірювання (валом, муфтою і т.п.), а статор установлюють на нерухомій основі. Загальний вигляд датчика показано на рис 4.7 у двох варіантах виконання, а приклад монтажу показано на рис. 4.8, технічні характеристики наведено у табл. 4.4.

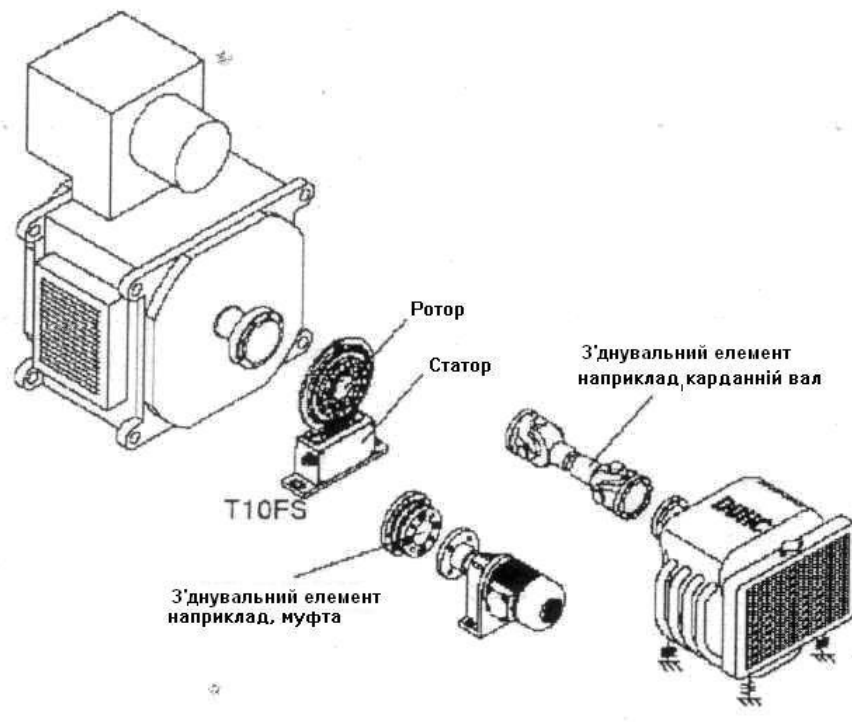


Рисунок 4.8

Приклад установлення датчика T10FS

Таблиця 4.3

Технічні характеристики датчиків

Номинальний крутний момент, кНм	-0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10
Номинальна швидкість обертання, об/хв	- 1500(для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 12000 (для 0,5 кНм; 1 кНм; 2 кНм; 3 кНм); 10000 (для 5 кНм); 8000 (для 10кНм)
Підвищена номінальна швидкість обертання, об/хв	- 24000 (для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 22000 (для 0,5 кНм; 1 кНм) 18000 (для 2 кНм; 3 кНм); 14000 (для 5 кНм); 12000 (для 10 кНм)
Клас точності	-0,05
Зняття сигналу	- безконтактний
Передача крутного моменту	- фланець
Вихідний сигнал:	
по напрузі	
по частоті	10±5 В
Допустиме перевантаження %	160.. 400 (в залежності від номіналу)
Допуск по чутливості, %:	
по частоті	±0,1
по напрузі	0,2
Опір навантаження, кОм:	
вихід по частоті	>2
вихід по напрузі	>5
Діапазон вимірюваних частот, Гц	0...1000 (-3 dB)
Електроживлення (версія SF1/SU2), В	18...30
Максимально допустиме зміщення між ротором і статором, мм	±1,5
Маса, кг: ротора	1,9; 1,9; 2,4; 2,4; 4,9; 4,9; 8,3; 14,6
статора	1,2; 1,2; 1,2; 1,2; 1,3; 1,3; 1,3; 1,3;
Максимальний діаметр ротора, мм	119 (для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 139 (для 0,5 кНм; 1 кНм); 175 (для 2 кНм; 3 кНм); 209 (для 5 кНм); 256 (для 10 кНм)
Максимальний висотний розмір статора, мм	253 (для 0,1 кНм; 2 кНм); 273 (для 0,5; 1 кНм); 309 (для 2 кНм; 3 кНм); 343 (для 5 кНм); 391 (для 10 кНм)

Серед безконтактних датчиків на увагу заслуговують і датчики серії TF Magtrol фланцевого типу. Безпосереднє жорстке закріплення датчика на валу

допускає використання муфти тільки з однієї сторони. Це дозволяє полегшити установлення датчика у систему вимірювання.

Телеметрична система датчика ТФ дозволяє з високою точністю передати сигнал, що ґрунтується на тензометричній технології. Підсилювач сигналу, установлений на валу вимірювання, підсилює сигнал, що надходить від тензомоста, моделює його до високої частоти і передає індуктивно (через ВЧ передавач) на перетворювач. У перетворювачі оцифрований сигнал момента переходить в аналоговий вихідний сигнал $\pm 5\text{В}$. Частота обертання може бути виміряна і перетворена датчиком частоти через TTL вихідний сигнал.

Завдяки безконтактному виконанню датчика, допустимий проміжок між вимірювальним фланцем і ВЧ передавачем до 5 мм (головним чином 1-3 мм) дозволяє приймати сигнал незалежно від осьових і радіальних переміщень. Ще однією перевагою датчика ТФ є відсутність інтерференції сигналу і на відміну від інших датчиків, він не потребує колової антени на вимірювальному фланці.

В комплект датчика входять (рис. 4.9): вимірювальний фланець із підсилювачем сигналу; ВЧ передавач; перетворювач; коаксіальний кабель.

Додатково постачаються стандартний датчик частоти обертання НФ.



Рисунок 4.9

Комплект датчика крутного момента ТФ

Основні показники моделей датчиків TF наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Технічні характеристики датчиків TF

Модель	Номінальний момент, Н*м	Допустиме перевантаження, %	Клас точності, %	Максимальна частота обертання, об/хв	Маса датчика, кг	Момент інерції, кг/м ²
1	2	3	4	5	6	7
TF 209	20	200	0,1	14000	2,0	$2,917 \cdot 10^{-3}$
TF 210	50	200	0,1	14000	2,1	$2,996 \cdot 10^{-3}$
TF 211	100	200	0,1	14000	2,2	$3,172 \cdot 10^{-3}$
TF 212	200	200	0,1	14000	2,2	$3,138 \cdot 10^{-3}$
TF 213	500	200	0,1	8000	3,3	$7,803 \cdot 10^{-3}$
TF 214	1000	200	0,1	8000	3,3	$7,817 \cdot 10^{-3}$
TF 215	2000	200	0,1	8000	5,2	$1,868 \cdot 10^{-2}$
TF 216	5000	200	0,1	4000	9,3	$7,47 \cdot 10^{-2}$
TF 217	10000	150	0,1	4000	9,3	$4,706 \cdot 10^{-2}$
TF 218	20000	200	0,2-0,25	3000	42,7	$9,635 \cdot 10^{-1}$
TF 219	50000	180	0,2-0,25	3000	43,3	$9,724 \cdot 10^{-2}$
TF 220	100000	200	0,25-0,30	3000	36,0	$1,07 \cdot 10^0$

Приклад використання датчика TF 219, що вмонтований між вихідним валом редуктора ГТ-1300-К і вхідним валом валкового брикет-пресу, показано на рис. 4.10.

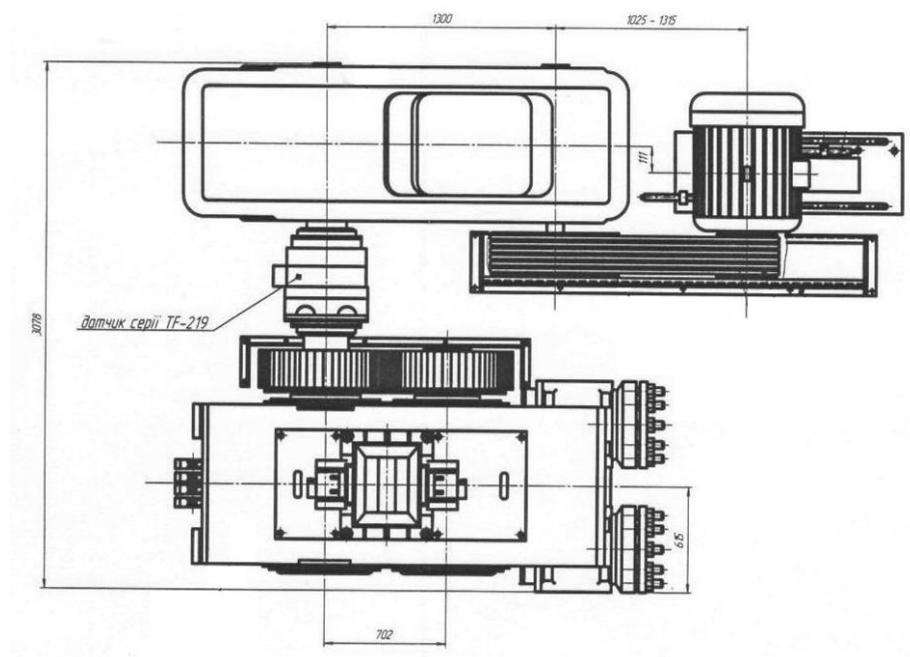


Рисунок 4.10

Приклад установки датчика момента TF 219

