

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Київ, 2017

УДК Ж 850
ББК 669.02
Т 381

*Рекомендовано до видання рішенням вченої ради
Запорізької державної інженерної академії
(Протокол №2 від 23.02.2017 р.)*

Рецензенти:

Білодіденко С.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри «Машин та агрегатів металургійного виробництва» Національної металургійної академії України

Волчок І.П., д.т.н., проф., Завідувач кафедри «Композиційних та порошкових матеріалів і технологій» Запорізького національного технічного університету

Ніколаєв В.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри «Обробки металів тиском» Запорізької державної інженерної академії

Т 381 Технічне обслуговування металургійного обладнання :
Навчальний посіб. / Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К.,
Таратута К.В. — Київ: Видавничий дім «Кондор», 2017. —
288 с. Іл.:105; табл.:34 ; бібліогр.: 27 назв.

ISBN

Розглянуто: організацію проведення технічного обслуговування (ТО) металургійного обладнання, методи і засоби балансування обертових деталей і вузлів, практичні основи технічного контролю і діагностики, характеристики сучасних мастильних матеріалів та обладнання для змащення, методологію ТО гідро- і пневмосистем, на конкретних прикладах міжремонтне обслуговування металургійних агрегатів.

Для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями «Галузеве машинобудування» («Металургійне обладнання»), «Обслуговування та ремонт обладнання металургійних підприємств») та «Металургія» і може бути корисним для фахівців металургійних і машинобудівних підприємств.

ISBN

© Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К.,
Таратута К.В., 2017

© Видавничий дім «Кондор», 2017

ЗМІСТ

Передмова	5
Розділ 1. Нормативно-технічна документація	7
Розділ 2. Організація проведення технічного обслуговування (ТО)	12
1. Зміст, мета, стратегія та методи проведення ТО.....	12
2. Основні положення організації та проведення ТО	13
3. Орієнтовна періодичність профілактичних оглядів устаткування	18
4. Робоча документація з планування ТО	19
5. Перелік операцій ТО обладнання	30
Розділ 3. Балансування обертальних деталей та вузлів	33
1. Загальні відомості	33
2. Статичне балансування.....	36
3. Динамічне балансування	41
4. Сучасне обладнання для балансування обертальних деталей	46
Розділ 4. Вимірювання технічних параметрів механічного обладнання	61
1. Вимірювання зусиль і напружень методом тензометрії.....	61
2. Вимірювання крутних моментів	69
3. Вимірювання переміщень, швидкості і частоти обертання	74
Розділ 5. Діагностика відмов і виявлення дефектів	85
1. Загальні відомості	85
2. Вібраційний моніторинг і діагностика обладнання	86
2.1 Методологія вібраційного моніторингу і діагностування.....	86
2.2 Апаратура для вібраційного моніторингу і діагностування ...	89
2.3 Діагностування підшипників ковзання	93
2.4 Діагностування підшипників кочення	99
2.5 Діагностика редукторів.....	110
3. Тепловий моніторинг і діагностика.....	129
4. Дефектоскопія.....	137
5. Специфічні засоби діагностики гідросистем.....	147

Розділ 6. Змащування обладнання	154
1. Загальні відомості	154
2. Характеристики мастильних матеріалів	155
3. Отримання необхідної в'язкості масел при їх обмеженому асортаменті.....	164
4. Карта і таблиця змащування	165
5. Способи подачі мастильних матеріалів до вузлів тертя. Мастильне обладнання	167
5.1 Системи рідинного змащування	167
5.2 Системи пластичного змащування	174
5.3 Мастильні системи «масло-повітря» (СМП)	182
5.4 Системи мастильні плівкові (ССП)	186
6. Розрахунки потреб у мастильних матеріалах	190
6.1 Розрахунки для картерних систем рідинного змащення.....	190
6.2 Розрахунки для циркуляційної системи рідинного змащування	192
6.3 Розрахунки потреб в пластичному мастилі	192
7. Терміни служіння мастильних матеріалів та їх очищення і регенерація	194
Розділ 7. Технічне обслуговування гідро- і пневмосистем.....	203
1. Поняття про тиск і його різновиди	204
2. Властивості робочих рідин.....	204
3. Основні відомості стосовно гідравліки трубопроводів	208
4. Рекомендації щодо вибору робочих рідин.....	212
5. Особливості пневматичних систем	215
6. Умовні позначення елементів гідро- і пневмоприводів	217
7. Перевірення і випробування обладнання.....	233
8. Ресурс та напрацювання гідроприводів і їх елементів	243
9. Характерні несправності в роботі гідросистем та заходи щодо їх усунення	249
10. Контроль стану і параметрів роботи гідросистем	253
Розділ 8. Міжремонтне обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів	257
Література	275
Додатки	277

ПЕРЕДМОВА

Технічне обслуговування (ТО) є одним із головних заходів, що забезпечує нормальне функціонування устаткування згідно із запланованими термінами його використання. Загалом же система ТО являє собою сукупність організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на підтримання в технічно справному стані устаткування, забезпечення надійності його роботи, виконання вимог охорони праці та навколишнього природного середовища. І вона є лише частиною системи технічного обслуговування та ремонту техніки (ТОіР). Тобто ТО не є поточним чи капітальним ремонтом або поліпшенням основних фондів. ТО устаткування лише передбачає наступне: перевірку технічного стану, виконання робіт щодо підтримання технічно справного стану та належного зовнішнього вигляду, усунення виявлених несправностей (див. Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу, № 200 від 06.06.2005).

В той же час в існуючих підручниках і посібниках, виданих під дисципліну «Монтаж, експлуатація і ремонт обладнання», інформація на предмет ТО є дуже обмеженою і поверхневою, оскільки займає лише декілька сторінок. Тому метою даного посібника є усунення цих прогалин і подання матеріалу в такому аспекті, щоб на ньому стало можливим належно готувати фахівців-експлуатаційників.

Особливу увагу в посібнику приділено технічному контролю і діагностиці та змащенню устаткування, технічному обслуговуванню гідро- і пневмосистем, методології міжремонтного обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів.

Найгострішою проблемою вітчизняного металургійного (і не тільки) виробництва є загрозливе відставання від провідних країн (і навіть від Росії) щодо використання сучасних засобів контролю і, тим більш, діагностики.

В той час, як застосування цих засобів дозволило б значно підвищувати надійність і ресурс обладнання шляхом виявлення на ранніх стадіях дефектів і несправностей та причин їх виникнення, оскільки це дозволяє попередити і усунути їх розвиток і за рахунок цього відвернути відмови і аварії обладнання, які призводять до негативних наслідків. Вкрай важливим є те, що технічне діагностування

дозволяє визначати технічний стан об'єктів без їх розібрання. Без нього, як показує досвід, пошуки несправностей можуть займати у середньому до 50% від загального часу ремонтних робіт. Більш того, діагностування дозволяє взагалі усунути незаплановані простой обладнання і остаточну втрату ремонтпридатності відповідальних вузлів і деталей. Діагностування також дозволяє отримувати найбільш повну інформацію для забезпечення оптимального регулювання роботи обладнання із забезпеченням виконання заданої роботи при найменшому споживанні ресурсів.

У посібнику достатньо повно подана інформація щодо способів і засобів технічного контролю і діагностики, яка вкрай необхідна для підготовки висококласних фахівців-експлуатаційників.

В існуючих посібниках і підручниках, що призначені для підготовки фахівців з металургійного обладнання, практично повністю відсутня інформація щодо технічного обслуговування гідро- і пневмосистем, хоча з кожним роком розширюються сфери їх використання. У даному ж посібнику цьому питанню приділена належна увага. Причому, щоб студенти краще розумілись на ТО цих систем, у посібнику розглянуто необхідні відомості із гідравліки.

Корисним для підготовки фахівців будуть і практичні приклади стосовно опису міжремонтного обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів.

Книга призначена як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями «Галузеве машинобудування» («Металургійне обладнання», «Обслуговування та ремонт обладнання металургійних підприємств») та «Металургія» і може бути корисна для фахівців металургійних і машинобудівних підприємств.

Автори щиро вдячні студентам Запорізької державної інженерної академії за допомогу у розробці електронного макета посібника.

Розділ 1

Нормативно-технічна документація

Технічне обслуговування є однією із складових стадій життєвого циклу обладнання — *експлуатації*, до якої також входять інші складові: уведення об'єкта в експлуатацію (монтаж, налагодження), використання його за призначенням (технологічна експлуатація), зберігання в процесі експлуатації (витримування оптимальних режимів роботи), поточні ремонти, припинення експлуатації (списання, передавання, утилізація, знищення).

Одним із головних нормативних документів, згідно з яким металургійним підприємствам незалежно від форми власності, що входять до сфери діяльності Мінпромполітики України, належить керуватись і проводити у відповідність до нього свої внутрішні розпорядчі документи з питань технологічного обслуговування обладнання, є «Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 15.06.2004 № 285 із внесеними змінами від 06.06.2005).

Положення розроблено у відповідності до таких нормативно-правових та нормативно-технічних актів з урахуванням прийнятих у встановленому порядку змін і доповнень:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 2391-94 «Система технологічної документації. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення»;
- ДСТУ 3321-96 «Система конструкторської документації. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення»;
- ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»;

- ГОСТ 23887-79 «Сборка. Термины и определения»;
- ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения»;
- ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий».

У положенні стосовно технічного обслуговування (ТО) використовуються терміни в такому значенні:

- *система технічного обслуговування устаткування (СТОУ)* — сукупність організаційних, технічних та інших заходів, необхідних для підтримання в технічно справному стані устаткування при використанні за призначенням, перебуванні в резерві, очікування, зберіганні і транспортуванні;

- *технічне обслуговування* — комплекс операцій чи операція для підтримки справного стану чи працездатності об'єкта при використанні його за призначенням, під час простою, зберігання і транспортування;

- *технічне обслуговування і ремонт (ТОіР)* — сукупність усіх технічних та організаційних дій, у тому числі й технічного нагляду, спрямованих на підтримку чи повернення об'єкта в стан, у якому він здатний виконувати потрібну функцію;

- *стратегія технічного обслуговування та ремонту* — система принципів організації й проведення технічного обслуговування та ремонту;

- *операція технічного обслуговування та ремонту* — послідовність елементарних технологічних дій з технічного обслуговування, та ремонту, які проводять із заданою метою;

- *тривалість технічного обслуговування* — частина тривалості *ТО* та ремонту, протягом якої здійснюють технічне обслуговування об'єкта, урахуваючи тривалість затримок з технічних причин та тривалість затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами, притаманних технічному обслуговуванню;

- *періодичність ТО* — інтервал часу або напрацювання від даного виду *ТО* до наступного такого самого виду *ТО* або *ТО* більшої складності;

- *цикл ТО* — найменший повторюваний інтервал часу чи напрацювання виробу, протягом якого виконуються у визначеній послідовності згідно з вимогами нормативно-технічної або експлуатаційної документації усі встановлені види періодичного *ТО*;

- *ТО при використанні* — технічне обслуговування при підготовці до використання за призначенням, використанням за призначенням, а також безпосередньо після його закінчення;
- *номерне ТО* — технічне обслуговування, за яким визначеному обсягу робіт привласнюється певний порядковий номер;
- *планове ТО* — технічне обслуговування, постановка на яке здійснюється згідно з вимогами нормативно-технічної або експлуатаційної документації;
- *непланове ТО* — технічне обслуговування, постановка на яке здійснюється без попереднього призначення за технічним станом;
- *періодичне ТО* — технічне обслуговування, яке виконується через установлені в експлуатаційній документації значення напрацювання або інтервали часу;
- *регламентоване ТО* — технічне обслуговування, яке передбачене в нормативно-технічній або експлуатаційній документації і виконується з періодичністю і в обсязі, установленими в ній, незалежно від технічного стану виробу в момент початку технічного обслуговування;
- *ТО з періодичним контролем* — технічне обслуговування, при якому контроль технічного стану виконується з установленими в нормативно-технічній документації періодичністю й обсягом, або обсяг інших операцій визначається технічним станом виробу в момент початку технічного обслуговування;
- *ТО з безперервним контролем* — технічне обслуговування, яке передбачено в нормативно-технічній або експлуатаційній документації і виконується за результатами контролю технічного стану об'єктів;
- *потоківий метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування на спеціальних робочих місцях з визначеними технологічною послідовністю і ритмом;
- *централізований метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування персоналом і засобами одного підрозділу організації або підприємства;
- *децентралізований метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування персоналом і засобами декількох підрозділів організації або підприємства;
- *метод ТО експлуатаційним персоналом* — метод виконання технічного обслуговування обслуговуючим персоналом, що працює на даному об'єкті, при використанні його за призначенням;

▪ *метод ТО спеціалізованим персоналом* — метод виконання технічного обслуговування персоналом, спеціалізованим на виконанні операцій ТО;

▪ *метод ТО спеціалізованою організацією* — метод виконання технічного обслуговування організацією, спеціалізованою на операціях ТО;

▪ *метод ТО обслуговування фірмовий* — метод виконання технічного обслуговування підприємством — виробником виробу (об'єкта).

В положенні також дається формулювання інструкції з ТО, яка являє собою експлуатаційний документ, що містить єдині правила ТО виробу і його складових частин.

Також наявні нормативні документи для окремих підприємств галузі, наприклад: «Положення про технічне обслуговування устаткування коксохімічних підприємств» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 14.10.2005р N 387), «Положення про технічне обслуговування та ремонту механічного обладнання коксохімічних підприємств» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 10.10.2006р N 361) та інші.

Іншим нормативним документом, вимог якого мають додержуватись підприємства, є міждержавний стандарт ГОСТ2.601-95 «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.» В 5-му розділі стандарту наведено вимоги до побудови, змісту і викладення документів, куди входить і частина «технологічне обслуговування.» Одним із головних нормативних джерел, на якому побудована «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы» є, як і в Положенні про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу, ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»

В доповненій редакції «Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» в п. 1.3.7. вказано наступне:

Положення у частині, яка не суперечить цьому положенню:

▪ «Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР», затверджене Заступником міністра чорної металургії СРСР А.Р. Борисовим 25.01.1982 р.

▪ «Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования и транспортных средств на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР», затверджене Міністром кольорової металургії СРСР П.Ф. Ломако 06.10.1981 р.

Цей запис свідчить про те, що в роботі можна керуватись цими двома документами, зокрема відомостями щодо оформлення документації на ТО і ремонти, визначення періодичності, тривалості і трудомісткості ремонтів та інше. Але слід мати на увазі, що вони різняться між собою стосовно форми технічної документації, деяких питань організації структури ТОіР та нормативів періодичності, тривалості і трудомісткості однотипного технологічного обладнання (наприклад, дробарок, млинів, змішувачів і т.д.).

Розділ 2

Організація проведення технічного обслуговування (ТО)

1. ЗМІСТ, МЕТА, СТРАТЕГІЯ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ТО

Система ТО устаткування, як виходить із Положення, має містити у собі сукупність організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на підтримання в технічно справному стані устаткування, забезпечення надійності його роботи, виконання вимог охорони праці та навколишнього природного середовища.

ТО не є поточним чи капітальним ремонтом, що вказано в Положенні (пункт 4.2). Метою ТО є підтримання технічно справного стану, запобігання передчасному зносу устаткування та його складових частин, забезпечення виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища.

Упровадження системи ТО устаткування включає наступне:

- розробку та впровадження стратегії організації і проведення ТО (див. попередній розділ);
- дотримання вимог правил і норм ТО та експлуатації устаткування, організацію контролю за їх дотриманням;
- організацію систематичного спостереження та контроль технічного стану, параметрів і часу роботи устаткування та його складових частин;
- планування і проведення періодичних технічних оглядів устаткування;
- визначення складу та строків проведення робіт ТО з урахуванням оброблених даних діагностичних і контрольно-вимірювальних приладів, систематичних спостережень за станом і умовами експлуатації устаткування;
- розробку й удосконалення норм ТО устаткування;
- організацію виробничої бази для підготовки та проведення ТО, забезпечення її кваліфікованою робочою силою, технічною та нормативною документацією, необхідними діагностичними приладами, інструментами, а також організацією їх обліку і зберігання;
- організацію матеріально-технічного збереження матеріалами, запасними частинами та змінним обладнанням, необхідними для під-

тримання устаткування у технічно справному стані та збереження здатності його до використання;

- організацію раціонального документообігу;
- удосконалення організації та нормування праці робітників, які займаються ТО, нормування витрат матеріальних ресурсів;
- організацію обліку й аналізу витрат на ТО устаткування (витрати на оплату праці робітників з відрахуваннями на соціальні заходи, вартість матеріалів, запасних частин та деталей, витрати на налагодження, заміну та відновлення змінного обладнання; вартість допоміжних і інших виробництв, підрядних організацій, які виконують ТО).

Стратегія проведення ТО визначає види і методи ТО, які застосовуються на підприємстві для різних видів устаткування. При цьому повний обсяг виконання ТО має відбуватись при мінімальних витратах людських і матеріально-технічних ресурсів. Вона розробляється підприємством з урахуванням вимог Правил технічної експлуатації (ПТЕ), нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища. Згідно з обраною стратегією проведення ТО та наявністю діагностичного устаткування можуть використовуватись наступні *види ТО*: *планове; непланове; періодичне; номерне; регламентоване; сезонне; ТО з періодичним контролем; ТО з безперервним контролем* (характеристика видів ТО наведена в попередньому розділі).

Згідно з обраною стратегією можуть використовуватись наступні *методи проведення ТО*: *потоківий; децентралізований; централізований; фірмовий; метод проведення ТО експлуатаційним персоналом; метод проведення ТО організацією, яка експлуатує устаткування; метод проведення ТО спеціалізованою організацією* (характеристика кожного з методів наведена в попередньому розділі).

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ТО

ТО устаткування передбачає наступне: перевірку технічного стану, виконання робіт щодо підтримки технічного справного стану та належного зовнішнього вигляду, усунення виявлених несправностей.

В положенні про технічне обслуговування в додатковій частині наведено перелік операцій, які належать до ТО устаткування підпри-

ємств гірничо-металургійного комплексу. В даному ж посібнику надано лише перелік основних операцій, що виконуються при ТО металургійного механічного обладнання. Проте детальніші переліки робіт розробляються у нормативно-технічних актах для підгалузей гірничо-металургійного комплексу. Наприклад, кольорова металургія своїми технологіями і, отже, обладнанням суттєво відрізняється від чорної металургії. Навіть однотипне обладнання (як то дробарки) перебуває у відмінних умовах.

У разі відсутності переліків у НТА, як оголошується в Положенні, вони розроблюються підприємством з урахуванням даного Положення, специфіки підприємства і затверджуються наказом на підприємстві.

Види та норми ТО, тривалість та періодичність ТО (для періодичних методів) затверджуються керівником підприємства або уповноваженими ним особами згідно з обраною стратегією проведення ТО.

ТО проводиться згідно з Правилами технічної експлуатації (ПТЕ), картами ТО, інструкціями з ТО, останні з яких розробляються підприємствами і затверджуються керівництвом підприємства в разі їх відсутності у документації на обладнання. На випадок розроблення цих інструкцій обов'язково мають враховуватись вимоги експлуатаційної документації, типовими ПТЕ за видами устаткування, нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища та інструкцій заводів-виробників устаткування.

ПТЕ установлюють основні положення, що передбачають раціональну технічну експлуатацію технологічного обладнання, його надійність і безпечність обслуговуючого персоналу. ПТЕ регламентують проведення оглядів обладнання при прийманні зміни і під час роботи технологічним персоналом і персоналом механослужби, ТО під час роботи і зупинок, періодичних оглядів обладнання інженерно-технічними працівниками, проведення ремонтів. ПТЕ містить рекомендації з налагодження, регулювання, визначення непридатності зношених деталей. Для цього в них мають бути поміщені описання будови і конструкцій обладнання, загальні і кінематичні схеми, схеми змащування і кріплення.

Відповідальність за додержування ПТЕ несуть головний інженер і головний механік в межах всього підприємства, начальники цехів, їх замісники і помічники з обладнання (в межах цеху), цехові ІТП

(в межах своєї компетенції), кожний робітник (в межах закріпленого за ним обладнання).

Все устаткування згідно з Положенням має закріплюватись за певними бригадами (чи окремими робітниками бригади) ремонтного, чергового й експлуатаційного персоналу цеху. При цьому відповідальними за його працездатність протягом зміни також є експлуатаційний і черговий персонал.

ТО виконується черговим, ремонтним і експлуатаційним персоналом виробничих цехів, персоналом спеціалізованих підрозділів підприємства, та спеціалізованих підприємств згідно з ПТЕ, інструкціями, графіками проведення ТО, картами ТО і відомостями обсягів робіт на ТО (складаються в обов'язковому порядку лише при залученні спеціалізованих підрядних організацій).

Стан устаткування протягом зміни експлуатаційний і черговий персонал повинен фіксувати в журналах приймання та здавання змін, а також у вахтових журналах машиністів вантажопідйомних машин.

У журналах мають бути зафіксовані наступні моменти:

- результати оглядів закріпленого устаткування згідно із затвердженим графіком ТО, стан устаткування протягом зміни, дефекти і несправності, що порушують його працездатність або безпеку умов праці;
- заходи, які були проведені для усунення дефектів і несправностей;
- випадки порушення ПТЕ устаткування та технології виробництва.

Дані журналів використовуються для визначення переліку й обсягу робіт з усунення несправностей й цій зміні, а також при найближчій зупинці устаткування на планове ТО або ремонт.

Експлуатаційний, черговий і ремонтний персонал згідно Положення протягом зміни зобов'язаний виконувати наступні операції:

- здійснювати технічні огляди устаткування на закріплених ділянках згідно з графіками, затвердженими головними спеціалістами підприємства;
- систематично спостерігати за роботою устаткування (знімати показання контрольно-вимірювальних приладів, контролювати ступінь нагрівання вузлів і достатність надходження до них мастильних матеріалів, стан футеровки тощо), регулярно вести запис в журналі приймання та здавання змін;

- проводити заміну швидкозношувальних частин і змінного обладнання. Перелік змінного обладнання наведено в додатку Д.1. До нього належить також складові частини обладнання;
- виконувати вогневі та електрозварювальні роботи для підтримання працездатності елементів устаткування, до яких допускаються лише особи, що мають на це право;
- усувати дрібні несправності й неполадки в роботі устаткування проводити ревізію деталей і вузлів з метою запобігання виходу їх з ладу, запобігання втратам мастильних матеріалів, пари, газу, сировини, матеріалів, продуктів переробки, викидів шкідливих речовин у повітря, використовуючи для цього міжзмінні зупинки, внутрішньо змінні технологічні паузи, а в разі потреби спеціально зупиняють для цього устаткування згідно з діючими правилами його зупинки;
- регулювати пристрої, механізми, схеми і системи змащування вузлів устаткування мастильними матеріалами певного сорту в установленому режимі і забезпечувати подачу їх централізованими системами пластичного і рідкого змащування;
- перевіряти кріплення контрвантажів, кришок, підшипників, редукторів, корпусів механізмів, важелів, пасків, ланцюгів, зубчастих та фрикційних коліс, інші елементи відкритих передач та інших деталей і вузлів машин, послаблення кріплення яких може викликати аварійну зупинку агрегату, а у разі потреби замінити кріпильні вироби та підсилювати з'єднання деталей або вузлів машин (болтові, шпонкові, шпилькові, гвинтові, заклепкові, клейові, зварні, паяні, на шурупах, на цвяхах тощо).
- стежити за безперервним надходженням холодоагентів та мастила для охолодження та змащування механізмів, перевіряти справність деталей і вузлів магістралей води та інших холодоагентів, стиснутого повітря і змащування;
- перевіряти на відсутність витоку мастила із зубчастих муфт, редукторів, картерів та інших ємкостей, перевіряти ступінь нагрівання вузлів машин, наявність мастила у ваннах картерних систем, характер шуму в редукторах, зубчастих передачах і підшипниках, уживати заходів щодо усунення виявлених несправностей;
- оглядати сталеві канати, перевіряти і регулювати натяг ланцюгів, транспортних стрічок, з'єднання або заміну ланцюгів, пасків, стрічок;

- стежити за наявністю, справністю і кріпленням огорож, а в разі потреби їх відновлювати;

- при прийманні-здаванні зміни оглядати устаткування повинні: чергові слюсарі та електрики, мастильники, сантехніки (на закріпленій дільниці), машиністи (оператори, апаратники), їхні помічники й експлуатаційний персонал на закріпленому за ними устаткуванні.

При технічних оглядах під час приймання змін необхідно:

- перевіряти деталі та вузли, механізми, у роботі яких під час попередньої зміни виявлені дефекти й несправності;

- перевіряти надійність кріплення вузлів і деталей, ослаблення яких при подальшій роботі може викликати відмову в роботі або зупинку устаткування;

- перевіряти справність мастильних пристроїв та їх герметичність;

- перевіряти герметичність ущільнень насосного устаткування, трубопроводів та інше;

- контролювати технічний стан устаткування за характером шуму та вібрації;

- перевіряти справність захисних огорож;

- у разі потреби усувати несправності й неполадки, виявлені в процесі перевірки роботи устаткування;

- перевіряти наявність інструмента і пристосувань, запасних частин;

- перевіряти чистоту устаткування і робочого місця.

Ремонтний персонал виробничих цехів при проведенні ТО спільно з експлуатаційним і черговим персоналом зобов'язаний:

- здійснювати профілактичні огляди закріпленого за ним устаткування згідно з установленими графіками, технологічними регламентами тощо;

- виконувати регулювальні та налагоджувальні роботи, приймати участь у проведенні випробовувань машин і механізмів, перевіряти справність захисних блокувань;

- усувати виявлені при огляді дефекти і несправності, що порушують нормальну роботу устаткування або здатні викликати його зупинку.

Експлуатаційний, черговий і ремонтний персонал перед здаванням зміни, під час технічних оглядів і проведення профілактик повинен очищати устаткування і прибирати робочі місця.

Посадові особи ремонтної служби структурного підрозділу повинні періодично перевіряти технічний стан устаткування згідно з графіком, затвердженим головними спеціалістами підприємства.

Результати оглядів і всі зміни в стані устаткування повинні бути зафіксовані в агрегатних журналах відповідного устаткування.

При прийманні змін в процесі ТО устаткування персонал повинен дотримуватись діючої биркової системи, яка визначена НАОП–1.2.10-2.01–79–ОСТ 14.55-79 «Биркова система на підприємствах чорної металургії. Основні положення. Порядок застосування».

Для контролю технічного стану, пошуку місця та визначення причин відмови (несправності) та прогнозування технічного стану устаткування належить здійснювати *періодичне діагностування*. Воно має містити в собі наступні моменти:

- моніторинг та документування змін технічного стану устаткування, виявлення причин, що їх викликали;
- проведення діагностики технічного стану методами неруйнівного контролю;
- визначення обсягів ремонтних робіт з ТО за результатами діагностичного контролю.

Зупинки та пуски устаткування для технічного діагностування повинні бути мотивованими і фіксуватись у відповідних документах.

Вантажопідйомні крани і механізми, усі види підйомників, а також посудини і пристрої, що працюють під тиском, крім звичайних профілактичних оглядів підлягають технічному огляду і випробуванням, які виконують особи, відповідальні за утримання вантажопідйомних машин в справному стані, згідно з діючими правилами Держгіртехнагляду.

3. ОРІЄНТОВАНА ПЕРІОДИЧНІСТЬ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ОГЛЯДІВ УСТАТКУВАННЯ

Планові профілактичні огляди механічного обладнання повинні здійснювати всі без винятку працівники механослужби, починаючи від чергового слюсаря і закінчуючи головним механіком підприємства, проте обсяг, зміст і періодичність оглядів для них різні.

Планові огляди обладнання інженерно-технічними працівниками механослужби (помічник начальника цеху з обладнання або стар-

ший механік, механік, майстер) мають виконуватись з періодичністю, передбаченою правилами технічної експлуатації (ПТЕ) обладнання відповідних виробництв.

Щорічно за місяць до початку планового року помічник начальника цеху з обладнання (або старший механік) складає графік технічних оглядів обладнання цеху інженерно-технічними працівниками і графіки технічного обслуговування його ремонтним персоналом. Ці графіки погоджуються з начальником цеху і затверджуються головним механіком підприємства.

Метою оглядів інженерно-технічними працівниками є виявлення несправностей, здатних призвести до руйнування чи аварійного виходу обладнання із ладу, встановлення технічного стану найбільш відповідальних деталей і вузлів машин і уточнення обсягів наступних планових ремонтів. Виявленні при оглядах дефекти обладнання записують в агрегатних журналах, заведених на всі основні агрегати і машини. В ці журнали також записують результати ревізій обладнання, що виконуються за графіком під час ремонтів. При побудові графіків огляду обладнання орієнтовно керуються такою періодичністю: майстер-механік дільниці повинен оглядати обладнання всієї дільниці один раз за два тижні, механік цеху — за два місяці, помічник начальника цеху — за чотири місяці. Замісник головного механіка повинен оглянути обладнання всіх цехів один раз за 6 місяців, головний механік — все обладнання підприємства один раз за рік. Час цих оглядів поєднують з часом визначення технічного стану основних технологічних агрегатів і машин, що мають ввійти у графік капітальних ремонтів на наступний календарний рік.

З періодичністю 1 — 2 роки доцільно проводити силами відділу головного механіка (ВГМ) комплексне обстеження технічного стану обладнання всіх цехів з наступною розробкою заходів з усунення виявлених недоліків і що саме головне, — з контролем виконання заходів згідно з попереднім обстеженням.

4. РОБОЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ З ПЛАНУВАННЯ ТО

Основними документами з організації та планування ТО є:

- *річний графік ТО* устаткування (припускається у скороченому вмісті до необхідного обсягу або може бути відсутнім);

- *місячний графік ТО устаткування*, складений з урахуванням технічного стану устаткування (припускається використання типових графіків);

- *графіки проведення технічних оглядів устаткування* (за визначенням

- *правил технічний огляд* — захід, який виконується ручним чи автоматичним засобом з метою спостереження за станом об'єкта);

- *норми періодичності технічних оглядів і випробовувань устаткування*, для якого проведення технічних оглядів і випробовувань передбачені правила технічної експлуатації (ПТЕ), нормативно-правовими актами з охорони праці та іншими нормативними документами;

- *технічна документація, яка забезпечує інженерну підготовку ТО* — технологічні карти, технічні умови, схеми, креслення (у необхідному обсязі);

- *інструкції з ТО окремих видів устаткування* (у необхідному обсязі);

- *інструкції з експлуатації устаткування* (припускаються у скороченому до необхідного обсягу);

- *журнал приймання та здавання змін черговим персоналом механослужби*;

- *журнали приймання та здавання змін експлуатаційним персоналом*;

- *перелік професій експлуатаційного персоналу та видів робіт, що виконуються ними з ТО і затверджений керівництвом підприємства*;

- *відомість обсягів робіт* (складається в обов'язковому порядку, якщо для проведення ТО залучається підрядна організація);

- *кошторисна документація* (складається в обов'язковому порядку, якщо для проведення ТО залучається підрядна організація).

Склад та зміст документації щодо організації ТО та забезпечення запасними частинами і матеріалами розробляються службами за належністю та затверджуються керівництвом підприємства.

Результати оглядів і всі зміни в стані устаткування мають заноситись в *агрегатний журнал*.

Серед перерахованої документації найбільш часто застосовуються журнали приймання та здавання змін черговим персоналом механослужби (рис. 2.1), журнал приймання та здавання змін експлуа-

таційним персоналом (рис. 2.2) та агрегатний журнал (рис. 2.3). Нижче наведені пояснення щодо заповнення цих журналів.

ЖУРНАЛ ПРИЙМАННЯ І ЗДАВАННЯ ЗМІН ЧЕРГОВИМ ПЕРСОНАЛОМ

Журнал є первинним документом, що відображає стан і працездатність діючого обладнання і слугує для обліку і контролю роботи чергового персоналу механослужби цеху (рис. 2.1).

Робітник, що приймає зміну до її початку, зобов'язаний ознайомитись із записами в журналі, що зроблені в попередній зміні.

Приймання і здавання засвідчується підписами осіб, які здають і приймають зміну (графа 8).

В журналі мають фіксуватись наступні моменти:

- результати оглядів закріпленого обладнання за графіком (вказується найменування) оглянутого обладнання і перелік виконаних робіт з технічного обслуговування (графа 3);

- всі дефекти і несправності, що порушують нормальну роботу обладнання чи безпечність умов праці (графа 4);

- заходи, які прийняті для усунення дефектів і несправностей (графа 5);

- порушення технологічним персоналом правил технічної експлуатації обладнання і прізвища порушників (графа 6);

- тривалість простою обладнання при усуненні дефектів і несправностей (графа 7).

Правильність записів засвідчується підписом начальника зміни (графа 9). У випадках порушення правил технічної експлуатації, допущенні руйнувань і аварій начальник зміни робить запис про заходи, що направлені на попередження подібних випадків і про покарання порушників ПТЕ.

Відповідальність за стан і правильність ведення журналу покладається на механіка цеху, який зобов'язаний щоденно проглядати записи в журналі і давати письмові вказівки майстру-механіку про заходи, що необхідні для повного відновлення працездатності обладнання.

Вимагається, щоб журнал тримався в чистоті, а записи в ньому виконувались чітко, розбірливо і без виправлень.

Форма П.2.1

Підприємство (завод, комбінат) _____
 Цех _____

Журнал
 приймання та здавання змін
 черговим персоналом механослужби

Журнал розпочато _____
 (дата)
 Журнал закінчено _____
 (дата)
 В журналі _____ сторінок

a

Найменування устаткування, що закріплене за дільницею	П.І.Б. особи і № бригади, за якими закріплено устаткування	Періодичність чи дата огляду або технічного обслуговування

б

Рис. 2.1

Титульний лист (а) і зворотна (б) сторона форми журналу

«__» _____ 20__ р.
(число, місяць)

1	Ткачук бригада №2	Прізвище бригадира, № бригади
2	1	Зміна
3	Оглянуті натискний пристрій і універсальні шпинделі блюмінга. Виявлено підвищені розміри поздовжнього переміщення вала шпинделя.	Результати оглядів закріпленого устаткування і зауваження до наступного поточного ремонту
4	Рольганг за кліттю «трію» мав підвищений (80 °С) нагрів підшипників 1-ї передачі редуктора привода. Після доливання мастила в редуктор нагрів зменшився до нормального.	Дефекти і несправності, що виявлені на протязі зміни
5	Оператор Жигло І.П. нещодавно ввімкнув кантувач, через що відбулось руйнування важеля. Важіль замінено.	Заходи, що прийняті для усунення дефектів
6	1	Порушення правил технічної експлуатації і прізвиська порушників
7	0-10	Тривалість простою, год.-хв.
8	Здав – Ткачук Прийняв — Матвеев <u>Зауваження: При прийманні зміни виявлено наступне: не змащено підшипник 1-го ролика рольганга за кліттю «трію» Здав - Прийняв</u>	Підпис осіб, що здали і прийняли зміну
9	Підпис — Сідоренко <u>Зауваження: Зроблено подання начальнику цеху про позбавлення оператора Жигла за допущення аварії.</u>	Підпис начальника зміни і його зауваження

Вказівки і підпис механіка цеху

Відмітка про виконання вказівок механіка цеху

Підпис

Рисунок 2.1
Продовження форми

ЖУРНАЛ ПРИЙМАННЯ І ЗДАВАННЯ ЗМІН ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМ ПЕРСОНАЛОМ

Журнал також є первинним документом, який віддзеркалює стан і працездатність діючого обладнання і слугує для обліку і контролю роботи операторів, машиністів і іншого експлуатаційного персоналу (рис. 2.2).

Робітник, що приймає зміну до її початку, зобов'язаний ознайомитись із записами в журналі, що зроблені в попередній зміні.

Приймання і здавання зміни засвідчується підписами осіб, які прийняли і здали зміну (графа 5).

В журналі мають фіксуватись наступні моменти (графа 3):

- результати оглядів закріпленого обладнання за графіком (вказуються найменування оглянутого обладнання і перелік виконаних робіт з технічного обслуговування);
- всі дефекти, неполадки і несправності, що порушують нормальну роботу обладнання чи безпеку умов праці;
- заходи, прийняті для усунення дефектів і несправностей;
- випадки порушення правил технічної експлуатації і прізвища порушників;
- тривалість простою обладнання при усуненні дефектів і несправностей (графа 4).

Правильність записів засвідчується підписом начальника зміни (графа 6). У випадках порушення ПТЕ, допущення руйнувань і аварій начальник зміни робить запис щодо заходів, що прийняті для попередження подібних випадків і про покарання порушників ПТЕ.

Відповідальність за стан і правильність ведення журналу покладається на майстра-технолога дільниці.

На зворотній стороні титульного листа журналу майстер дільниці, якому підпорядковані оператори, заповнює дані про закріплення обладнання дільниці за окремими робітниками, дати і періодичність обслуговування.

Форма П.2.2

Підприємство (завод, комбінат) _____
 Цех _____

Журнал
 приймання і здавання змін експлуатаційним
 персоналом

 (найменування ділянки чи машини цеху)

 (найменування професії)

Журнал розпочато _____
 (дата)
 Журнал закінчено _____
 (дата)
 В журналі _____ сторінок

a

Найменування устаткування, що закріплене за ділянкою	П.І.Б. особи і № бригади, за якими закріплено устаткування	Періодичність чи дата огляду або технічного обслуговування

б

Рис 2.2

Титульний лист (а) і зворотна (б) сторони форми журналу

«___»_____ 20__ р.
(число, місяць)

Прізвище відповідальної особи і № бригади	Зміна	а) результати оглядів устаткування і зауваження до наступного поточного ремонту; б) дефекти і неполадки, виявлені на протязі зміни; в) заходи, прийняті для усунення дефектів; г) порушення правил технічної експлуатації і прізвища порушників	Тривалість про-стою, год.-хв.	Підписи осіб, що здали і прийняли зміну	Підпис начальника зміни (майстра-технолога, механіка цеху) і його зауваження
1	2	3	4	5	6
Петренко бригада №2	I	<p>а) Оглянуті маніпулятор, кантувач, робочі рольганги з передньої сторони. Здійснено прибирання окалини і бруду на дільниці.</p> <p>б,в) Здійснювали регулювання проводок в зв'язку з їх зносом. При черговому ремонті їх належить замінити.</p> <p>г) Обладнання працювало нормально, порушень правил технічної експлуатації не було.</p>	0–15	<p>Здав — Петренко Прийняв — Матвеев <u>Зауваження.</u> При прийманні зміни виявлено: витікання мастила в правому підшипнику третього ролика робочого рольганга задньої сторони кліті. Не прибрано бруд під опорою маніпулятора. Здав — Прийняв — <u>Зауваження.</u></p>	Попов

Рисунок 2.2

Продовження форми журналу

Журнал ведуть тільки оператори професій, перелік яких визначає начальник цеху за погодженням з головним механіком заводу.

АГРЕГАТНИЙ ЖУРНАЛ

Агрегатний журнал слугує для систематичного накопичення даних про технічний стан і працездатність діючого обладнання під час експлуатації і є основним вихідним документом для встановлення змісту і обсягів ремонтних робіт, а також термінів служіння вузлів і деталей обладнання (рис. 2.3).

Форма П.2.4

Підприємство (комбінат, завод) _____			
Цех _____			
АГРЕГАТНИЙ ЖУРНАЛ №			
Журнал розпочато _____			
(дата)			
Журнал закінчено _____			
(дата)			
ЗМІСТ			
	Найменування машин і механізмів	Сторінки	

Рисунок 2.3

Титульний лист агрегатного журналу

Найменування агрегату, машини, механізму Механізм нахилу сталеплавильної печі №5

Дата огляду чи ревізії	Найменуван- ня вузла	Результати огляду, коротка характерис- тика дефектів	Підпис особи, що провела огляд	Дата ремонту	Перелік робіт з усунення дефектів	Вузли і деталі, що замінені під час ремонту		Підпис майстра чи механіка
						Найменування, кількість, шт., термін служіння, місяців	Причина виходу із ладу. Пропозиції з удосконалення	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
03.03.11	<i>Лівий поршневий гідроциліндр</i>	<i>Виявлено сильний витік масла через уцілювання штока, що, крім втрат масла, не дає можливості підтримувати необхідний тиск у верхній порожнині лівого гідро- циліндра.</i>	<i>Павленко</i>	<i>04.03.11</i>	<i>Повністю замінено пакет манжет, установлена нова напрямна втулка штока.</i>	<i>Манжети уцілювання штока — 6 шт., термін служіння 6 місяців; Бронзова направляюча втулка — 1 шт., термін служіння 12 місяців</i>	<i>Причиною виходу уцілень із ладу є ненадійна конструкція запобіжного пристрою для захисту уцілень від абразивного забруднення. Розробити більш надійний захист уцілень від забруднення.</i>	<i>Півненко</i>

Рисунок 2.3

Продовження форми агрегатного журналу

Відповідальність за збереження, стан і правильність ведення агрегатних журналів покладається на механіка цеху.

Контроль за веденням агрегатних журналів у виробничих цехах підприємства покладається на помічника начальника цеху з обладнання (або старшого механіка) і на відділ головного механіка (ВГМ). Особи, що здійснюють контроль, повинні вносити свої зауваження і вказівки, які стосуються правильності його ведення, і розписуються із вказівкою дати перевірки.

Записи про знос і інші виявленні дефекти, а також результати оглядів (в тому числі і оглядів за графіком) мають заноситись в агрегатний журнал в день огляду чи ревізії обладнання, а записи про виконання ремонтних робіт — не пізніше доведеного терміну після закінчення ремонту.

Всі сторінки агрегатного журналу мають бути пронумеровані. При включенні в журнал декількох машин чи механізмів для кожного з них відводиться відповідна кількість сторінок, які вказуються у змісті журналу.

Ліва сторона агрегатного журналу призначається для фіксування дефектів, виявлених при оглядах і ревізіях обладнання, права — для записів про виконані роботи з їх усунення.

Записи на лівій і правій сторонах журналу мають бути взаємопов'язані і відповідати один одному. Записи про роботи з усунення дефектів належить розташувати напроти записів, що характеризують відповідний дефект.

Якщо під час ремонту виявлено і ліквідовано дефект, не виявлений при огляді чи ревізії, то запис про його усунення виконується в графі про виконані роботи. Якщо ж виявлений дефект не може бути ліквідованим незабаром, то запис про нього слід зробити на лівій стороні (в графі 3).

Характеристика дефектів, що фіксуються в агрегатному журналі (графа 3), має бути короткою, проте чіткою і достатньою для міркування про спосіб усунення дефектів (шляхом ремонту деталі на місці чи заміни її новою).

В графі 6 механік цеху чи майстер-механік дають короткий опис виконаних робіт з усунення дефектів, що вказані в лівій частині агрегатного журналу.

Закінчені агрегатні журнали повинні зберігатись в цехових архівах на протязі всього періоду роботи агрегату (машини, механізму).

5. ПЕРЕЛІК ОПЕРАЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

В «Положенні про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» наведено наступний перелік операцій, які мають виконуватись при технічному обслуговуванні (нижче наводиться перелік лише тих операцій, що має виконувати механослужба та підлеглі їй фахівці):

- *статичне та динамічне балансування деталей та вузлів, що обертаються;*
- *відновлення деталей шляхом напайки зносостійких пластин на елементи устаткування, наплавлення деталей устаткування та технологічного оснащення зносостійкими матеріалами і механічної обробки (поліруванням, притиранням, шабруванням, шліфуванням, відновлення транспортних стрічок, пасів, ланцюгів тощо);*
- *виконання операцій технічного обслуговування, передбачених інструкціями з експлуатації устаткування підприємства-виробника об'єкта експлуатації;*
- *демонтаж складових частин устаткування для відкриття доступу до елемента устаткування, для якого необхідно провести операції ТО, з наступним монтажем;*
- *дефектоскопія неруйнівними методами деталей і зварних стиків;*
- *заварювання тріщин в устаткуванні та технологічних металоконструкціях, відновлення дефектних зварних швів;*
- *забивання свищів, прогарів, пробоїн накладання бандажів, хомутів, карбуванням, приварюванням металевих латок, вставок;*
- *заміна арматури запірної, регулювальної, запобіжної без приводів діаметром умовного проходу до 250 мм; швидкозношувальних частин; гідравлічних насосів і розподільників гідравлічних насосів технологічного транспорту і кріпильних деталей, ланцюгів, тросів, канатних та ланцюгових тросів; манжетів, сальників, ущільнень і прокладок на рознімних частинах технологічного устаткування і тру-*

бпроводів; мастил і мастильних матеріалів, та матеріалів, що витрачаються; пневматичної арматури гальмових систем технологічного транспорту; привідних пасів, текстурів; зчипних пристроїв залізничного транспорту цехів; гальмових стрічок, колодок, накладок та інших елементів гальмових пристроїв; транспортерних стрічок, ланцюгів скребкових і пластинчастих конвеєрів та елеваторів; уніфікованих редукторів та електро-двигунів (із залученням електриків), футеровки тощо;

- *вимірювання* технічних параметрів (биття деталей, що обертаються, вібрації устаткування, зазорів у всіляких вузлах устаткування, вільних ходів деталей і вузлів, зміщення тупикових упорів рейок, крутних моментів на вузлах тощо);

- *випробування* гідравлічного і пневматичного устаткування, їх трубопроводів з арматурою та інше;

- *контроль* стану та справності устаткування, затяжки (моменти затяжки) різьбових з'єднань, елементів устаткування, технологічних металоконструкцій, трубопроводів, арматури, їх фундаментів та опор, кріплень рейкових шляхів, наявності та справності елементів систем охорони праці, проектного положення і трубопроводів, покриттів теплоізоляційних і антикорозійних устаткування та трубопроводів, положення робочих і сполучених поверхонь устаткування, температурних режимів роботи устаткування і попередження його перегріву, технічних параметрів, що підлягають перевірці та регулюванню, рівня робочих і технологічних рідин, речовин, реагентів, що призначені для підтримки устаткування у роботоздатному стані, характеристик зносу деталей і вузлів, герметичності сполучень, цілісності (відсутності пошкоджень, відколів, розривів, тріщин) елементів устаткування і технологічних металоконструкцій;

- *заміна змінного устаткування* згідно з переліком, наведеним у додатку Д.1 (в Положенні додаток 2);

- *очищення об'єктів* від технологічних відходів, продуктів зносу, корозії та осадів (бункерів, резервуарів, баків, фільтрів, ємкостей, відстійників, шламонакопичувачів, повітропроводів, пилопроводів, газопроводів, деталей і вузлів від нагару, елементів устаткування, апаратів і пристроїв від бруду, відкладень, осаду, накипу, шляхом продування, промивання, пропарювання, протирання та іншими методами);

- налагодження, перевірка режимів, ревізія, регулювання устаткування;

- технічне діагностування стану устаткування і вогнетривкої кладки;

- усунення дрібних дефектів устаткування.

Методи та технологія відновлення деталей, заварювальних тріщин, забивання свищів, прогарів, пробоїн та усунення інших дефектів детально розглянуто в книзі 3 посібника «Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання», а в інструкціях підприємств-виробників об'єктів експлуатації щодо виконання операції з їх технічного обслуговування наводяться конкретні дії і пояснення до них. Тому розгляду потребують лише наступні згруповані операції:

- балансування деталей та вузлів;

- вимірювання технічних параметрів;

- технічний контроль і діагностика обладнання;

- змащування обладнання;

- випробування гідравлічного і пневматичного устаткування;

- міжремонтне обслуговування механічного обладнання металургійних агрегатів.

Розділ 3

Балансування обертальних деталей та вузлів

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Тривала і надійна робота цілої низки механізмів (електродвигунів, барабанів, шківів, маховиків, роторів дробарок, ексгаустерів і т. д.) вимагає, щоб вони не мали вібрації під час роботи.

Під вібрацією маються на увазі періодичні відхилення тіла від положення покою чи рухомої рівноваги. Джерелом вібрації тіла є зовнішній імпульс (тобто дія прикладених до тіл сил), який змінюється як за величиною, так і за напрямом і називається силою збурення. Це може бути насамперед відцентрова сила незрівноважених обертальних мас.

Вібрація може виникати не тільки в окремих елементах обладнання, а й в машинах. В цьому випадку відбувається порушення з'єднань, кріплень, деформація конструкцій і ін. А іноді вібрація машини чи агрегату визиває навіть коливання фундаментів і елементів споруд, що в свою чергу порушує нормальні умови роботи іншого обладнання.

Величина (чи інтенсивність) вібрації характеризується і вимірюється розмахом коливань. Повний розмах, тобто найбільше переміщення в обидва боки від положення покою, називається амплітудою коливань, а число коливань в секунду — частотою коливань.

Відомо, що при вимушених коливаннях максимальна амплітуда A залежить від відношення частот вимушених f і вільних f_0 коливань. Її величину можна визначити за формулою:

$$A_{\max} = A_{\text{ст}} / (1 - f^2/f_0^2),$$

де $A_{\text{ст}}$ — відношення системи під дією статичних сил.

Із цього виразу виходить, що при рівності частот вимушених і власних коливань A_{\max} прямує до безкінечності. Таке явище отримало назву резонансу. Резонансні коливання в механічних системах зазвичай призводять до руйнування деталей, механізмів, машин і споруд. Тому їм намагаються запобігти, крім тих випадків, де вони можуть бути корисними (вібраційні машини, частотоміри та інше).

Число обертів деталей, що відповідає стану резонансу, називається критичним числом обертів чи критичною швидкістю обертання.

Якщо критичне число обертів вала перебуває вище його нормальних робочих обертів, то вал вважають жорстким, а при критичному числі обертів його називають гнучким.

Явище резонансу і підвищення вібрації при критичному числі обертів може використовуватись при динамічному балансуванні, оскільки це дає можливість визначити при правильному підборі числа обертів незрівноваженості у обертальній деталі.

Причиною виникнення вібрацій можуть бути наступні фактори:

- неточність виготовлення деталей (ексцентричність, овальність форми і т. п.);
- нерівномірність розподілення матеріалу в тілі деталі (газові шпарини і шлакові включення при відливанні деталей, нерівномірність структури і т. п.);
- неправильна посадка деталі на вал (натягування на шпонці);
- зігнутість вала;
- зміщення елементів обертальних валів під час роботи агрегату (зміщення обмотки ротора електродвигуна, кріплень, накладок і т.п.);
- резонанс коливання фундаменту машини, тобто потужна вібрація при певному числі обертів;
- наповзання вала, тобто тремтіння швидкісних машин при наявності великих зазорів в підшипниках, коли масляний клик піднімає вал, але не втримує і останній під дією власної ваги і відцентрової сили падає з періодичними повторами.

Незрівноважена маса при обертанні деталей призводить до появи збурюючої сили, яка намагається порушити стан рухомої рівноваги.

Збурююча сила рівна відцентровій силі незрівноваженої маси і визначається за формулою:

$$P = m \cdot \omega^2 \cdot R,$$

де m — незрівноважена маса;

$\omega = \pi n / 30$ — кутова швидкість;

R — радіус прикладення незрівноваженої маси;

n — частота обертання вала.

Для усунення вібрації виконують зрівноваження відповідних деталей і вузлів методом балансування. Під балансуванням розуміється сукупність заходів, направлених на усунення чи зменшення до певної

межі величини незрівноваженості. Але незалежно від можливого наступного балансування необхідно в процесі виготовлення чи під час ремонтів приймати заходи, щоб деталі мали якомога менший небаланс.

На практиці мають справу з двома видами рівноваги обертальних деталей: статичною і динамічною.

Статична рівновага характеризується тим, що при ній деталь, яка розташована вільно на горизонтальних напрямних, залишається в стані спокою при будь-якому своєму положенні.

Динамічна рівновага характеризується тим, що при ній деталь під час свого обертання не піддається вібрації.

Для усунення статичної незрівноваженості здійснюють статичне балансування, а для — динамічної незрівноваженості — динамічне балансування.

Як статичним, так і динамічним балансуванням мають усуватись тільки ті вібрації, які провокуються небалансом деталей, а не будь — якою іншою причиною (наприклад, прогином вала, послаблення дисків на валу, защемленням і т. п.). Тому до того, як приступити до балансування необхідно виявити причини, що викликають вібрації. При цьому важливо знати, які вібрації допустимі, а які недопустимі. В роботі [23] наведено розподіл металургійних машин на групи для оцінювання рівня її незрівноваженості (табл. 3.1.) і оцінка технічного стану машин за значенням середньоквадратичної віброшвидкості (табл. 3.2.)

Таблиця 3.1.

Розподіл металургійних машин на групи

Групи машин	Склад групи
1	2
I	Невеликі машини і механізми: редуктори і інші передатні механізми, що мають постійний кінематичний зв'язок з машиною; електродвигуни потужністю до 15 кВт (зрівняльні клапани, зондові лебідки, клапани повітрянагрівачів, рольганги дрібносортних станів і інше).
II	Середні машини потужністю до 300 кВт на окремих фундаментах, до складу яких входять тільки обертальні

Закінчення таблиці 3.1.

	деталі; електродвигуни потужністю до 1575 кВт, які установлені на загальному фундаменті(скіпові лебідки, приймальні, робочі рольганги обтискних станів тягнучі клітти машин безперервного лиття і т. п.).
III	Крупні машини без поступально рухомих мас, які жорстко установлені на тяжких нерухомих основах (робочі клітти прокатних станів, маніпулятори з кантувачами блюмінгів, слябінгів, стаціонарні міксери і інше).
IV	Крупні машини без поступально рухомих деталей, які пружно установлені на фундаментах і фундаментах полегшеного типу (вентилятори, димососи, вагоноперекидачі, розливальні, стріперні і інші металургійні крани)

Таблиця 3.2.

Оцінка технічного стану машин за значеннями середньоквадратичної віброшвидкості, мм/с

Групи машин	Технічний стан		
	добрий	задовільний	незадовільний
I	0,7	0,7...4,5	>4,5
II	1,1	1,1...7,1	>7,1
III	1,8	1,8...11,2	>11,2
IV	2,8	2,8...18,0	>18,0

2. СТАТИЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ

Статичному балансуванню піддають, як правило, деталі, що мають порівняно великий діаметр і незначну довжину (маховики, шківви, ротори ексгаустерів муфти і т. п.). Суть статичного балансування полягає у дослідному визначенні найбільш легкої чи найбільш важкої частини вузла чи деталі з наступним полегшенням тяжкої чи обваженням легкої частини.

Як відомо, у деталі, що має небаланс, центр тяжіння не співпадає з віссю обертання, в зв'язку з чим деталь буде в стані покою у тому випадку, коли центр її тяжіння буде перебувати внизу на одній

вертикалі с центром обертання. Але це буде можливим лише при повній відсутності сил тертя в місцях контакту деталі з опорною площиною. Тому для компенсації сил тертя необхідно дати можливість кантуватись деталі в обидві сторони і знаходити середнє положення. Адже статично незрівноважена деталь, якщо її вивести із положення покою, буде намагатись зайняти його знову.

Для статичного балансування застосовуються способи з використанням опорних призм чи роликів, що мають малий коефіцієнт тертя. В якості роликів доцільно використовувати підшипники кочення.

Для балансування на призмах користуються верстатами, схема одного з яких показана на рис. 3.1. В будь — якому випадку призми по всій довжині повинні мати надійну опору, що має запобігати прогину при балансуванні.

Призми, зазвичай, виготовляють із загартованих сталей. Довжина призми L підбирається таким чином, щоб деталь могла вільно робити від 1,5 до 2 повних обертів.

Ширину призми a приймають наступних розмірів: для деталей масою менше однієї тонни $a = 3,0 \dots 5,0$ мм, для деталей масою більше однієї тонни $a = 6,0 \dots 8,0$ мм і для деталей масою 6–8 тон, $a = 50$ мм.

Робочі поверхні призм мають старанно оброблятись — відшліфовані до отримання правильних і рівних поверхонь.

Нижче наведено один із найбільш поширених способів балансування на призмах [23].

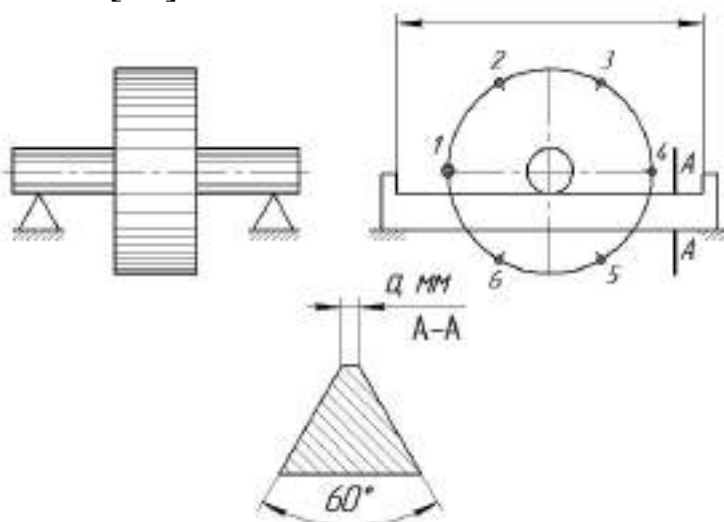


Рисунок 3.1

Схема балансного пристрою на призмах

Робочі поверхні призм мають старанно обробляться — відшлифовані до отримання правильних і рівних поверхонь.

Нижче наведено один із найбільш поширених способів балансування на призмах.

Балансування за цим способом поділяється на дві операції. Перша полягає у зрівноваженні деталі до індиферентного (байдужого) стану, тобто до такого стану, при якому деталь, що повернена від осі обертання на будь — який кут, залишиться нерухомою. При цій операції коло деталі поділяють на шість рівних частин (рис.3.2.). Потім установлюють кожні двоє протилежних поділів в горизонтальному положенні і добиваються шляхом підвішування тягарів на місцях нерухомого стану деталі на призмах.

Проте в період першої операції можлива неточність у визначенні небаланса, що є наслідком інерції деталей і наявності тертя, яке виникає між шийками вала і призмами. Визначення цієї неточності і відноситься до другої операції балансування.

Як і при першій операції, при другій двох протилежних поділів (наприклад, перший і четвертий) установлюють горизонтально (рис.3.1). В точці першого поділу підвішують маленькі тягарі до тих пір, поки деталь не розпочне повільно обертатись. Визначення маси тягарів, що виводять деталь із стану покою, здійснюється для всіх шести поділів. Результати заносяться в таблицю ($Q1...Q6$) і на підґрунті цих даних будують діаграму балансування (рис.3.2), крива якої при старанному балансуванні буде мати форму синусоїди.

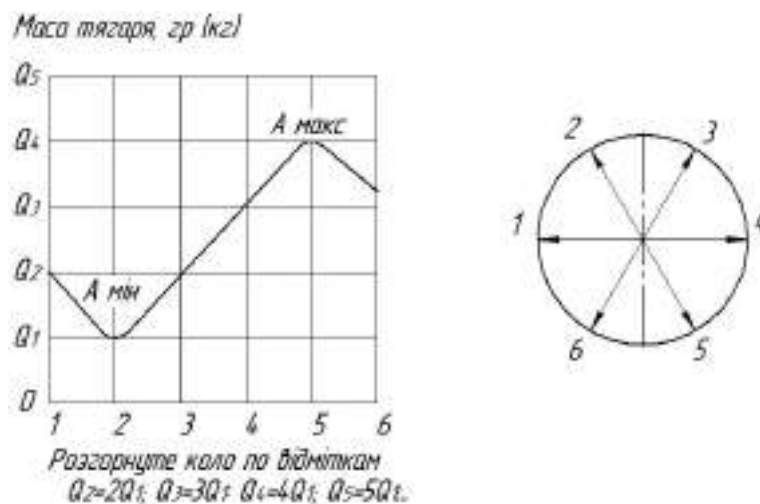


Рисунок 3.2

Діаграма другої операції балансування

Найнижче положення точки кривої діаграми відповідає найбільш важкому місцю балансованої деталі і для його зрівноваження необхідно в діаметрально протилежному напрямі (що відповідає найвищому положенню точки кривої) прикріпити зрівноважуючий тягар, масу якого можна визначити за формулою [23]:

$$Q = A_{\text{макс.}} - A_{\text{мін.}} / 2,$$

де $A_{\text{макс.}}$, $A_{\text{мін.}}$ — відповідно ординати максимального і мінімального значення кривої на рис. 3.2.

Для зменшення шкідливого впливу сил тертя статичне балансування здійснюють на обертальних опорах (наприклад, на підшипниках кочення). При цьому задача зводиться (початкова операція) до знаходження «тяжкої» і «легкої» частин деталі для того, щоб за рахунків облегшення важкої частини чи утяжіління легкої отримати необхідний рівень зрівноваження. З цією метою деталь 3 (рис.3.3,а), яка зібрана на валу чи на спеціальній оправці 2, установлюють на балансировочний верстат для визначення області зрівноваження [23]. Цю область поділяють навпіл і за допомогою виска 1 відмічають вертикальний діаметр. Легку «Л» і тяжку «Т» частини маркують крейдою.

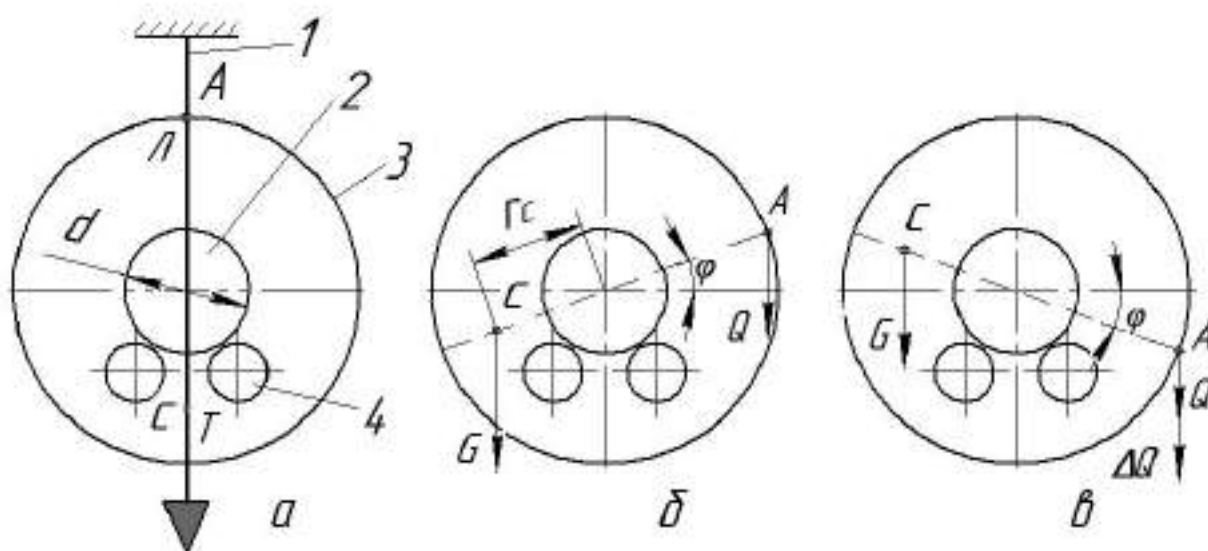


Рисунок 3.3

Схема статистичного балансування на обертальних опорах

Наступним кроком є поворот деталі на кут 90° і в точці А закріплення тягара Q (рис.3.3,б). Дослідним шляхом тягар підбирають таким чином, щоб деталь була декілька незрівноваженою, тобто щоб вона повернулась тяжкою частиною вниз на кут $\varphi = 10 \dots 15^\circ$.

Такий стан деталі можна описати рівнянням[23]:

$$G \cdot r_c \cdot \cos \varphi = Q \cdot D/2 \cos \varphi + (G+Q) \cdot \mu d/2,$$

де G — сила тяжіння деталі;

r_c — відстань від центру тяжіння до геометричної осі обертання;

D — діаметр деталі, на якому закріплюється тягар Q ;

μ — коефіцієнт опору в підшипниках опор;

d — діаметр вала чи оправки.

Потім підбирають додатковий тягар ΔQ таким чином, щоб деталь стала декілька перезрівноваженою (рис. 3.3, в), тобто щоб вона повернулася тяжкою частиною вгору на такий же кут. Цей стан деталі можна описати рівнянням:

$$(Q + \Delta Q) D/2 \cos \varphi = G \cdot r_c \cos \varphi + (G+Q+\Delta Q)\mu d/2.$$

З урахуванням того, що $G+Q \gg \Delta Q$, результатом рішення обох рівнянь стане вираз:

$$G \cdot r_c = (Q + \Delta Q/2) D/2.$$

Ліва частина цього рівняння являє собою момент, що створюється незрівноваженою силою при $\varphi = 0$, а права містить компенсаційний тягар, який необхідно закріпити на деталі, що підлягає балансуванню, на відстані $0,5 D$ від осі обертання. Методом пропорції можна установити масу тягаря у випадку необхідності закріплення на іншій відстані від центру обертання.

В окремих випадках балансування за цим способом можна здійснювати без розбирання вузлів, тобто на місці робочого розташування деталі. Для цього деталь роз'єднується з приводною частиною, а її підшипникові опори прослабляються.

В будь-яких випадках тягар зрівноваження повинен надійно закріплюватись на деталі. При невеликій масі тягарів (маса < 100 г) на легкій частині деталі засвердлюються отвори і заливаються свинцем. При масі тягарів більше 100 г рекомендується їх виготовляти у вигляді накладок. Допускається використувувати при необхідності декілька окремих тягарів але при умові, що вектор рівнодіючої сили залишається без зміни.

Балансування на обертальних опорах можливе і для деталей з різними діаметрами кінців вала, що також є перевагою перед балансуванням на призмах, на яких не можна це робити.

3. ДИНАМІЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ

Існують декілька способів динамічного балансування. При виборі способу балансування необхідно мати на увазі наступне:

Динамічне балансування, головним чином, здійснюється двома методами: при пониженому числі обертів ($150\text{--}200\text{ хв}^{-1}$), що відповідає необхідній критичній швидкості обертання і при робочому числі обертів.

Динамічне балансування при пониженому числі обертів є достатньо точним, проте має той недолік, що при цьому знищується тільки жорстко закріплений небаланс, тобто небаланс, положення якого не залежить від величини швидкості обертання. Балансуванням при робочому числі обертів знищується, як жорстко закріплений небаланс, так і той, що виникає від зміщення окремих елементів деталі під впливом відцентрових сил (це має місце, наприклад, при балансуванні турбогенераторів, коли перехід від понижених обертів до робочих може призвести до зміщення обмоток).

Балансування тіл обертання (роторів, маховиків, лопатевих коліс і т. п.) здійснюється, як правило, на спеціальних балансувальних верстатах. Схема одного з них показана на рис.3.4. Деталь 1, що підлягає балансуванню, установлюється на своїх підшипниках в жорсткій рамі 3, яка за допомогою шарніра 6 з'єднана з нерухомою основою 5. Вісь шарніра 6 розташована горизонтально і повинна бути перпендикулярною осі деталі. Рама 3 підтримується пружиною 4, тому деталь разом з рамою утворюють пружну систему, яка може коливатись відносно осі шарніра 6. Величину амплітуди коливань вимірюють приладом 2 (індикатор, датчик переміщення, віброметр і т.п.).

Найбільш поширеним способом динамічного балансування є спосіб *обходу пробним тягарем* по колу, тобто тягар кріпиться до деталі послідовно в декількох точках (шести чи восьми) на одній і тій відстані від осі обертання.

Балансування спочатку здійснюється для тієї сторони, деталі, де виявлена найбільша амплітуда вібрації (наприклад, сторона С, рис. 3.4, а). Для цього деталь установлюється таким чином, щоб ця сторона розташовувалась над пружною опорою.

При балансуванні на крайніх (рахуючи по діаметру деталі) точках деталі, розташованих поблизу підшипника, сторони, що підляга-

ють балансуванню, знаходять шляхом проб таке положення і величину тягаря зрівноваження, при яких коливання рухомої рами зникнуть.

Деталь поділяється на 6–8 ділянок і послідовно визначаються амплітуди на рамі 3 поблизу підшипника від пробного тягаря, який переміщують по одному і тому ж радіусу в позначених точках.

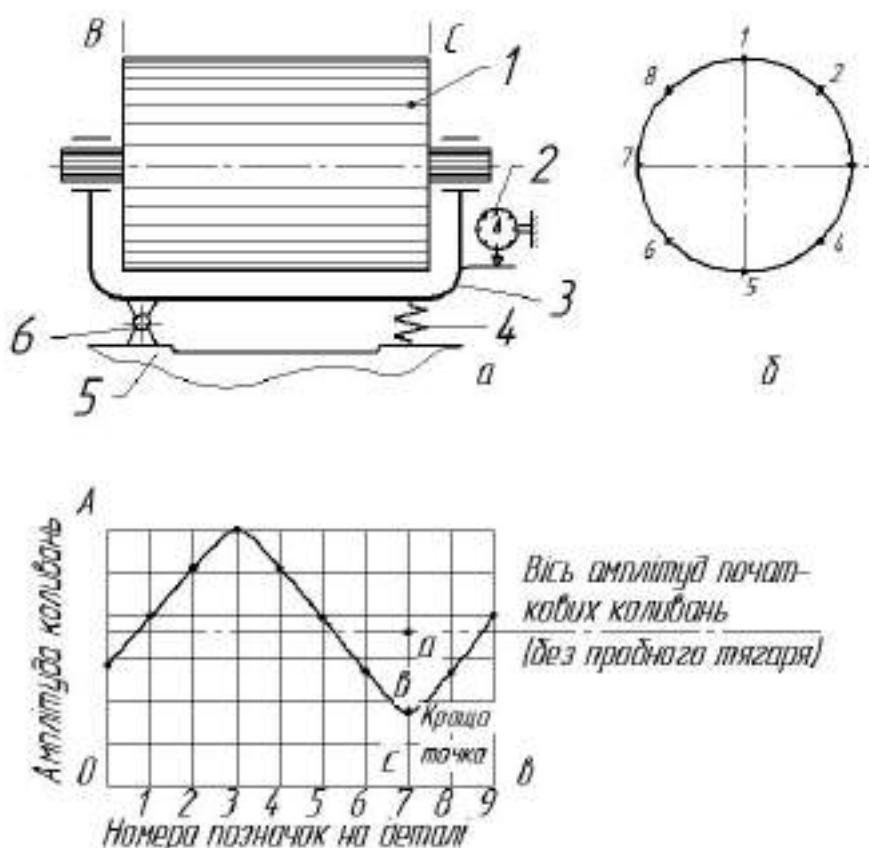


Рисунок 3.4

Схема балансувального верстату (а), позначки точок балансування (б) та діаграма коливань (в)

Масу пробного тягаря можна визначити за формулою [23]:

$$m_n = k_c \cdot G / r \cdot \omega^2,$$

де k_c — 0,02...0,3 — коефіцієнт обмеження відцентрової сили від пробного тягаря;

G — сила тяжіння деталі, що підлягає балансуванню;

r — радіус, на якому закріплено пробний тягар;

ω — кутова швидкість обертання деталі.

Відлік амплітуд здійснюється при певному, прийнятому за основне числі обертів. За даними про величини амплітуд коливань,

отриманими при обертанні деталі (без пробного і з пробним тягарем), будують криву балансування (рис.3.4,в), за якою визначають положення і величину зрівноважуючого тягара.

На осі абсцис наносяться положення відміток (номера позначок) на деталі, а на осі ординат — величини амплітуд коливань. По кривій видно, що мінімальна амплітуда відповідає точці 7, яка вказує правильне положення зрівноважуючого тягара для усунення небалансу сторони С деталі. З знаходженням положення зрівноважуваного тягара і виходячи з необхідності зниження амплітуди коливань до нуля, величину зрівноважуючого тягара G_c визначають за формулою [23]:

$$G_c = m_n \cdot \frac{ac}{ab},$$

де ac , ab — відповідні значення відрізків на графіку.

При невеликих поздовжніх розмірах і симетричності деталей (наприклад, деталі циліндричної форми) балансування на цьому може і закінчитись. А у протилежних випадках виникає необхідність у балансуванні протилежної сторони. Для цього голівку сторони С стопорять, а голівку сторони В вивільняють і визначають величину і розташування зрівноважуваного тягара GB сторони деталі В. Після закріплення у відповідній точці на деталі тягара GB (рис.3.5) небаланс зі сторони В буде усунуто і деталь при закріпленій стороні В буде перебувати в рівновазі. Проте, як тільки сторона В буде вивільнена, рівновага порушиться і на стороні С знову з'явиться небаланс.

Для того, щоб балансування не порушувалось, діють наступним чином. Тягар G_c залишається на місці закріплення. Тягар G_b замінюють двома тягарями: один $GB1$ перебуває в тому ж положенні, а інший $GB2$ — на стороні деталі в діаметрально протилежній точці по відношенню до тягара GC (рис.3.5). Величини цих тягарів визначають за формулами

$$G_{B1} = G_B \cdot \frac{m \cdot n}{m \cdot n - a \cdot b};$$

$$G_{B2} = G_B \cdot \frac{r}{c} \cdot \frac{a \cdot m}{m \cdot n - a \cdot b}.$$

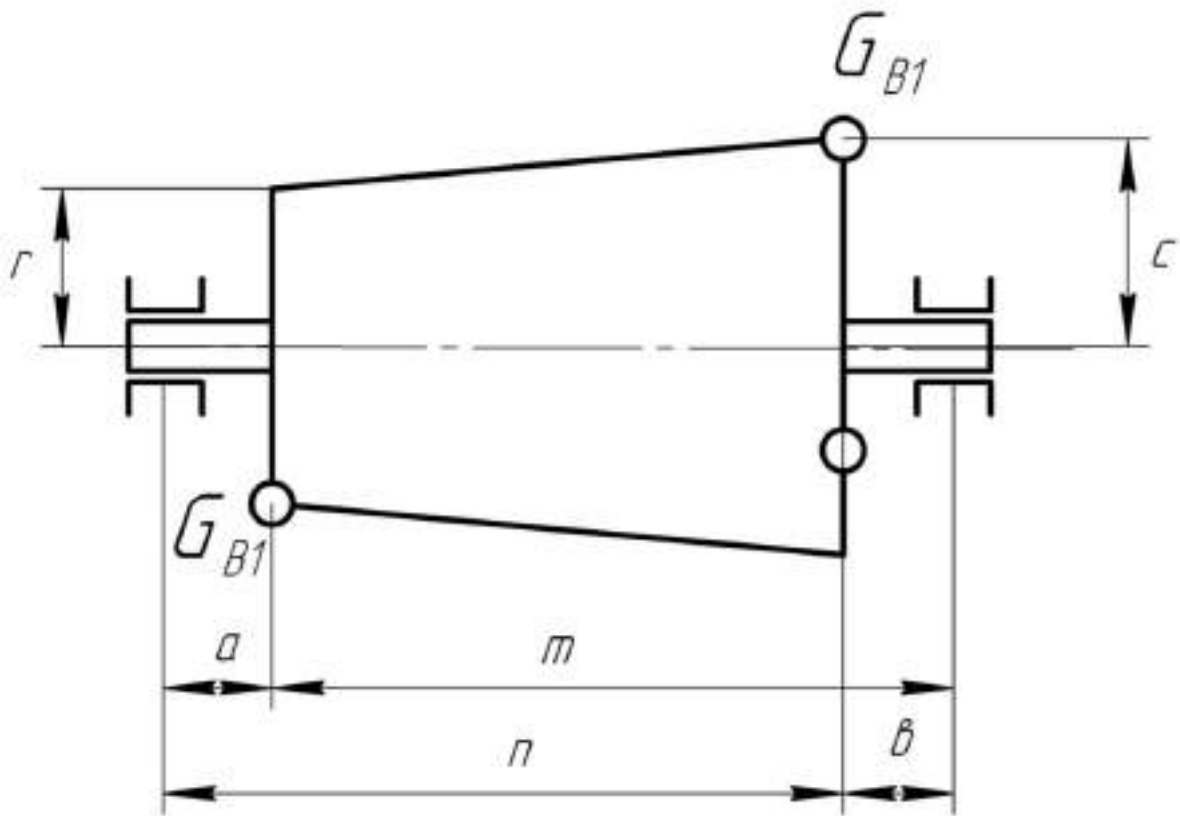


Рисунок 3.5

Схема до знаходження перехідного тягаря

Іншим поширеним способом динамічного балансування є спосіб максимальних позначок. При цьому методі циліндричну частину деталі (наприклад, маточину) фарбують крейдою (а ще краще білою фарбою). Вибрана для фарбування ділянка вала має бути точно оброблена, а фарбування здійснюється по всьому колу вала на довжині 20–50 мм.

Деталь установлюють, як і при першому способі, на балансувальний верстат таким чином, щоб на пружній опорі перебувала та площа деталі, що підлягає зрівноваженню. Після цього деталі розгінним пристроєм надають робочу швидкість. При вільному зниженні швидкості в районі інтенсивного коливання вимірюють амплітуду коливань пружної опори верстату і одночасно роблять позначку на зафарбованій поверхні деталі за допомогою загостреного предмету (розмітника, рейсмуса і інше). Биття деталі при цьому буде відмічатись на поверхні деталі у вигляді дуги, що вказуватиме напрямок вібрації та прогин вала деталі. Рекомендується наносити по 10–15 рисок на деякій відстані одна від іншої, оскільки довжина окремих рисок

може бути випадковою. При нанесенні рисок належить обережно підводити різальний інструмент рукою до деталі, а руку слід старанно ізолювати від вібрації, що передається через кожен підшипник і т. п.

Відомо, що збиткова вага «тяжкої» ділянки деталі буде відхиляти її від осі обертання. При цьому найбільше відхилення буде відбуватись позади дії сили. Іншими словами, якщо дивитись за напрямом обертання, позначка буде перебувати завжди позади збиткової ваги. Це явище пояснюється інерцією рухомих частин (адже відцентрова сила не може миттєво понести за собою деталь, і поки вона торкнеться розмітника, тобто дійде до повного відхилення, точка, що відповідає збитковій вазі, вже повернеться на деякий кут). Цей кут залежить від числа обертів (при невеликій швидкості обертання він складатиме лише декілька градусів), тобто позначка відстане від збиткової ваги тільки на декілька градусів. В той же час при збільшенні швидкості обертання кут відставання збільшується і може досягати 180° . Таким чином, це явище належить враховувати.

Довжина позначки дає характеристику відносної величини потрібного для зрівноваження тягара. Чим коротша по довжині кола позначка, тим більша незрівноваженість і, отже, вібрація. А при відсутності небалансу розмітник нанесе риску по всьому колу. Сама позначка лише наближено вказує місце положення тягара зрівноваження, а її довжина надає підґрунтя лише для судження про величину тягара.

Як і в першому способі, балансування здійснюється в дві стадії: спочатку визначається пробний тягар, а потім компенсаційний.

Спосіб максимальних позначок на відмінну від способу обходу пробним тягарем дозволяє одночасно визначати значення і напрямок незрівноважених сил, що суттєво скорочує витрати часу на балансування деталей.

В роботі [23] досить детально розглянуто і третій спосіб балансування обертальних деталей без розбирання машин. Адже попередні способи балансування реалізуються на спеціальних балансувальних верстатах і вимагають значних витрат праці на розбирання і наступне складання машин. Тому доцільно скористатись наведеним в цій роботі матеріалом. Особливо цей спосіб є ефективним при балансуванні високошвидкісних крупногабаритних деталей.

4. СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

При балансуванні можливе використання обладнання як власного виробництва підприємства, так і покупного. З виготовлення власного обладнання наведено рекомендації в роботі [16], за якими не складно виготовити прості, але достатньо надійні верстати. Проте при необхідності високоточного балансування при мінімально досяжному остаточному дисбалансі не більше 20 г·мм/кг (1 г·мм/кг = 1 мкм = 0,001 мм) слід використовувати покупне обладнання.

Серед різноманітних конструкцій (вітчизняних і зарубіжних), що виготовляються спеціалізованими підприємствами, широким попитом користуються верстати серій БС-24, БС-34, БС-44, що виготовляються компанією «Росбал», а також верстати серій ВМ-010С...ВМ-10000 і серій ВТ-150 ... ВТ-3000, що виготовляються «ДИАМЕХ 2000» (Росія).

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-24



Рисунок 3.6
*Балансувальний верстат
БС-24-16*

Модельний ряд балансувальних верстатів БС-24 містить в собі балансувальні машини БС-24-8, БС-24-16. Ця серія являє собою верстати для динамічного балансування різноманітних тіл обертання, як міжпорних, так і консольних. А при використанні спеціальних оправок можна балансувати і диски. Зовнішній вигляд балансувального верстата БС-24-16 показано на рис.3.6.

Балансувальні верстати є універсальними, що дає можливість використовувати їх як в серійному, так і одиночному вироб-

ництві. Кожний з цих верстатів оснащується системою привода ременя «Top Drive», що дозволяє легко установлювати, здійснювати балансувальний пуск і швидко знімати деталь, що підлягає балансуванню, з опор верстата.

Для високоякісного балансування верстати комплектуються зносостійкими приводними ременями, які гасять паразитні коливання, що поряд з масивною і надійною конструкцією балансувальної системи дає можливість оператору виконувати якісне балансування деталей в широкому діапазоні мас і швидкостей.

Верстати комплектуються блоком вимірів і управління «Грас-2Л». Остаточна обробка сигналів і отримання результатів вимірів дисбалансу здійснюється або за допомогою стійки вимірювання і управління «DAS-080» з комп'ютером в корпусі, або вимірювальним блоком «Грас-2.1» в комплекті з персональним комп'ютером типу ноутбук.

Для швидкого визначення місця коригування дисбалансу верстат комплектується системою автоматичного повороту деталі, яка променем лазера точно вказує місця добавлення чи відділення коригуючих мас.

Технічні характеристики верстатів серії БС-24 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Параметри	Моделі верстатів	
	БС-24-8	БС-24-16
1	2	3
Максимальна маса деталі, кг	8,0	16,0
Мінімальна маса деталі, кг	0,150	0,3
Максимальне навантаження на одну опору, кг	5,0	9,0
Діаметр деталей (min-max), мм	20–400	25–500
Діаметр деталі під ременем (min-max), мм	20–100	20–130
Відстань між серединами опорних шийок деталей (min-max), мм*	40–500*	40–500*
Діаметр опорних шийок деталі (min-max), мм	6–16	8–30

Закінчення таблиці 3.3

Максимально досяжний залишковий дисбаланс, г. мм/кг	0,1	0,11
Частота обертання при балансуванні, хв.	600–4000	600–4000
Тип привода	Ремінний, асинхронний, з регулювання частоти	
Система натягування	«Top Drive»	
Потужність привода, КВт	0,18	0,25
Тип опор	Призми, радіусні вкладиші	
Тривалість балансування деталей, хв.*	1–15	1–15
Габарити верстата, мм	640*550*535	640*600*535
Маса механічної частини верстата, кг	65	80
Напруга живлення, В	220/380	220/380
Примітки:* Параметр може бути збільшеним до 2500 мм ** З урахуванням процедури зняття (установлення деталей, а також добавлення / віддалення матеріалу).		

Всі верстати серії БС-24 не вимагають спеціальних підвалин і можуть установлюватись на звичайних цехових верстатах чи столах з вивіренням ватерпасом і таких, що мають масу не менше 30–40% від маси верстатів БС-24.

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-34

Модельний ряд верстатів БС-34 містить в собі моделі БС-34-50 і БС-34-100. Ці верстати належать до верстатів зарезонансного типу. Висока точність коливальної системи верстата дозволяє досягти точності балансування аж до 1-го класу.

В залежності від призначення верстати поставляються з широким спектром опорних деталей і вузлів, що дозволяє проводити якісне динамічне балансування таких деталей як:

- якорі електродвигунів;
- ротори центрифуг;
- карданні вали;
- колінчасті вали;
- ротори турбокомпресорів;

- інших тіл обертання.

Застосування у верстатах самобалансних роликкових опор дозволяє здійснювати балансування різноманітних деталей на підшипникових шийках без точного установлення деталей за допомогою приладів виміру рівня.

Зовнішній вигляд верстата БС-34-100 показано на рис. 3.7.



Рисунок 3.7

Балансувальний верстат БС-34-100

Зручна заміна опор і легке переміщення на верстаті стояків і системи натягування приводного ремня дозволяють швидко переналаштувати систему верстата під різні задачі, що поєднані з високоякісним балансуванням.

Конструкція вузла натягування ремня дає можливість розташувати систему натягування між опорами, як на більшості аналогічних верстатів для балансування, і поза ними зліва чи справа, що буває необхідним при балансуванні деяких типів деталей, наприклад, карданних валів.

Верстат БС-34 оснащено сучасною комп'ютерною виміральною системою, що дозволяє обходитись без еталонних роторів (деталей) і здійснювати динамічне балансування деталі, навіть із значним початковим дисбалансом, за 1–3 пуски.

Всі верстати серії БС-34 постачаються з якісною основою, що дозволяє установлювати їх на звичайну бетонну долівку.

Для середнього і крупносерійного виробництва верстати можуть постачатись разом із свердлильним верстатом, що дозволяє коригувати дисбаланс без зняття деталі з верстата балансування.

Передбачаються і різні варіанти вимірювальної системи:-

- Блок вимірювання і управління «Грас-2.1» з персональним комп'ютером;
- Стояк вимірювання і управління «DAS-080» із вмонтованим промисловим комп'ютером і монітором.

Для швидкого визначення місця коригування дисбалансу верстат комплектується системою автоматичного повороту деталі, яка променем лазера точно вказує оператору місця додавання чи віддалення коригуючих мас.

Технічні характеристики верстатів БС-34-50 і БС-34-100 наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Параметри	Моделі верстатів	
	БС-34-50	БС-34-100
Максимальна маса деталі, кг	50,0	100,0
Мінімальна маса деталі, кг	1,0	4,0
Максимальне навантаження на одну опору, кг	30	60
Діаметр деталей (min-max), мм	25–800	
Діаметр деталі під ременем (min-max), мм	20–300	
Відстань між серединами опорних шийок деталі (min-max), мм*	80–950*	
Діаметр опорних шийок деталі (min-max), мм	12–150	
Максимально досяжний залишковий дисбаланс, г·мм/кг	0,12	0,14
Частота обертання при балансуванні, хв ⁻¹	400–2500	
Тип привода	Ремінний, асинхронний з регулюванням частоти	

Тип опор	Роликові із само-установленням, v-подібні і інші	
Потужність привода, кВт	0,75	1,1
Тривалість балансування деталей, хв.**	1–15**	1–30**
Габарити верстата, мм	1700×1200×800	
Маса механічної частини, V	140	170
Напруга живлення, В	220/380	
Примітки:*Параметр може бути збільшеним до 2500 мм; ** з урахуванням процедури зняття і установлення деталей.		

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-44

Верстати зарезонансного типу серії БС-44 призначаються для високоякісного динамічного балансування різноманітних деталей обертання:

- роторів електродвигунів;
- вали машин і механізмів;
- колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання;
- барабани центрифуг;
- турбокомпресори;
- робочі колеса вентиляторів, насосів і інші;
- шнеки і черв'яки.

Верстати являють собою модульну конструкцію (рис 3,7), що робить їх простими і зручними в обслуговуванні. Виготовляються за двома моделями БС-44-300, БС-44-500 і БС-44-1000, БС-44-3000.



Рисунок 3.7

*Балансувальний верстат
БС-44-500*

Як і інші верстати серії БС ці верстати також комплектуються системою комп'ютерного визначення місць дисбалансу та місць до-
 бавлення чи віддалення коригуючих мас. Стойки вимірів і управління
 «DAS-080» і програмне забезпечення «Росбал — Soft V2.7» дозволя-
 ють надійно автоматизувати процес балансування, при якому досяга-
 ються поля допусків за 2–3 пуску, причому допуск балансування роз-
 раховується автоматично за введеними операторами геометричними
 параметрами.

Технічні характеристики верстатів серії БС-44 наведені в табли-
 ці 3.5.

Таблиця 3.5

Параметри	Моделі верстатів серії БС			
	БС-44- 300	БС-44- 500	БС-44- 1000	БС-44- 3000
Максимальна маса деталі, кг	300	500	1000	3000
Мінімальна маса деталі, кг	10	10	15	20
Максимальне навантаження на одну опору, кг	200	300	600	1800
Діаметр деталей (min-max), мм	1000	1200	1500	1900
Діаметр деталі під ременем (min-max), мм	800	1000	1250	1600
Відстань між серединами опорних шийок деталі (min- max), мм	150– 1800	150– 1800	200– 2200	300– 3000
Діаметр опорних шийок деталей (min-max), мм	20–150	20–180	25–200	25–250
Мінімально досяжний залишковий дисбаланс, г·мм/кг*	0,11*	0,11*	0,12*	0,15*
Частота обертання деталей при балансуванні, хв ⁻¹	300–2000		300– 1500	300– 1500
Тип привода	Безкінечний ремінь чи комбінований (ремінний + карданний)			
Система натягування	4 шків			

Закінчення таблиці 3.5

Тип опор	Призми/ролики			
Потужність привода, кВт	1,5	1,5	2,2	5
Тривалість балансування деталі **, хв.	10–60	10–60	20–60	20–120
Габарити верстата, м	2×1,2×1,2	2×1,2×1,2	2,5×1,4×1,4	3,2×1,6×1,4
Маса механічної частини, кг	300	500	1000	3000
Напруга живлення, В	220/380			
Примітки: * Величина мінімально досяжного залишкового дисбаланса залежить від якості опорних шийок деталі підшипників кочення при балансуванні на призматичних опорах і інших факторів. ** Загальна тривалість балансування складається з часу на установлення / зняття деталі, натягнення паска, введення необхідних даних в комп'ютер, розгон — вимірювання-гальмування при кількості балансувальних пусків не більше 10-ти і правильного установлення / зняття балансувальних тягарів.				

Кожна модель верстатів серії БС-44 виконується в трьох комплектаціях:

Комплектація 1

1. Механічна частина верстата з V — подібними опорами (призмами) і ремінним приводом.
2. Стояк вимірювання і управління з персональним комп'ютером типу «Notbook».
3. Лазерний відмітник обертів.

Позитивні якості комплектації — найнижча вартість в класі.

Недоліки — неможливість балансування деталей на опорних шийках.

Комплектація 2

1. Механічна частина верстата із взаємозамінними V- подібними опорами (призмами) і саморегулювальними роликівими опорами і ремінним приводом.
2. Стояк вимірювання і управління з комп'ютером в корпусі промислового виконання.
3. Лазерний відмітник обертів.

Позитивні якості комплектації — збалансованість комплектації для виконання широкого кола задач в області динамічного балансування деталей, прийнятна вартість.

Недоліки — неможливе балансування деталей, що не мають поверхонь, придатних для приведення ременем.

Комплектація 3

1. Механічна частина верстата із взаємозамінними V — подібними опорами (призмами) і саморегулювальними роликowymi опорами і комбінованим (ремінним і карданним) приводом.

2. Стояк вимірювання і управління з панельним комп'ютером промислового типу з класом захисту до IP54.

3. Лазерний відмітник обертів з покращеними характеристиками.

Позитивні якості комплектації — можливість вирішення практично будь-якої задачі в області високоякісного балансування деталей обертальної дії.

Загальним позитивом верстатів «Росбал» є те, що за їх допомогою можна визначити ексцентриситет мас з точністю 0,05–0,5 мкм (0,00005–0,0005 мм).

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ ВМ І ВТ (ДИАМЕХ 2000)

Ці верстати поділяються на дві групи: зарезонансні (ВМ) і дорезонансні (ВТ). Зарезонансні верстати призначаються для балансування зверхлегких роторів (ВМ-010-С на масу роторів 0,005–3 кг і ВМ-010 на масу роторів 0,03–8 кг), малої вантажопідіймальності (ВМ-050 на масу роторів 0,5–50 кг і ВМ-300 на масу роторів 3–300 кг), середньої вантажопідіймальності (ВМ-1000 на масу роторів 10–10000 кг, ВМ — 3000 на масу роторів 30–3000 кг, ВМ-5000 на масу роторів 50–5000 кг), великої вантажопідіймальності (ВМ — 8000 на масу роторів 80–8000 кг, ВМ-10000 на масу роторів 100–10000 кг, ВМ-20000 на масу роторів 1000–20000 кг). Поряд з цим виготовляються також верстати для балансування роторів енергетичних турбоагрегатів великої потужності на масу роторів до 90000 кг.

Таким чином, верстати забезпечують балансування деталей роторного типу від декількох грамів до 90 т.

До особливостей верстатів серії ВМ можна віднести наступне:

- швидке і легке переналагодження під різні типи роторів без додаткових пусків (в програму вимірювально — управляльного модуля достатньо ввести лише геометричні параметри ротора);
- балансування будь-яких типів роторів (у власних підшипниках, з вузькими опорними шийками, карданних і колінчастих валів), на спеціальних оправках дисків і колес;
- карданний привод для роторів з великим аеродинамічним опором і роторів складної конфігурації;
- можливість дооснащування верстата свердлильним, фрезерним чи зварювальним модулем коригування дисбалансу;
- постійні (на довгий термін) калібрувальні коефіцієнти;
- автоматизований розрахунок даних балансувань з використанням сучасного мікропроцесного вимірювально — управляльного модуля «САПФІР» з програмним забезпеченням для дорезонансних балансувальних верстатів;
- автоматизований доповерт на необхідний кут;
- додаткові захисні кожухи і огорожі за стандартом IS7475.

Кожний з верстатів складається із основи, 2-х опорних стояків, 2-х укладальників, 2-х осьових упорів, привода обертання і блока управління.

Особлива увага приділена укладці роторів на верстат, оскільки це є відповідальна операція і вимагає акуратності і підвищеної уваги, оскільки важкі ротори при необережній укладці можуть пошкодити опори верстатів. Тому при вантажопідіймальності 300 кг і вище верстат комплектуються спеціальними підйомниками-укладальниками, які забезпечують м'яке укладання. При цьому ротор підводять краном і установлюють на укладальники, які потім синхронно м'яко опускають ротор на балансувальні опори.

Найскладніший вузол верстата — роликовий блок (опори). Він складається із млинка («вертушки»), качалки і змінних циліндричних опорних роликів, які крім обертання навколо власної осі мають ще можливість обертатись навколо вертикальної і горизонтальної осі, що перпендикулярні осям обертання роликів. Це забезпечує постійний контакт між поверхнями роликів і шийками ротора, що дозволяє практично усунути накочування шийок ротора. А можливість обер-

тання навколо вертикальної осі дозволяє запобігати закусюванню і пружкового контакту шийок ротора в процесі балансування.

Привод верстатів забезпечує передання обертального руху від електродвигуна до балансувального ротора за допомогою плоского ременю через систему крутенів (шківів), гальмування ротора після закінчення остаточного вимірювання дисбалансу.

Виготовляються модифікації верстатів з карданним валом чи комбінацією кардан + ремінь.

Особливістю верстатів є хитна опора, що працює за принципом маятника. Власна частота коливання маятника не залежить від його маси. Придатно до верстату це означає, що коливання балансувального ротора фактично відокремлені від паразитних зовнішніх коливань. Це ж дозволяє позбавитись від установлення масивних фундаментів.

Хоча у всіх верстатах прийнята однакова принципова схема, вони мають і певні конструктивні особливості. Наприклад, у верстатах на масу ротора 300 кг і менше стояки рухаються по циліндричним напрямним (рис.3.8), а у верстатів на масу ротора 1000 кг і вище стояки рухаються по призматичним напрямним (рис.3.9, 3.10). І як відмічалося вище, верстати на масу ротора 300 кг і вище оснащені підйомниками — укладальниками, які добре видно на рис. 3.9 (на кожному стояку 2 штуки).



Рисунок 3.8
Балансувальний верстат VM-300

Дорезонансні верстати серії ВТ виготовляються з жорсткими опорами для роторів масою до 3т. Вони поділяються на верстати малої вантажо-підймальності ВТ-150, ВТ-300, ВТ-500 і середньої вантажопідймальності ВТ-1000, ВТ-2000, ВТ-3000 (цифра означає вантажопідймальність в кг). Технічні характеристики верстатів серії ВТ подано в таблиці 3.6.

Дані, що наведені в таблиці, відносяться до стандартного виконання верстатів. В той же час підприємство за спеціальним замовленням може



Рисунок 3.9
Балансувальний верстат ВМ-1000



Рисунок 3.10
Балансувальний верстат ВМ-8000

поставляти верстати з комбінованим приводом (ремінний + карданний), подовженою основою, збільшеною потужністю електропривода, оснащенням верстатів свердлильним, фрезерним чи зварювальним модулями коригування дисбалансу, захисними огорожами.

Таблиця 3.6

Технічні характеристики верстатів серії ВТ

Параметри	Моделі верстатів серії ВТ					
	ВТ-150	ВТ-300	ВТ-500	ВТ-1000	ВТ-2000	ВТ-3000
1	2	3	4	5	6	7
Максимальна маса ротора, кг	150	300	500	1000	2000	3000
Максимальний діаметр ротора, мм	1050	1130	1550	1600	1600	1600
Відстань між опорами, мм	150–2200	200–2400	200–3200	200–3100	200–3100	300–3100
Діаметр опорних шийок ротора, мм	10–180	10–180	10–180	15–290	15–290	15–290
Чутливість, г·мм / кг	до 0,1					
Коефіцієнт зменшення дисбалансу	до 95%					
Тип електропривода	Змінного струму з регульованою частотою					
Потужність електропривода, кВт	1,1	2,2	4	7,5	11	15
Відмітник обертів	Лазерний					
Датчик положення ротора	В комплекті					
Доверт ротора на необхідний кут	Автоматичний, ручний					
Приладове оснащення Модуль «САПФІР» на базі промислового комп'ютера із сенсорним дисплеєм						

Зовнішній вигляд верстата ВТ-1000, як найбільш типового для верстатів дорезонансної дії, показано на рис. 3.11.

Поряд з горизонтальними верстатами серій ВМ і ВТ компанія «ДИАМЕХ» виготовляє і вертикальні верстати серії В, технічні характеристики яких подано в табл.3.7. Вони призначаються для високоточного зрівноваження деталей у вигляді дисків, коліс, які не мають власних шийок, а також різального інструменту металообробних верстатів. Можуть комплектуватись свердлильними і фрезерними пристроями для коригування дисбалансу з контролем величини зняття маси на моніторі.



Рисунок 3.11
Балансувальний верстат ВТ1000

Таблиця 3.7
Технічні характеристики балансувальних верстатів серії В

Параметри	Моделі верстатів серії В		
	В-8	В-60	В-1500
Максимальна маса деталі, кг	8	60	1500
Максимальний діаметр деталі, мм	250	1000	1300
Максимальна товщина деталі, мм	270	400	450

Закінчення таблиці 3.7

Параметри	Моделі верстатів серії В		
	В-8	В-60	В-1500
Максимальна частота обертання шпинделя при балансуванні, хв^{-1}	2500	2000	1000
Приладове оснащення	Мікропроцесорний вимірювально — управляючий модуль «САПФІР» на базі промислового комп'ютера		
Потужність привода, кВт	0,5	2,2	7,5
Тип привода	Змінного струму, часто регульований		
Кількість площин коригування	1–2	1–2	1–2

Розділ 4

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 обмежимося 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 зміненні величини їх електричного опору при їх деформації сумісно із пружною дефор-

мацією 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].

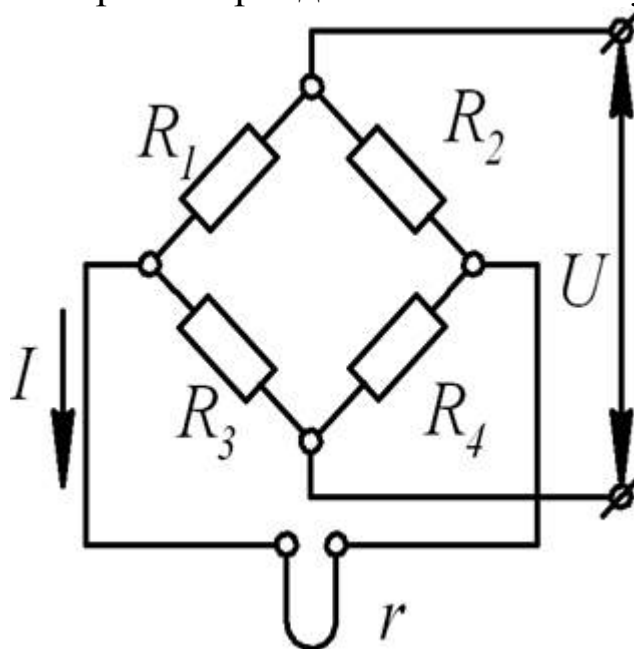


Рисунок 4.1

Схема тензомоста Уітсона

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.

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 — де-

формацію стискання, що зменшує їх електричний опір . Проте тут необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати вплив температурної дії. Якщо при змінненні 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.

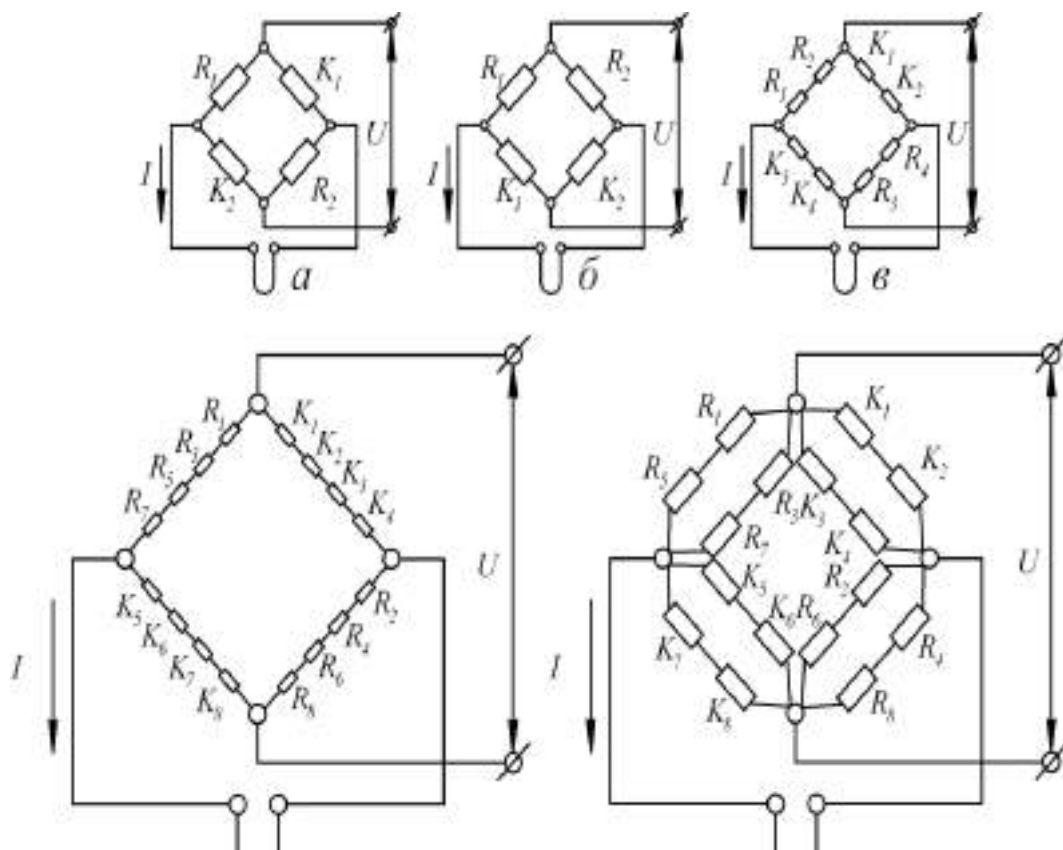


Рисунок 4.2

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 — $-10...+70^{\circ}\text{C}$.

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
S2	0,02...1,0	розтягнення-стиснення	150
S9	2...50	розтягнення-стиснення	150
U10М	1,25...500	розтягнення-стиснення	230

1	2	3	4
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



а



б

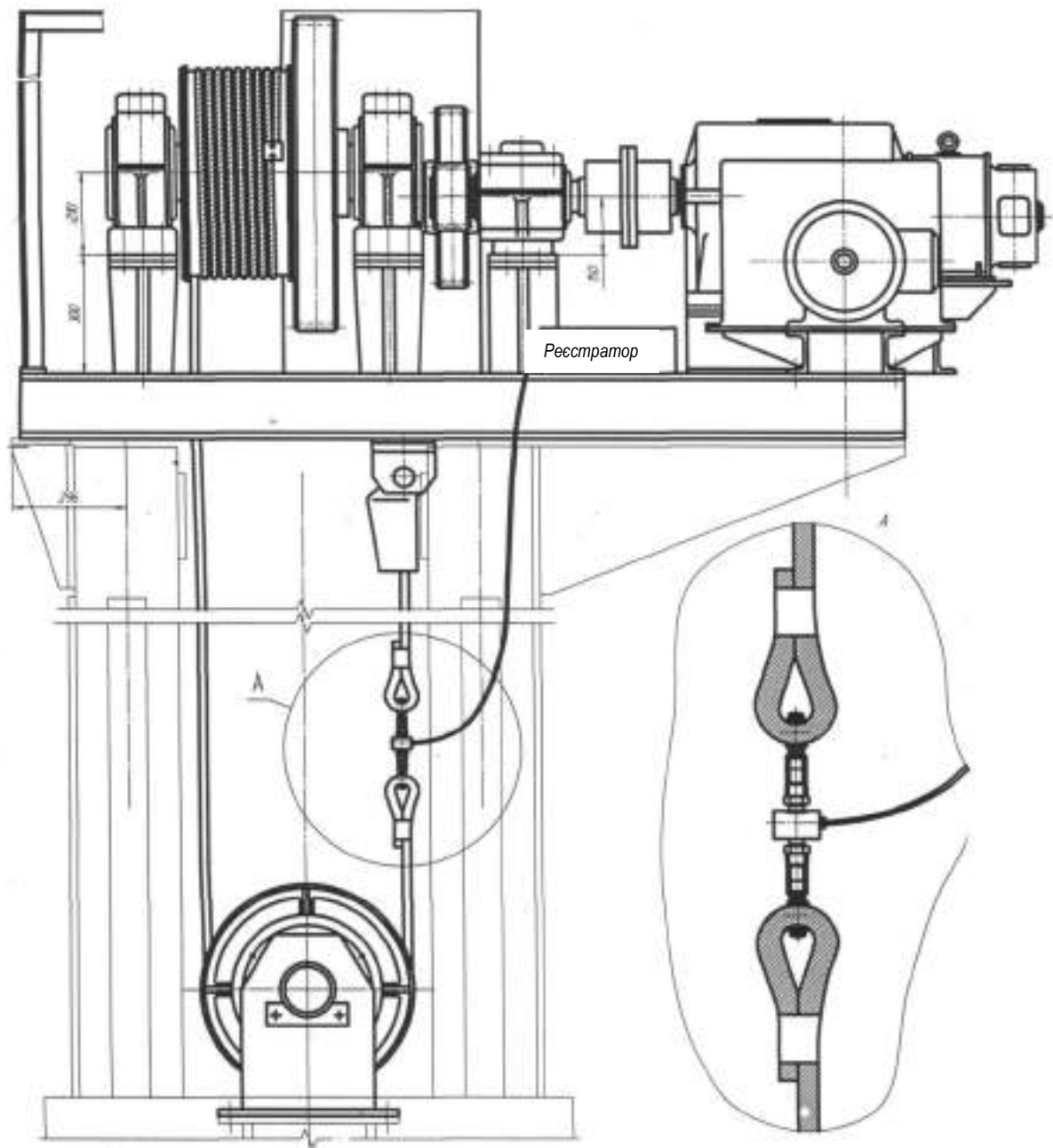
Рисунок 4.3

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 (Весомизмерительная 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 легированих сталей (серія МК), або у вигляді профільованої мембрани із легированої 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 натягу в канатах механізму підйому електродугової 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 вимірянних деформацій ε_0 , ε_{45} , ε_{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:

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

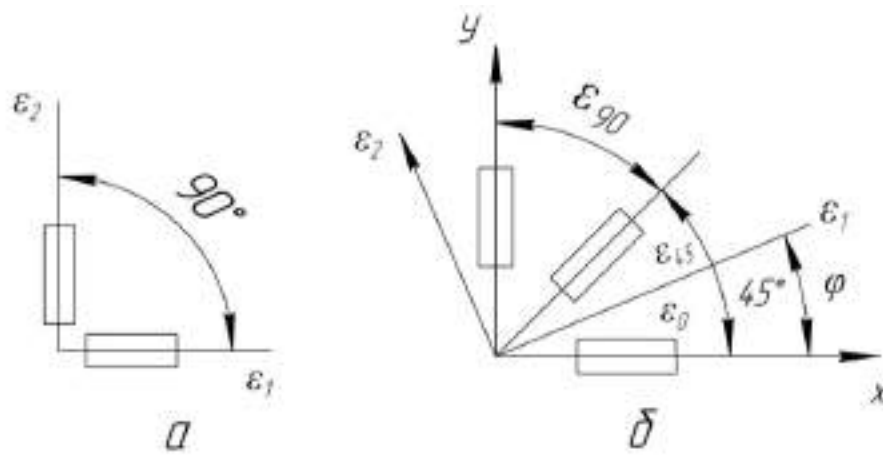


Рисунок 4.6

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 виміряних 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, відсутніс-

тю струмоз'ємного пристрою. Вимірюване тіло і фланець для вводу крутного моменту 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.

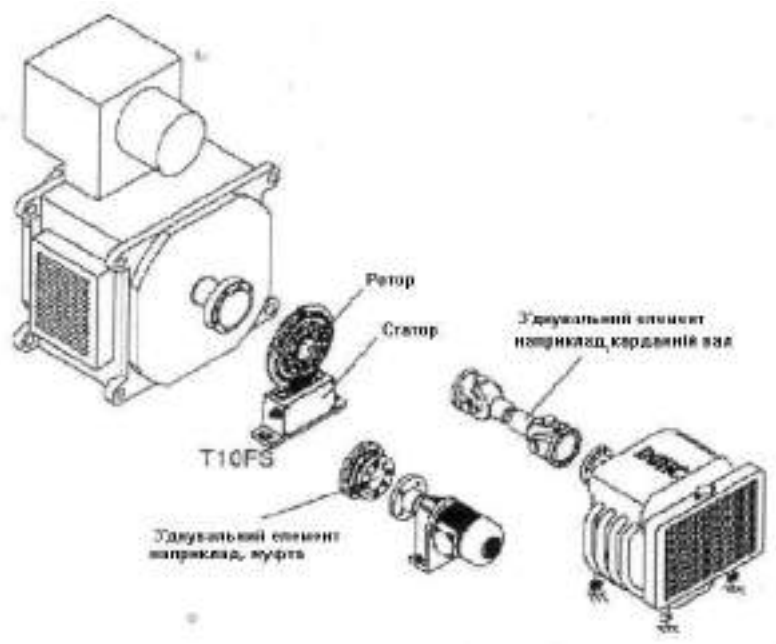


Рисунок 4.8

Приклад установлення датчика T10FS

Таблиця 4.3

Технічні характеристики датчиків

Номінальний крутний момент,	— 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10
Номінальна 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,	0...1000 (–3 dB)
Електроживлення (версія SF1/SU2), В	18...30
Максимально допустиме зміщення між ротором і статором,	±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 TF 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 миттєво 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 13 мм) дозволяє приймати сигнал незалежно від осьових і радіальних переміщень. Ще однією перевагою датчика TF 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.
Комплект датчика крутного моменту TF

Основні показники моделей датчиків ТГ наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Технічні характеристики датчиків ТГ

Модель	Номинальний 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 ТГ 219, що вмонтований між вихідним валом редуктора ГТ-1300-К і вхідним валом валкового брикет-пресу, показано на рис. 4.10.

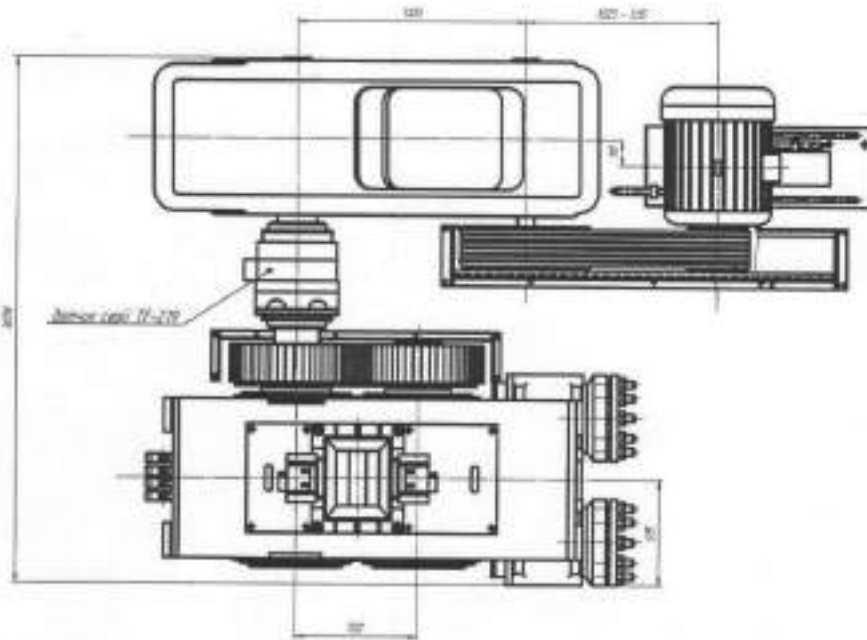


Рисунок 4.10

Приклад установлення датчика моменту TF 219

3. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ, ШВИДКОСТІ І ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

Найбільш простими і доступними у придбанні є універсальні датчики кута повороту серії РФ701 (ООО»Рифтек», Білорусія) (рис. 4.11).



Рисунок 4.11

Датчики кута повороту РФ701

Датчики виконують на основі елементів Холла чи магнітоіндукційних перетворювачів і можуть застосовуватись у трьох випадках, коли необхідно визначати кути повороту, число обертів, швидкість обертання і т.п.

Максимально допустима частота обертання датчиків 40 об/с (2400 об/хв). Похибка в кутових хвилинах — 30. Вихідний сигнал являє собою sin, cos чи RS-232, RS-485. Датчики живляться від джерела однополярної напруги 12 В. Робоча температура датчиків має бути не нижче -60°C і не вище $+70^{\circ}\text{C}$.

Найширший спектр універсальних датчиків(кута повороту, числа обертів, швидкості) виробляє фірма SICK-STEGMANN (табл. 4.5).

В датчиках використано принцип двоїчного коду і коду Грея (див. розд. 6, п.6) і вони мають зв'язок з комп'ютером.

На рис. 4.12, 4.13 показано зовнішній вигляд і основні розміри датчиків двох виконань: з валом і без вала (зі шліцевою маточиною-ступицею).

Всі охарактеризовані у табл. 4.5 (в тому числі і показані на рис. 4.12 і 4.13) датчики мають компакту форму, малі габарити і масу (0,3 кг). Момент інерції рухомих частин датчиків складає $54\text{ г}\cdot\text{см}^2$, що забезпечує малу інерційність в процесі вимірювань.

Таблиця 4.5

Короткі характеристики датчиків фірми SICK

Тип	Імп. / оберт	Тип виходу	U, В	Клас захисту	Макс. робоча швидкість, об / хв
1	2	3	4	5	6
ARS60-F4A08192	8192	10...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	6000/10000
ARS60-F4A32768	32768	10...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	6000/10000
ARS60-FAA08192	8192	10...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000

Продовження таблиці 4.5

ARS60- FAA32768	32768	10. ...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ARS60- FDA08192	8192	10...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ARS60- FDA32768	32768	10. ...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ATM60- AAA12X12	8192	10...32 В, SSI інтерфейс, код Грея чи двоїчний, обирається користувачем	10...32	IP67	3000
ATM90- ATA12X12	8192	10. ...32 В, SSI інтерфейс, код Грея чи двоїчний, вибирається користувачем	10...32	IP65	2000
DKS40- A5J01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422, 6 каналів	4,5...5,5	IP64	6000
DKS40- R5J01024	1024	10...30ВNPN відкр. колектор, 3 канали	10...32	IP64	6000
DKS40- R5J02048	2048	10...30ВNPN відкр. колектор, 3 канали	10...32	IP64	6000
DRS60- A4A01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	6000/10000
DRS60- A4A04098	4098	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	6000/10000

Закінчення таблиці 4.5

DRS60-AAA01024	1024	4,5...5,5 B TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-AAA04096	4096	4,5...5,5 B TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA01024	1024	4,5...5,5 B TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA04096	4096	4Д ..5,5 B TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA08192	8192	4,5...5,5 B TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-C4A01024	1024	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	6000/10000
DRS60-C4A04096	4096	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	6000/10000
DRS60-CAA01024	1024	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CAA04096	4096	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CAA08192	8192	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA01024	1024	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA04096	4096	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA08192	8192	10...32B TTL/RS422	10...32	IP66	3000



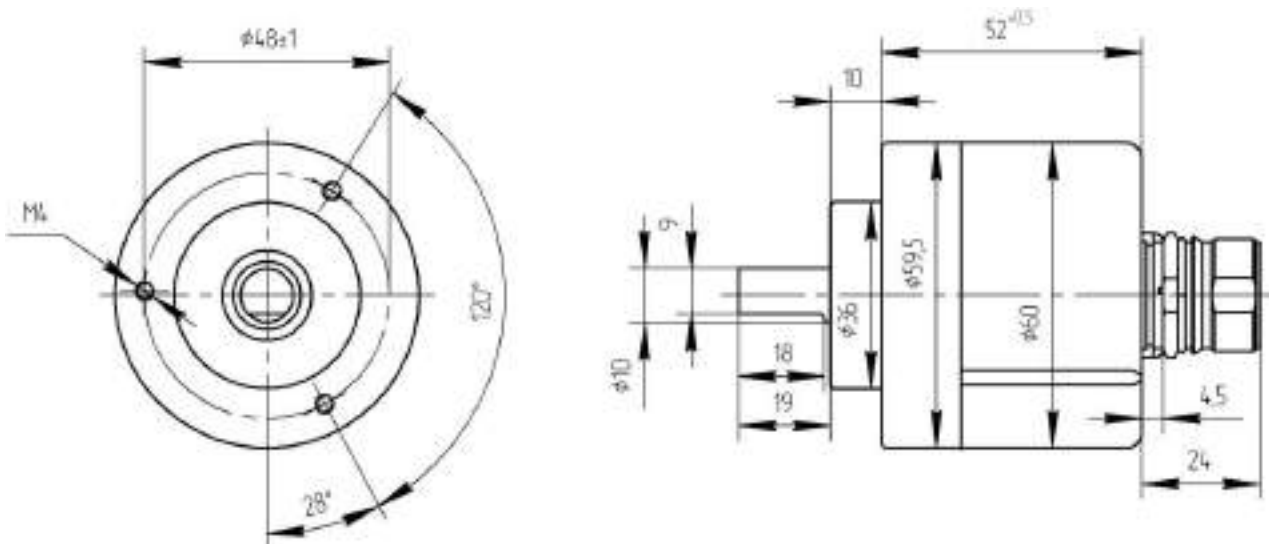


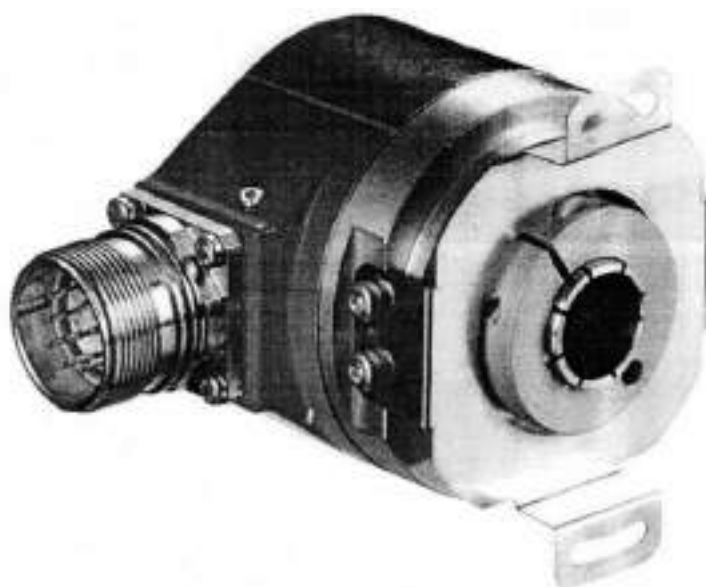
Рисунок 4.12

Зовнішній вигляд і розміри датчика з валом типів ARS60, DRS60

Більша кількість імпульсів за один оберт (від 1024 до 32768) робить ці датчики приладами високої точності. Так, наприклад, при мінімальному числі імпульсів ціна одного імпульсу дорівнює $0,35^\circ$, а при максимальному — $0,011^\circ$.

Якщо датчики спорядити відповідними пристосуваннями (наприклад, шківками чи барабанчиками), то вони можуть використовуватись при обстеженнях поступально-рухомих об'єктів.

Ще більш високою чутливістю і точністю володіють датчики, що отримали назву абсолютних енкодерів фірми HUBNER-BERLIN.



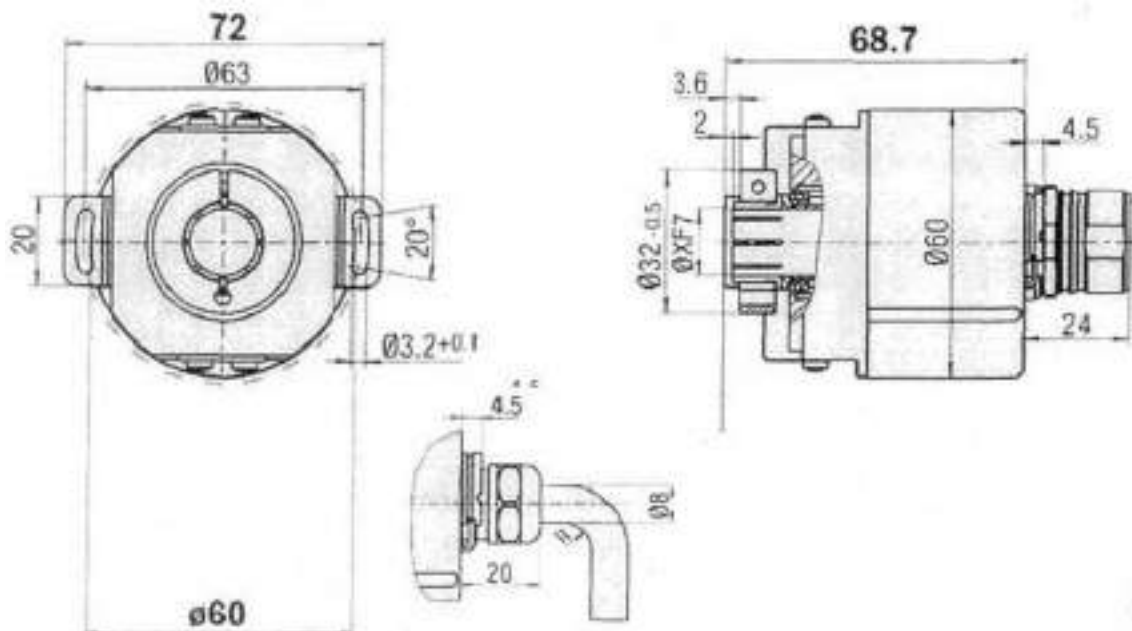


Рисунок 4.13

Зовнішній вигляд і розміри датчика без вала типів ARS60, DRS60

Відмітною рисою абсолютних енкодерів є можливість контролю положення вала навіть при відключеній напрузі живлення. Ця властивість є основною причиною їх використання в системах з високими вимогами точності. Енкодери дозволяють виконувати виміри до 8192 (13 bit) положень вала в межах одного оберту і до 65536 (16 bit) обертів вала. А одна із останніх моделей однообертowego енкодера дозволяє фіксувати до 4194304 (22 bit) положень вала в межах одного оберта. Вивід сигналу з енкодера і його програмування здійснюється за SSI інтерфейсом. Можливий також зв'язок із зовнішніми пристроями по Profibus, Device Net чи CANopen. Зовнішній вигляд датчика, здатного фіксувати до 4-х млн. положень вала,



Рисунок 4.14

Енкодер AMG75 (HUBNER-BERLIN)

показано на рис. 4.14. Діаметр притичного фланця датчика складає 75 мм, діаметр вала — 11 мм, маса 1,2 кг.

Фірма HUBNER виготовляє також і комбіновані енкодери і енкодер+електричний чи механічний обмежувач швидкості обертання



Рисунок 4.15

Комбінований енкодер POG9+FSL/PO G9+ESL

вала; енкодер + тахогенератор; тахогенератор + електричний чи механічний обмежувач швидкості обертання вала; електричний + механічний обмежувач швидкості обертання вала; двоїчний енкодер-два енкодера з загальним валом і звичайно різною точністю вимірів. Енкодер з двома вихідними сигналами має подвійне сканування оптичного диска. Розроблено системи і з трьома вимірювальними пристроями. Зовнішній вигляд

комбінованого енкодера показано на рис. 4.15.

Датчик має два виходи. Діаметр вала — 11 мм, маса датчика — 2,6 кг.

ТАХОМЕТРИ І ТАХОГЕНЕРАТОРИ

Тахометри призначені для вимірювання частоти обертання з відображенням результатів вимірів на індикаторі у цифровому вигляді. Індикатори можуть бути стрілковими чи електронними, а самі тахометри виконують в стаціонарному чи переносному варіанті.

До числа стаціонарних тахометрів відноситься тахометр СОР-4 (рис. 4.16), призначений для дистанційного виміру частоти обертання працюючих роторних машин і механізмів (VTB-Group).



Рисунок 4.16
Стационарний тахометр COT — 4

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання, об/хв.	6...9000
Границі основної похибки вимірів, %	1±1 од. мл. розр.
Напруга живлення, В	220±22
Вхідний сигнал	ТТЛ — сумісний
Споживана потужність, Вт	3
Габарити ШхГхВ, мм:	
▪ блочного виконання	143×172×72
Сфера чутливості датчика, мм:	
▪ вихрострумового	до 1,5 мм
▪ магнітного	до 1,5 мм
▪ оптичного	до 40 мм
Маса, кг:	
▪ вимірювального блоку	0,6
▪ таходатчика із здовжувачем	0,3

Тахометр працює в двох режимах – вимірів поточного значення і виміру максимального значення частоти обертання. В першому режимі на індикаторі відображається поточне значення числа обертів, а в другому режимі – максимальне значення.

Тахометр має перепрограмований мікроконтролер, завдяки чому забезпечується запам'ятовування результатів вимірів, введення режиму контролю частоти обертання, видача сигналу на управління,

дистанційний контроль і сигналізація, передача інформації в комп'ютер за послідовним інтерфейсом (RS-232, RS-458) поточного, максимального, мінімального значень числа обертів, значень установок, час спрацювання і т.д.

Характеристики тахометрів АТА-6001, АТТ-600х приведені в табл. 4.6, а зовнішній вигляд універсального тахометра АТТ-600х на рис. 4.17.

Таблиця 4.6

Характеристики тахометрів АТА-6001, АТТ-600х

ТА-6001	Цифровий тахометр (фотодатчик) в діапазоні від 5 до 99999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%; виміри на відстані від 50 до 150 мм.
АТТ-6000	Цифровий тахометр (фотодатчик) в діапазоні від 5 до 99999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%; виміри на відстані від 50 до 150 мм.
АТТ 6001	Цифровий тахометр (контактний) в діапазоні від 5 до 19999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%;
АТТ 6002	Тахометр-стробоскоп; фото-тахометр: 5...99999 об/хв; виміри на відстані 5...150 мм; стробоскоп: 100...1000000 імпульсів/хв.; розділення 0,1 імпульсів/хв.
АТТ-6006	Універсальний тахометр з лазерним маркером: виміри (в режимі контактного тахометра) швидкості обертання валів в діапазоні 0,5...19999 об/хв. і лінійної швидкості переміщення в діапазоні 0,05...1999,9 м/хв., діапазон вимірів (в режимі фото-тахометра) 5...99999 об/хв.; максимальне, мінімальне і останнє виміряне значення автоматично зберігаються в пам'яті.



Рисунок 4.17

Універсальний тахометр АТТ — 6006

Тахогенератори на відміну від тахометрів, які працюють в дискретному режимі, на виході мають постійний аналоговий сигнал, пропорційний частоті обертання вала. Вони призначені для роботи в якості датчиків в системах автоматичного регулювання частоти обертання виводів різноманітних електромеханічних систем, що виконують функції зворотного зв'язку, а також в якості вимірювачів швидкості обертання. Являють собою малопотужні машини постійного чи змінного струму.

Існують найрізноманітніші типи тахогенераторів. Проте їх можна поділити на дві групи: тахогенератори з незалежним збудженням від джерела живлення і тахогенератори зі збудженням від постійних магнітів.

За формою виконання тахогенератори можуть виконуватись з фланцем і на лапках, з фланцем і без лапок. Маса тахогенераторів в залежності від їх конкретного призначення може бути від декількох грамів до декількох десятків кілограмів. Так, наприклад, маса тахогенератора ТП212-0,20-0,5-0,1, призначеного для роботи в якості датчика швидкості в системах автоматичного регулювання електродвигунів прокатних станів і інших крупних металургійних апаратів, складає більше 50 кг, в той же час маса тахогенераторів загального призначення складає від 0,1 до 3,5 кг.

В таблиці 4.7 наведено характеристики тахогенераторів загального призначення серії ТМГ-30....

Зовнішній вигляд тахогенераторів серії ТМГ-30... показано на рис. 4.18.



Рисунок 4.18

Тахогенератор ТМГ-30...

Таблиця 4.7*Характеристики тахогенераторів серії ТМГ -30...*

Технічні дані	Од. вим.	ТМГ-30У3	ТМГ-30У3	ТМГ-30ПУ3	ТМГ-30ПТ3
Номінальна потужність	Вт	30	30	20	–
Крутизна вихідної напруги	мВ/об/хв	115±15%	57,5±15%	57,5±15%	30±15%
Номінальний опір навантаження	кОм	7,23±2%	1,76±2%	2,64±2%	4±2%
Номінальна частота обертання	об/хв	4000	4000	4000	4000
Напруга збудження	В	110	110	Збудження від постійних магнітів	
Номінальний струм збудження (в холостому стані)	мА	130±8%	130±8%		
Нелінійність вихідної напруги	%	±1	±1	±1	±1
Асиметрія вихідної напруги	%	±2	±2	±2	±2
Пульсація вихідної напруги (при частоті обертання від 4000 до 50 об/хв)	%	5	5	5	5
Маса (для виконання 2101)	кг	3,3	3,3	3,2	3,2
Маса (для виконання 2102)	кг	3,34	3,34	3,24	3,24
Маса (для виконання 3601)	кг	3,22	3,22	3,12	3,12
Маса (для виконання 3601)	кг	3,26	3,26	3,16	3,16

Розділ 5

Діагностика відмов і виявлення дефектів

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Терміни діагноз і діагностика походять, відповідно, від грецьких слів *diagnosis* (розпізнання, визначення) і *diagnostikos* (здатний розпізнавати, визначати). В сучасному значенні термін технічна діагностика позначає сферу знань, що охоплюють теорію, методи і засоби визначення технічного стану будь-якої системи (машини, агрегату, механізму, металоконструкції, з'єднаних вузлів і елементів і т. д.). Іншими словами, технічна діагностика являє собою сферу науки про розпізнавання технічного стану об'єктів. Її основу складають теорія розпізнання і теорія контролепридатності [12].

Головною метою діагностування є підвищення надійності і ресурсу контрольованого об'єкту шляхом виявлення на ранніх стадіях дефектів і несправностей і причин їх виникнення, оскільки це дозволить запобігти чи усунути їх розвиток і тим самим виключити випадки відмов і аварій обладнання, які приводять до негативних наслідків.

Технічне діагностування припускає визначення технічного стану об'єкту без їх розбирання, тобто, без втрат часу і засобів на розбирання і виявлення несправностей. Це вкрай важливо, оскільки при відсутності діагностування пошук несправностей, як показує практика, може займати в середньому до 50% загального часу ремонтних робіт. Тим більш, що діагностування дозволяє запобігти незапланованим простоям обладнання і остаточній втраті ремонтпридатності відповідальних вузлів і деталей. Використання діагностування також дозволяє отримати найбільш повну інформацію для можливості забезпечення оптимального регулювання режимів роботи обладнання.

Основою діагностування механічного обладнання є вібраційний і тепловий моніторинг та дефектоскопія. При діагностуванні гідросистем застосовуються специфічні методи і засоби.

2. ВІБРАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ

2.1. Методологія вібраційного моніторингу і діагностування

Основною задачею вібраційного моніторингу є нагляд за розвитком у часі певних параметрів вібрації. Для вирішення цієї задачі в процесі моніторингу здійснюють періодичні заміри контрольованих параметрів, виявляють змінення, проводять графічну побудову трендів часових характеристик, визначають основні тенденції цих замірів, порівнюють поточні і прогнозовані змінення із значеннями.

На діагностику вже покладається задача з інтерпретації змінень, виявлених в процесі моніторингу. При цьому:

- виділяють із виявлених небезпечні змінення, які супроводжуються появою дефектів;
- визначають вид і глибину кожного виявленого дефекту;
- обґрунтовують прогноз розвитку цих дефектів;
- визначають часовий інтервал до наступного виміру чи остаточний ресурс обстежуваного об'єкту.

В основу вібраційного моніторингу покладено спектральний аналіз, який являє собою математичний апарат для дослідження періодичних процесів і виявлення в них окремих компонентів, що мають характерні частоти.

Моніторинг рекомендується здійснювати за виміром низько-, середньо- і високочастотних складових вібрацій, вимірюваних в точках на корпусі обладнання, віддалених від найбільш віброактивних вузлів, з тим, щоб внесок у вимірювану вібрацію усіх віброактивних вузлів був порівнянний. В цьому випадку дефекти будь-якого вузла призводять до змінення параметрів контрольованого сигналу і вони мають бути своєчасно виявлені. Тут же необхідно відмітити, що між низько- і високочастотними вібраціями існує принципова відмінність — низькочастотна вібрація дуже добре поширюється на значні відстані практично без втрат, що дозволяє використовувати її для моніторингу всіх вузлів машини одночасно, а високочастотна вібрація, навпаки, швидко розсіюється по мірі віддалення від джерела вібрації, віддзеркалюючись від будь-яких стиків і неоднорідностей структури і її використовують для моніторингу окремих вузлів.

Найпростішим засобом для вимірювання вібрацій є датчик прискорень. Проте реальний сигнал на виході датчика внаслідок накладання різних гармонік коливань практично неможливо проаналізувати. Тому на практиці використовують вузькополосний спектральний аналіз вібрацій, який базується на відповідному апаратному і програмному забезпеченні. При цьому на кривій запису вібрації вже буде легко відрізнити гармонічну (необвідну для аналізу) складову від випадкової складової [12].

Незаперечними перевагами сучасних приладів, оснащених добірним програмним забезпеченням, є те, що вони фіксують сигнал від конкретного вузла, а не від сусіднього. Причому, спектр вібрації бездефектного вузла взагалі не має гармонічних складових (тобто сигналів від пошкодження) і поява в ньому хоча б одного сплеску на кривій запису буде свідчити про наявність того чи іншого дефекту.

На рис. 5.1 показано записи вібрацій бездефектного підшипника (рис. 5.1, а), підшипника з нерівномірним зносом поверхні тертя (рис. 5.1, б) і підшипника, на поверхні якого утворені шпарини (рис. 5.1, в). Як видно із рисунку, спектри вібрацій мають своєрідний вигляд, що при аналізі результатів обстеження практично виключає помилку в постановці діагнозу.

Для виявлення, ідентифікації виду і величини дефекту результати кількісного оцінювання діагностованих параметрів порівнюють з еталонами різних дефектів. Еталон будують в просторі діагностичних ознак, тобто для кожного вузла і для кожної ознаки визначають сукупність величин вимірюваних діагностичних параметрів і допустимих відхилень. Виявляемі дефекти поділяють за величиною на слабкі, що не впливають на ресурс вузла, середні, що характеризують появу у вузлі незворотніх змінень, і сильні, при яких з'являється реальна (в одному із десяти випадків) можливість відмови вузла за час порядку 20–30 днів неперервної роботи.

Еталони будують за одним із трьох можливих способів. Перший — побудова математичного еталону без попереднього етапу навчання системи діагностування. Другий — побудова еталону за даними вимірів діагностичних параметрів однотипних машин. І третій — побудова еталону за періодичними вимірами вібрації діагностованої машини на початковому етапі експлуатації системи діагностики.

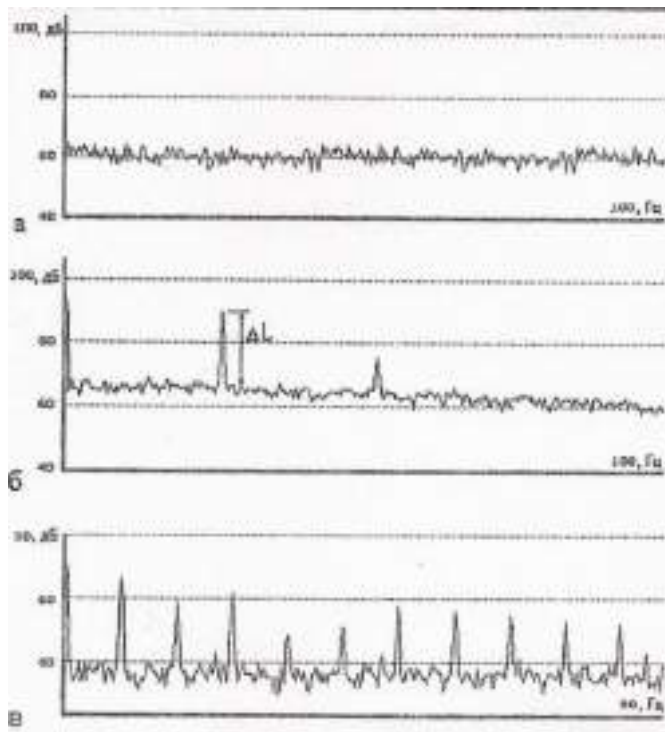


Рисунок 5.1

Спектри обвідної високочастотної випадкової вібрації в бездефектному підшипнику (без модуляції) (а), в підшипнику, що має нерівномірний знос (з модуляцією) (б) і в підшипнику, що має раковини на поверхні тертя (з ударами) (в)

Для вузлів, що мають різні види дефектів, побудова еталонів можлива лише при наборі достатніх статистичних даних по багатьом вимірам. Тому на першому етапі замість еталонів використовують пороги граничного змінення діагностичних параметрів, що характеризують бездефектні вузли, а також вузли із середніми і сильними дефектами (рис. 5.2).

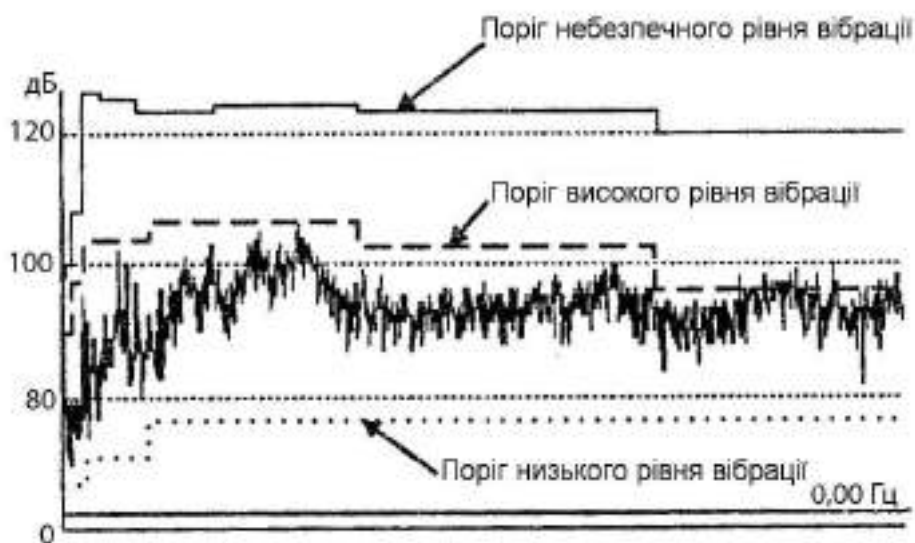


Рисунок 5.2

Спектр вібрації машини з трьома порогамі

Пороги визначають за всією сукупністю параметрів, що характеризують кожний вид дефекту. Оскільки в якості діагностичних ознак можуть використовуватись різноманітні властивості вібрацій, кожний із них нормують на свій поріг сильного дефекту, а потім для загального уявлення переводять у два види одиниць — зростання рівня вібрації над середньою величиною, яке вимірюється в дицибелах, і величини модуляції вібрації, що подається у відсотках.

2.2. Апаратура для вібраційного моніторингу і діагностування

В залежності від стратегії діагностування і необхідності в періодичності контролю параметрів вібрації використовується стаціонарна і переносна апаратура.

Стаціонарну апаратуру застосовують для неперервного контролю технічного стану обладнання. Загалом апаратуру поділяють на контрольну-сигнальну (для контролю гранично-допустимого рівня) і діагностичну (для визначення виду і степеню розвитку дефектів, виявлення тенденцій до змінення діагностичних ознак). При періодичному контролі застосовується переносна апаратура. Збирання, зберігання і аналіз вібрацій здійснюється за допомогою колекторів-віброаналізаторів. В сучасних приладах передбачена можливість перекладавати дані вимірів в ПК для зберігання і аналізу.

До нового покоління приладів, що мають широкі можливості, можна віднести віброаналізатор СД-12М (АО ВАСТ Санкт-Петербург) (рис. 5.3). Він має повністю цифровий аналізатор спектрів і збирач даних з розширеними можливостями і повним комплектом вібраційних вимірів. Прилад суміщає в собі сучасні технології цифрового оброблення сигналів, що забезпечує високу надійність і точність вимірів, з простотою і зручністю інтерфейсу користувача. Він може входити в склад діагностичного комплексу на базі ПК і додаткових приналежностей і аксесуарів. В цьому випадку його можливості значно розширюються.

Прилад має лише один канал для підключення до об'єкту вимірювання (тобто, одночасно можна проводити моніторинг лише одного об'єкта обстеження). Діапазон вимірюваних частот вібрацій — до

25 кГц, число ліній в спектрі — 400...1600. Дисплей приладу (графічний 240×128, монохромний з підсвіченням) дозволяє мати чітку інформацію про стан обстежуваного вузла, що подається в графічному вигляді. Моніторинг і автоматичне діагностування обертових машин і обладнання базується на пакеті програм Dream for Windows.

До числа дефектів, що виявляються відноситься:

- дефекти вала з підшипниками кочення;
- дефекти вала з підшипниками ковзання;
- дефекти зубчастого зачеплення;
- дефекти в зубчастих передачах з підшипниками кочення;
- дефекти в зубчастих передачах з підшипниками ковзання;
- дефекти ланцюгових і паскових передач;
- дефекти робочих коліс насосів і вентиляторів;
- дефекти в механічній і електромагнетній частинах електрома-

шин.



Рисунок 5.3.
Прилад СД-12М

До того ж, якщо взяти вузол, то за допомогою цього приладу можна виявити стан його окремої деталі. Наприклад, програмою приладу передбачена ідентифікація наступних груп дефектів підшипників кочення:

- обкочування нерухомого кільця підшипника;
- неоднорідний радіальний натяг;
- перекис нерухомого (зовнішнього) кільця;
- знос зовнішнього кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього кільця;
- знос тіл кочення і сепараторів;
- шпарини, сколення на тілах кочення;
- складні (подвійні і т. п.) дефекти;
- проковзування кілець в посадкових місцях;
- дефекти змащення (старіння, недостатність, сторонні домішки і т. п.).

В той же час для використання такого приладу необхідна додаткова освіта (фахівця-діагностика). Та й ціна приладів такого рівня надто висока (декілька десятків тисяч доларів). Тому більшого поширення набули віброметри.

Незалежно від типу, всі відомі конструкції віброметрів мають в порівнянні з віброаналізаторами значно менші можливості при оцінюванні стану обладнання. Але вони відрізняються простотою їх застосування, що не вимагає спеціальної підготовки користувача, і, звісно, значно меншою вартістю (декілька тис. гривень, наприклад, вартість віброметра VM-6360 — 2999 грн.).

Серед відомих віброметрів попитом користуються наступні віброметри (виробництво Росія): „Янтарь“ і „Опал“.

„Янтарь“ призначається для вимірів вібрації при контролі, моніторинзі, аналізі і вібраційній діагностиці технічного стану роторних агрегатів і механізмів з обертовими елементами. Діапазон вимірюваних частот до 10 кГц. Живлення — акумуляторне. В комплекті з приладом надаються навушники, що дозволяють фахівцям, поряд з фіксуванням вібрацій на дисплеї, оцінювати стан обладнання по шуму.

„Опал“ призначається для вимірювань середньоквадратичного значення віброшвидкості будь-якого роторного обладнання з метою контролю його технічного стану. Прилад оснащено цифровим дисп-

леєм з підсвіченням та індикатором рівня залишкового заряду акумулятора. Включення режиму вимірювання здійснюється натиском однієї кнопки. Похибка приладу складає $\pm 0,3$ мм/с (в діапазоні 1,5...20 мм/с) і ± 2 мм/с (в діапазоні 20...100 мм/с). Частота вимірів до 1,0 кГц.

На належну увагу заслуговує і віброметр VM-6360 (виробник Тайвань, постачальник „Символьт“ Україна), який являє собою малогабаритний, автономний, мікропроцесорний прилад для вимірювань параметрів вібрації (рис. 5.4). Він може використовуватись як у системах вібраційного моніторингу обладнання — для збору даних по загальному рівню вібрації, так і в системах вібродіагностики — для виявлення дефектів за результатами спектрального аналізу.



Рисунок 5.4
Віброметр VM-6360

Конструкція приладу забезпечує граничну простоту при проведенні вимірювань. Точність і роздільна здатність приладу дозволяють достовірно контролювати поточний технічний стан обладнання та переходити до перспективного способу обслуговування обладнання — по фактичному його стану (тобто, не пов'язуючи ремонт з раніше установленими графіками ремонту).

Технічна характеристика приладу

Вимірювані параметри

*— швидкість, прискорення, зміщення
RPM, частота*

<i>Датчик</i>	— <i>п'єзоелектричний акселерометр.</i>
<i>Діапазони вимірювання:</i>	
<i>швидкість, мм/с</i>	— <i>0,1...400,0</i>
<i>прискорення, м/с²</i>	— <i>0,01...400,0</i>
<i>зміщення, мм</i>	— <i>0,01...4,0</i>
<i>обертання (RPM), об/хв</i>	— <i>60...99990</i>
<i>Частотний діапазон для вимірювання</i>	— <i>від 10 Гц до 1,0 кГц.</i>
<i>Прискорення:</i>	
<i>в режимі I</i>	— <i>від 10 Гц до 1,0 кГц</i>
<i>в режимі несення</i>	— <i>від 10 Гц до 10,0 кГц</i>
<i>Зміщення</i>	— <i>від 10 Гц до 1,0 кГц</i>
<i>Похибка</i>	— <i><5%+2 цифри</i>
<i>Роздільна здатність, мм/с²</i>	— <i>0,01</i>

Більш детально ознайомитись з приладами вібраційного моніторингу і вібродіагностики можна в роботі [12].

Що стосується саме вібродіагностування, то тут належить відмітити наступне. Найбільш повно за сигналами вібрації діагностується ті вузли, які є постійними джерелами вібрації. До них відносяться:

- підшипники кочення і ковзання;
- ротори машин (двигуни, обертальні деталі роторного типу);
- механічні передачі (зубчасті, паскові, черв'ячні, ланцюгові і т. п.)

В даному розділі розглянемо лише діагностування найбільш поширених елементів (підшипників і зубчастих закритих передач-редукторів).

2.3. Діагностування підшипників ковзання

Для діагностування підшипників ковзання у програмному забезпеченні діагностичної апаратури переважно використовуються методи вузькосму-гового спектрального аналізу вібрації і її обвідної. Перший з них забезпечує діагностику за низькочастотною вібрацією, а другий — за високочастотною вібрацією.

При вимірюванні високочастотної вібрації, як відмічалось вище, коли вібрація швидко затухає по мірі віддалення від дефектного вуз-

ла, можливо без особливих труднощів виявити джерело цих вібрацій. В той же час за низькочастотною вібрацією, можливо, виявити дефекти тих вузлів, до яких неможливо добратись в процесі вимірювань, оскільки низькочастотні вібрації поширюються на значно більшу відстань, чим високочастотні [2].

Проте в обох випадках виникають певні ускладнення діагностування, оскільки на вібрацію підшипникового вузла впливають як дефекти самого підшипника, так і умови його роботи. Тому задача діагностування вирішується в два етапи: спочатку визначаються умови роботи підшипника, а потім, з їх урахуванням, визначається глибина дефектів підшипників. До того ж для оптимізації процесу діагностування шляхом програмного забезпечення дефекти власне підшипника, режими його роботи і дефекти інших вузлів, що зменшують ресурс підшипника, об'єднують в групи. А ці групи за особливостями формування вібрації різняться настільки, що надають можливість ідентифікувати їх вид за параметрами вузькосмугових спектрів вібрації і її обвідної. Всього цих груп вісім [2]:

- незрівноваженість ротора (вала, барабана, колеса і т.п.);
- биття вала (муфти);
- дефекти вузлів кріплення підшипника;
- автоколивання вала;
- перекіс підшипника;
- знос підшипника;
- удар в підшипнику;
- дефекти змащування.

Незрівноваженість ротора збільшує інтенсивність вібрації машини на частоті його обертання, що слугує ознакою певного дефекту. Через незрівноваженість відцентрові сили, що діють на ротор, можуть перевищувати за величиною силу його тяжіння, що призведе до обкочування шийкою вала вкладишів підшипника. В цьому випадку при нерівній поверхні вкладишів вібрація зростає на гармоніках частоти обертання і з'являється модуляція сил тертя з частотою обертання ротора, тобто в спектрі обвідної вібрації з'являються лінії на гармоніках частоти обертання ротора.

Биття вала (муфти) призводить до тих же наслідків, що і значна незрівноваженість ротора, тобто до обкочування шийкою вала вкладишів підшипника.

Приклад виявлення биття вала з використанням апаратури і програмного забезпечення «АО ВАСТ» показано на рис. 5.5. Знак „ $f_{вр}$ “ на цьому графічному тренді позначає частоту обертання вала. $f_{вр}$

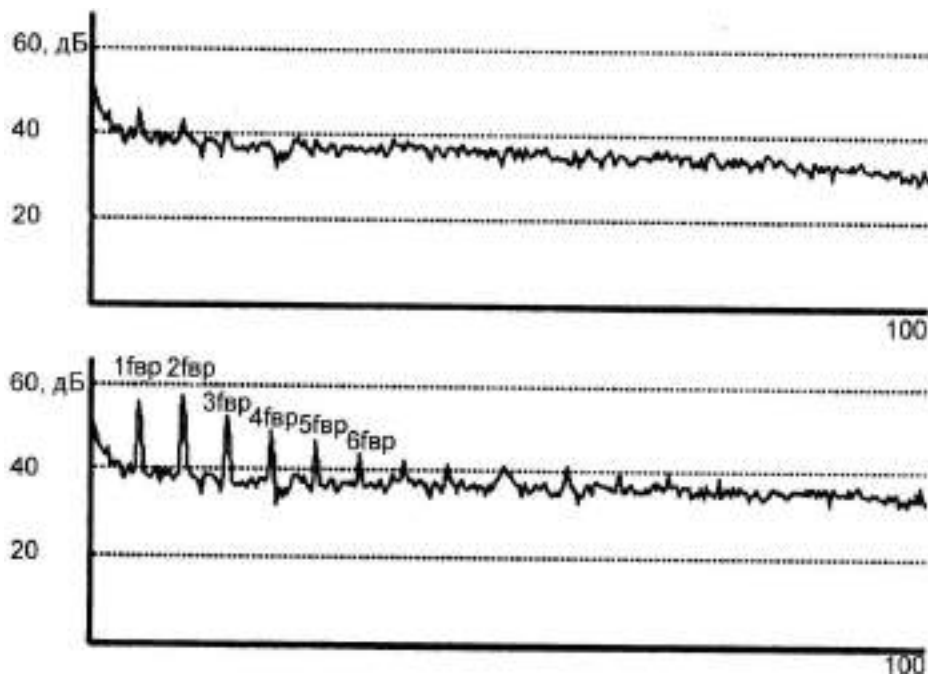


Рисунок 5.5

Приклад виявлення биття вала за спектром обвідної вібрації: а-вихідний спектр обвідної вібрації; б-спектр обвідної при битті вала

Автоколивання вала в підшипниках призводять до зростання вібрації машини на гармоніках частоти цих коливань, оскільки автоколивання викликають переміщення вала в площині, перпендикулярній його осі обертання, то вони є наслідком або збільшення зазору між поверхнями тертя, або неправильної подачі змащення. Відмітною ознакою процесу вібрації в цьому випадку є те, що перша частота із групи частот в два чи три рази нижче частоти обертання вала. Аналогічним чином із тією частотою змінюються сили тертя і, отже, виникає модуляція високочастотної вібрації підшипника. Діагностичними ознаками автоколивань вала є поява складових низько-частотної вібрації на частотах, кратних другій і третій субгармонікам частоти обертання чи ж складових в спектрі обвідної високочастотної вібрації.

Приклад виявлення автоколивань за спектром обвідної вібрації приведено на рис. 5.6. Цифрами, що стоять перед знаком частоти $f_{вр}$, позначається черговість сплеску частот (гармонік) ($k = 1,2,3,\dots$).

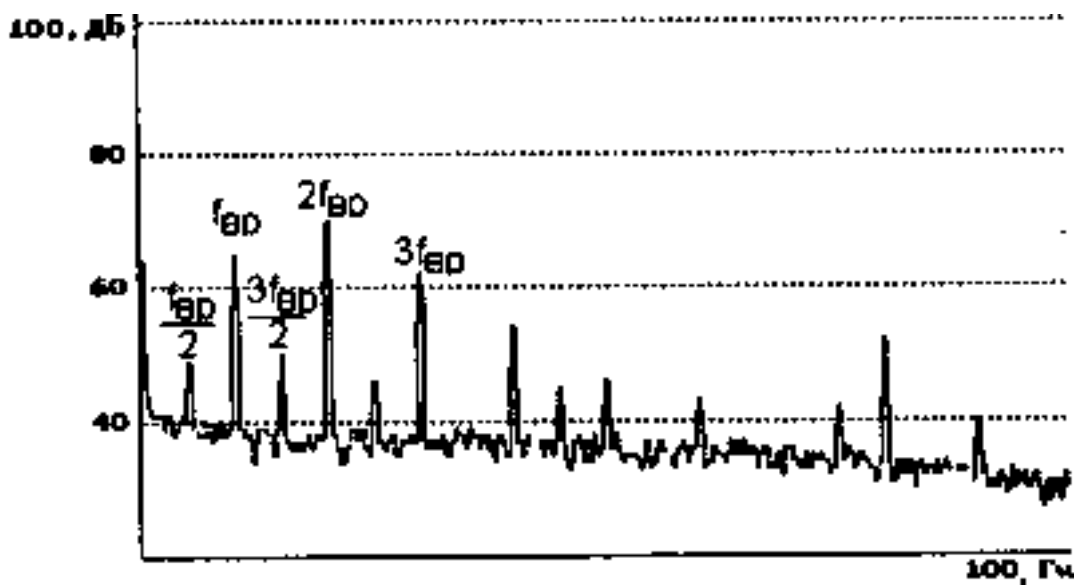


Рисунок 5.6

Приклад виявлення автоколивань за спектрами обвідної

Перекош підшипника призводить до зростання вібрації на частотах, кратних другій гармоніці частоти обертання, і до модуляції сил тертя і високочастотної вібрації підшипникового вузла тими ж частотами. Однаковий вплив на вібрацію, з погляду проявлення ознак вібрації, підшипникових вузлів і машин в цілому чинять як переки безпосередньо підшипника, так і згин вала в районі підшипника.

Приклад виявлення перекошу підшипника за спектром обвідної показано на рис.5.7.

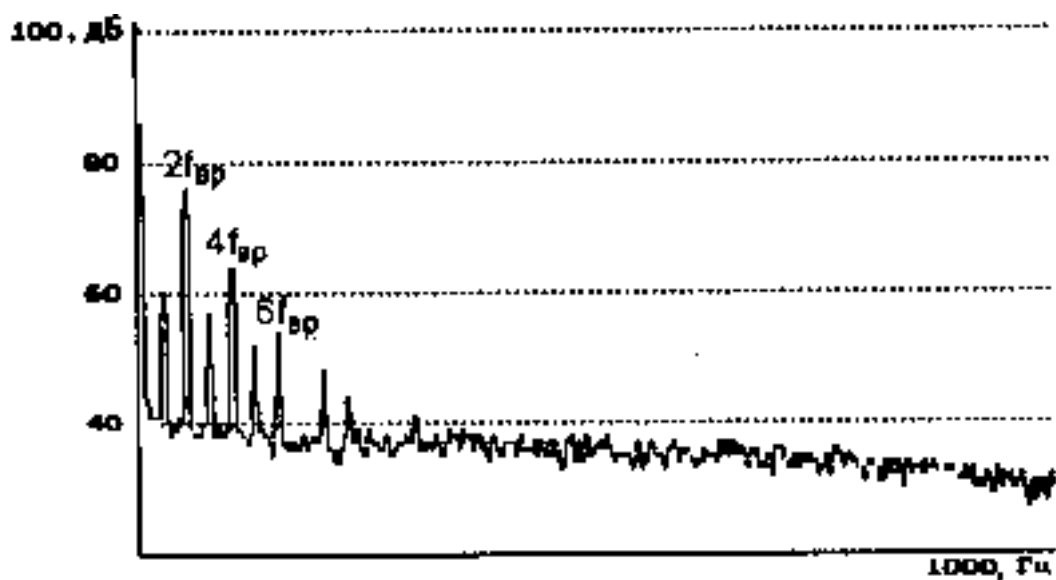


Рисунок 5.7

Приклад виявлення перекошу підшипника за спектром обвідної

Знос підшипника (знос вкладишів) супроводжується зростанням величини і зміненням форми зазору, а також викривуванням поверхонь окремих ділянок вкладишів, що призводять до змінення цілої низки параметрів вібрації, причому ці змінення безпосередньо залежать від режиму роботи ротора (вала, муфти і т. п.) і його дефектів.

Діагностичні ознаки зносу підшипника поділяють на дві незалежні одна від іншої групи. Перша група пов'язана з нестабільністю масляного клина і являє собою змінення форми фону в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника у вигляді його підйому на низьких частотах (рис. 5.8). Друга група ознак визначається зростанням гармонік спектра вібрації і її обвідної на ряді частот kf_{ep} , але з одночасним зростанням високочастотної випадкової вібрації (рис. 5.9).

Удари в підшипниках частіше усього виявляються і визначаються за обвідною високочастотних вібрацій і поділяються на дві групи: гідродинамічні і механічні (сухі).

Перший тип ударів являє собою короткочасну появу ділянок у мастильному шарі, що характеризуються турбулентністю потоків мастила. Другий тип більш небезпечний вид ударів, поєднаний з розриванням масляної плівки і появою короткочасного контакту поверхонь тертя.

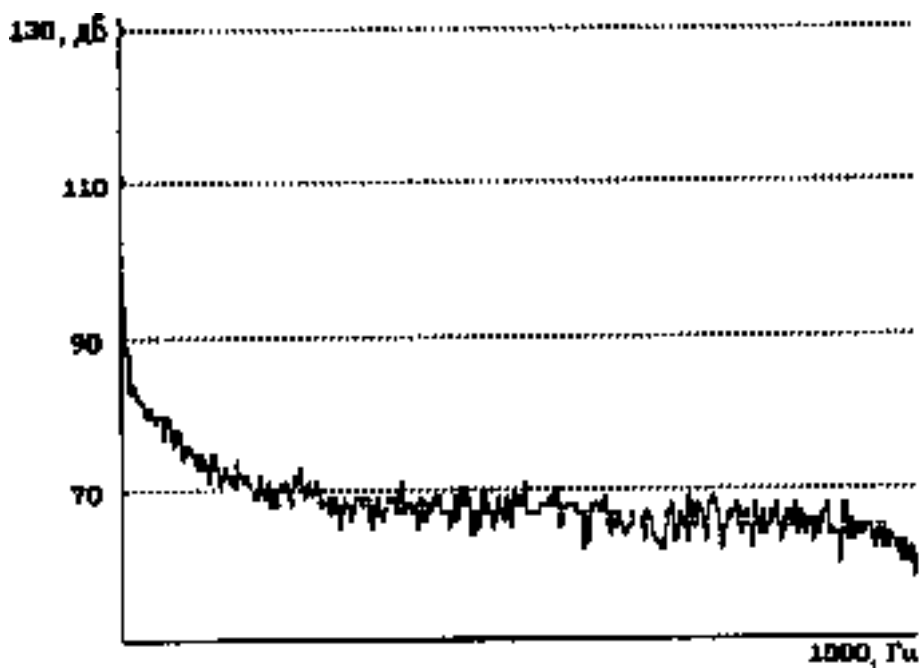


Рисунок 5.8

Приклад змінення форми фону в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника у вигляді його підйому на низьких частотах

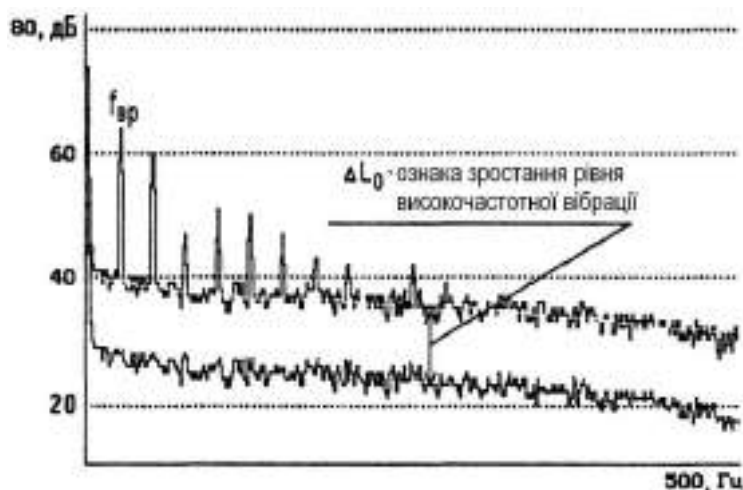


Рисунок 5.9

Приклад виявлення зносу підшипника за спектром обвідної і зростання рівня високочастотної вібрації

Характерною ознакою проявлення першого типу є короткочасне стрибкоподібне змінення високочастотної вібрації підшипника, яке не призводить, як правило, до значного зростання рівня високочастотної вібрації, в той час як у другому випадку зростання високочастотної вібрації виявляється достатньо сильним.

Діагностичні ознаки проявлення ударів в підшипниках лише незначно відрізняються від групи ознак, що виявляються гармонічною складовою спектру вібрації і її обвідної з частотою $kf_{вр}$. Ця відміна стосується спектру обвідної вібрації, в якому при появі ударів невеликої тривалості виникає велике число гармонік $kf_{вр}$ аж до граничної частоти спектру. Приклад для цього випадку наведено на рис. 5.10.

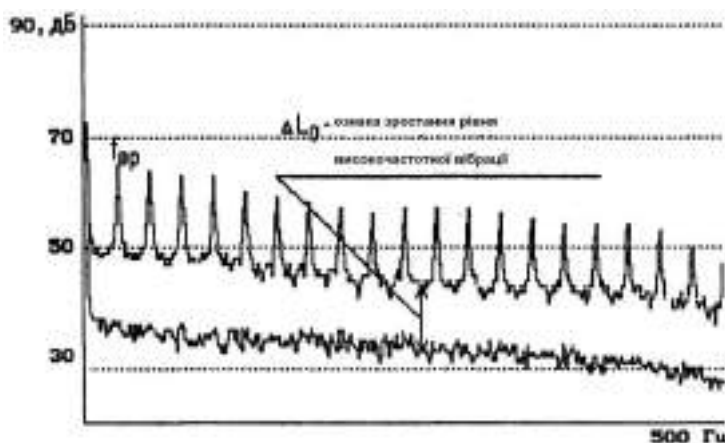


Рисунок 5.10

Приклад виявлення «сухих» ударів в підшипниках за спектром обвідної

Дефекти змащування призводять до зростання високочастотної вібрації підшипника і можуть призвести до розривання масляного шару і ударам. Проте ці удари не є періодичними і в спектрі обвідної вібрації відсутні гармонічні складові, якщо в підшипнику немає інших дефектів.

Діагностичною ознакою дефектів змащення є зростання високо-частотної випадкової вібрації підшипникового вузла при умові, що він не пов'язаний із зносом підшипника чи появою в ньому ударів.

Вкрай важливим аспектом при виконанні вимірювань є правильний вибір точок контролю вібрації і діагностичних ознак.

Діагностування підшипників здійснюються шляхом вимірювання вібрацій на корпусі підшипникового вузла. Обов'язковою умовою вимірювань є [23]:

- наявність безпосереднього контакту вкладишів підшипника з тою частиною корпусу підшипникового вузла, на яку кріпиться датчик вібрації;
- збіг результатів вимірювання спектрів вібрації при повторній установці датчика;
- вибір напряму вимірювань, по можливості, перпендикулярного осі обертання вала, і такого, щоб проходив через цю вісь.

Більш детально питання діагностування підшипників ковзання розглянуто в роботі [2].

2.4. Діагностування підшипників кочення

Для діагностування підшипникових вузлів з підшипниками кочення в сучасних діагностичних програмах використовуються двоє основних підходів [2].

Перший підхід реалізується в задачах ранішнього виявлення дефектів за одноразовим вимірюванням вібрації і використовуються тільки результати спектрального аналізу обвідної високочастотної випадкової вібрації. Цей період використовується і для довгострокового прогнозу стану підшипників.

Другий підхід використається для нагляду за розвитком дефектів і для короткострокового прогнозу стану підшипникових вузлів тоді, коли дефекти стають аварійно небезпечними.

Наявність особливих режимів підшипників кочення в машині з механічними передачами (зубчастими, пасковими, ланцюговими, черв'ячними) призводить до того, що правила діагностики підшипників суттєво змінюються. Тому в програмах організовані спеціальні алгоритми діагностування підшипників в складі механічних передач, в тому числі і редукторів.

Оскільки на вібраційний стан підшипникового вузла впливають не тільки дефекти самого підшипника, але і режими його роботи, при автоматичній діагностиці вирішуються одночасно дві задачі (як і при підшипниках ковзання): визначаються особливості роботи підшипників, а потім з їх урахуванням — вид і глибина наявних в підшипнику дефектів.

Розподілити всі можливі дефекти за результатами вимірювання вібрації дуже складно, особливо при автоматичному режимі діагностування. Тому дефекти поділяють на групи, як і для підшипників ковзання, з урахуванням особливостей їх впливу на вібрацію і особливостей експлуатації машин.

В програмному забезпеченні ВАСТ передбачена ідентифікація наступних груп дефектів [2]:

- обкочування нерухомого кільця підшипника;
- неоднорідний радіальний натяг;
- перекіс нерухомого (зовнішнього) кільця;
- знос зовнішнього кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього кільця;
- шпарини, тріщини на внутрішньому кільці;
- знос тіл кочення і сепараторів;
- шпарини, сколи на тілах кочення;
- складні (подвійні і т. п.) дефекти;
- просковзування кільця в посадковому місці;
- дефекти мастила (старіння, нестача, сторонні домішки і т. п.).

Робота підшипника в складі машини при наявності в ньому дефектів може впливати на вібрацію і процеси, що її моделюють, з наступними частотами [2]:

- частота обертання рухомого кільця відносно нерухомого — $f_{вр}$;
- частота обертання сепаратора відносно зовнішнього кільця

$$f_c = \frac{1}{2} f_{\text{вп}} \left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{d_c} \cos \alpha\right),$$

де $d_{\text{тк}}$ — діаметр тіла кочення;

$$d_c = \frac{1}{2} (d_3 + d_в) \text{ — діаметр сепаратора};$$

d_3 — діаметр зовнішнього кільця;

$d_в$ — діаметр внутрішнього кільця;

α — кут контакту тіл і доріжок кочення;

- частота перекочування тіл кочення по зовнішньому кільцю

$$f_3 = \frac{1}{2} f_{\text{вп}} \left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{d_c} \cos \alpha\right) \cdot z = f_c \cdot z,$$

де z — число тіл кочення;

- частота перекочування тіл кочення по внутрішньому кільцю

$$f_в = \frac{1}{2} f_{\text{вп}} \left(1 + \frac{d_{\text{тк}}}{d_c} \cos \alpha\right) \cdot z = (f_{\text{вп}} + f_c) \cdot z;$$

- частота обертання тіла кочення відносно поверхні кілець

$$f_{\text{тк}} = \frac{1}{2} f_{\text{вп}} \frac{d_{\text{тк}}}{d_c} \left(1 + \frac{d_{\text{тк}}^2}{d_c^2} \cos \alpha\right)$$

Для отримання вірогідних результатів вимірювання і діагностування необхідно обов'язково витримати правила вибору точок контролю вібрації і діагностичних ознак.

Приклади вибору можливих точок кріплення датчика віброприскорення (акселерометра) показані на рис. 5.11. Тут розглядаються чотири можливі випадки кріплення датчика.

В першому випадку (рис. 5.11, а) конструкція підшипникового вузла виконана монолітно з однаковою товщиною корпусу і без ребер жорсткості. Кращий варіант контролю для цього випадку в точках 1 і 2, але можливий контроль і по іншим точкам.

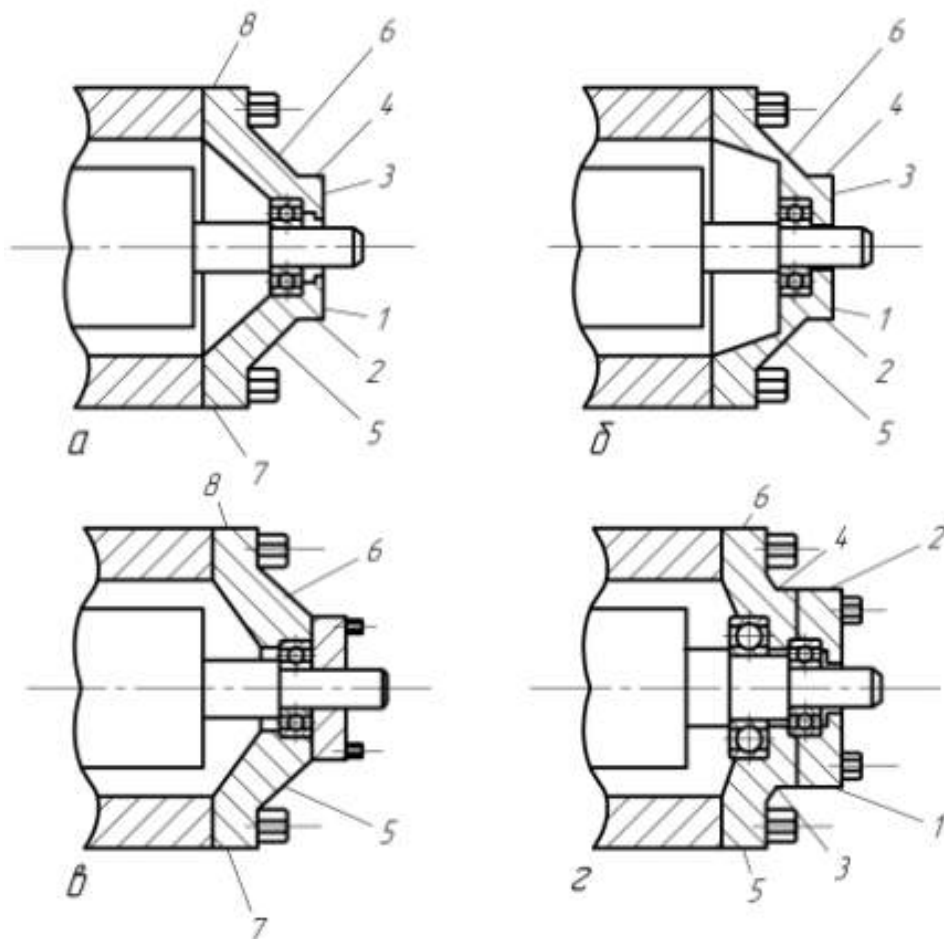


Рисунок 5.11

Приклади вибору точок контролю вібрації на підшипникових щитках

В другому випадку (рис.5.11, б) товщина корпусу підшипникового щита неоднорідна, внаслідок чого вібрація в районі точок 7 і 8 слабшає. Тому контроль в цих точках є недоцільним.

В третьому випадку (рис. 5.11, в) підшипниковий щит має кришки з різьбовим з'єднанням, що викликає невизначеність вібраційного стану в точках 1,2,3,4, тому заміри належить виконувати в точках 5,6,7,8.

В четвертому випадку (рис.5.11, г), коли на підшипникових вузлах установлюються спаровані підшипники, необхідно враховувати наступне, якщо посадкове місце є загальним, то використовується загальна точка контролю, а розподілення дефектного і бездефектного підшипників здійснюють за діагностичними параметрами. Останні можуть бути різними для різноманітних типів підшипників. Якщо ж підшипники мають посадкові місця на різних елементах, як це показано на рис. 5.11, г, то необхідно вибирати окремі точки контролю.

Існують також три вимоги до вибору точок контролю, якщо необхідно вимірювати спектр обвідної високочастотної випадкової вібрації без викривлення діагностичної інформації [2].

Перша вимога поєднана з необхідністю розподілення модельованих і не-модульованих складових вібрації і полягає у виборі відповідних смужок частот сигналу вібрації (відсутність інтенсивних гармонічних складових).

Друга вимога поєднана з першою і припускає, що у вибраній смузі частот немає не тільки гармонічних складових, але й високообертальних резонансів.

Третя вимога зводиться до того, щоб рівень високочастотної вібрації був порівняний з рівнем низькочастотної вібрації і перевищував рівень власних шумів приладу. Більш детально ці питання висвітлено в джерелі [2].

Приклади виявлення різних дефектів підшипників кочення наведено нижче.

Обкочування зовнішнього (нерухомого) кільця підшипника є саме по собі дефектом підшипника, що свідчить лише про режим роботи машин з підвищеним навантаженням на підшипник при обертанні, що зменшує ресурс останнього.

Діагностичною ознакою цього режиму роботи підшипника є поява в спектрі обвідної вібрації невеликої кількості (3–4) гармонічних складових вібрацій з частотами $kf_{вр}$, із яких максимальні амплітуди припадають на 1–3 гармоніки (рис. 5.12).

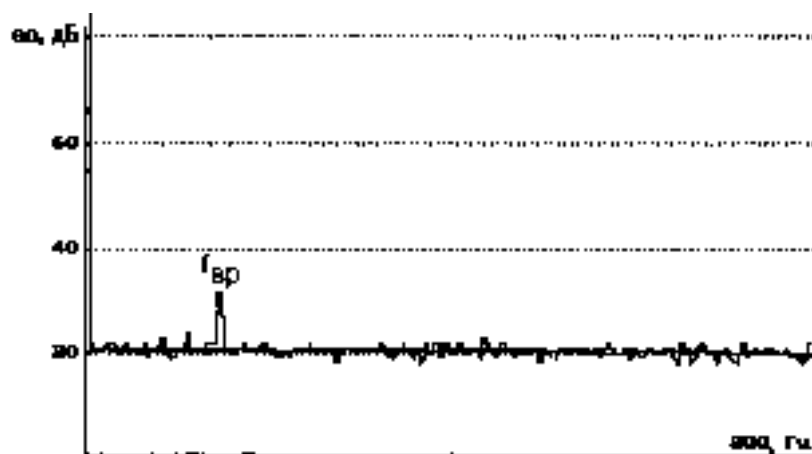


Рисунок 5.12

Приклад виявлення обкочування зовнішнього (нерухомого) кільця підшипника за спектром обвідної

Неоднорідний радіальний натяг є дефектом складання підшипника.

Діагностичною ознакою цього дефекту є зростання гармонічних складових в спектрі обвідної на парних і, насамперед, на другій гармоніці частоти обертання вала (рис. 5.13). Цей дефект супроводжується зростанням обертального навантаження в двох протилежних точках внутрішнього кільця і призводить до прискореного зносу підшипника.

Перекіс зовнішнього кільця виникає, зазвичай, при монтажі підшипника через дефекти посадкового місця. Цей дефект дає про себе знати відразу після монтажу, а його діагностичною ознакою є зростання складових спектру обвідної на частотах $kf_{вр}$ і переважно при парних гармоніках k (особливо на другій гармоніці $2f_H$) (рис. 5.14). Перекіс кільця призводить до прискореного зносу підшипника.

Знос зовнішнього кільця призводить до змінення коефіцієнта тертя на окремих ділянках кільця. Внаслідок цього явища з'являється плавна модуляція високочастотної вібрації частотою f_H , а в спектрі обвідної вібрації зростають гармонічні складові на частотах $kf_{вр}$. При цьому найбільше зростання відбувається на першій гармоніці f_H , а амплітуда кратних гармонік в спектрі обвідної швидко падає (рис. 5.15).

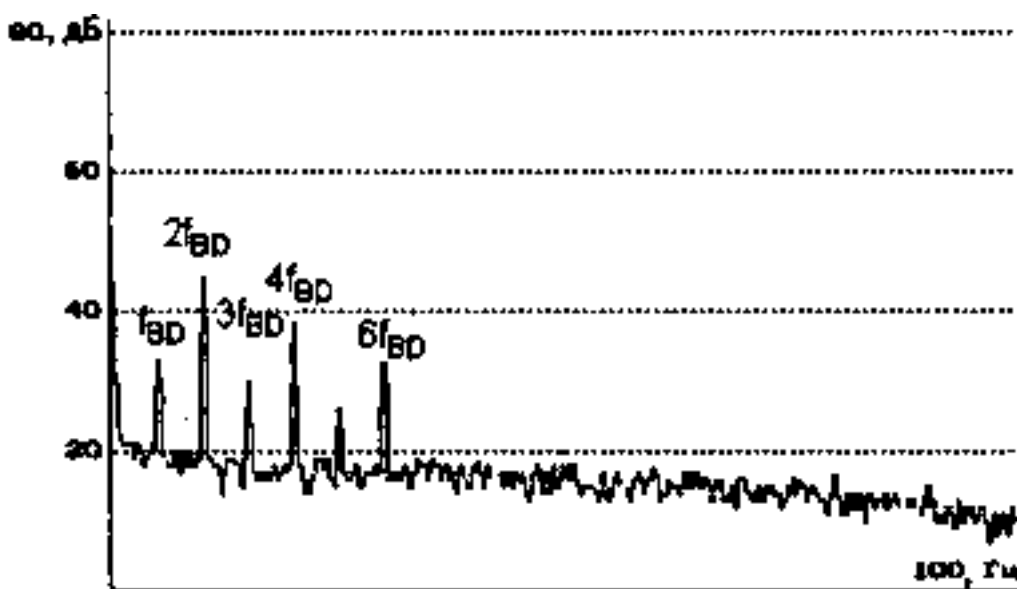


Рисунок 5.13

Приклад виявлення неоднорідного натягу підшипника за спектром обвідної

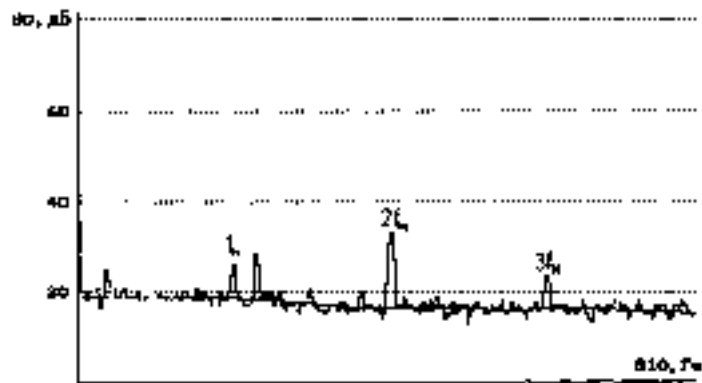


Рисунок 5.14

Приклад виявлення перекосу зовнішнього кільця підшипника за спектром обвідної

Якщо ж навантаження на підшипник змінює свій напрям (наприклад, обертається з частотою $f_{вр}$), то в складових спектру обвідної з частотами $kf_{вр}$ можуть з'явитись бокові складові, які відрізняються на частоти $\pm k_1 f_{вр}$.

В кінцевому підсумку знос кільця може призвести до утворення шпарин.

Шпарини, тріщини на зовнішньому кільці призводять до появи коротких уданих імпульсів при контакті кожного тіла кочення із шпариною (тріщиною). Внаслідок цього з'являється ряд гармонік з частотою $kf_{вр}$ в спектрі високо-частотної вібрації, а кількість цих гармонік достатньо велика при слабкому їх зниженню при зростанні k (рис. 5.16).

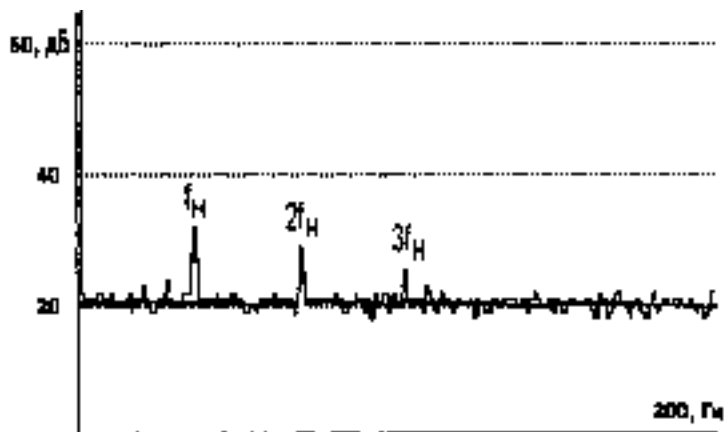


Рисунок 5.15

Приклад виявлення зносу зовнішнього кільця підшипника за спектром обвідної

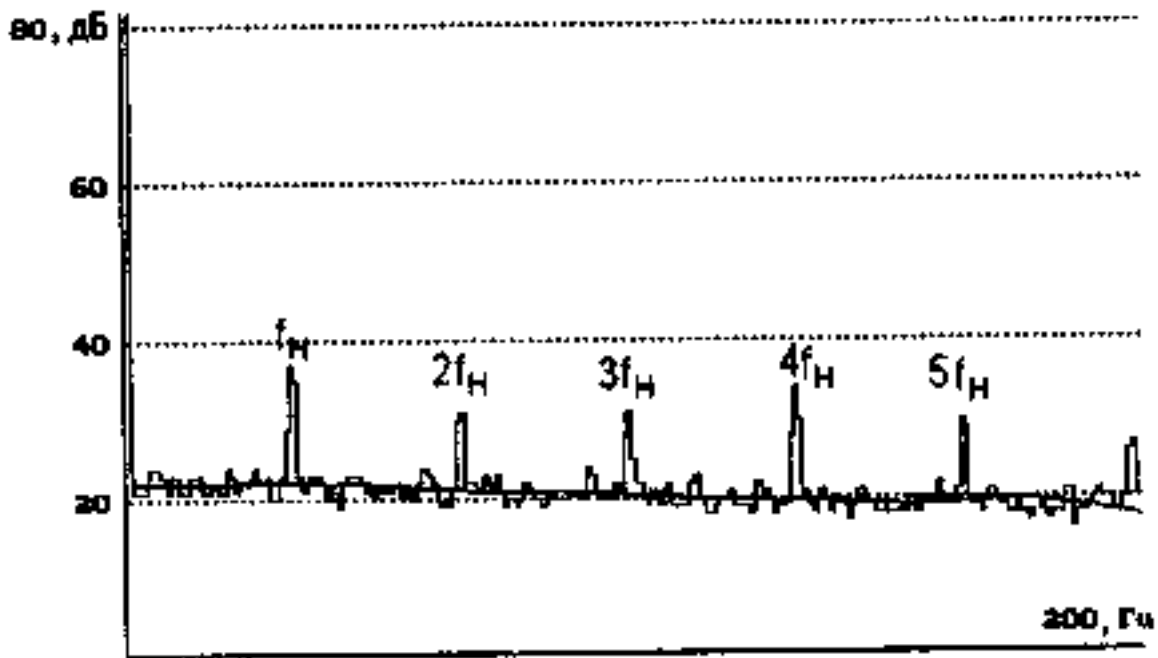


Рисунок 5.16

Приклад виявлення шпарин (тріщин) на зовнішньому кільці за спектром обвідної

Розподілити ознаки шпарин і тріщин дуже складно. Відмітною ознакою тріщин є лише те, що цей вид дефекту скоріше розвивається, що надає можливість встановити наступними вимірюваннями.

Знос внутрішнього кільця частіше всього відбувається локально, але зона підвищеного коефіцієнта тертя охоплює область, яка перевищує відстань між точками контакту найближчих двох тіл кочення, і модуляція сил тертя відбувається за частотою $f_{вр}$ сильніше, ніж з частотою $f_{в}$. Тому при діагностуванні внутрішнього кільця діагностичною ознакою є поява в спектрі обвідної ряду гармонік з частотами $kf_{вр}$. При зносі кільця частіше всього зростає і високочастотна вібрація, що є додатковою ознакою дефекту.

Шпарини (тріщини) на внутрішньому кільці призводять до появи коротких ударних імпульсів при контакті кожного тіла кочення із шпариною (тріщиною). При цьому в спектрі обвідної вібрації з'являється ряд гармонік з частотами $kf_{вр}$. Крім того, при слабкому радіальному натягу в підшипнику величина удару залежить від навантаження і, як наслідок, у ряда гармонік в спектрі обвідної з'являються бокові складові, що відрізняються на $\pm k_1 f_{вр}$. (рис. 5.17).

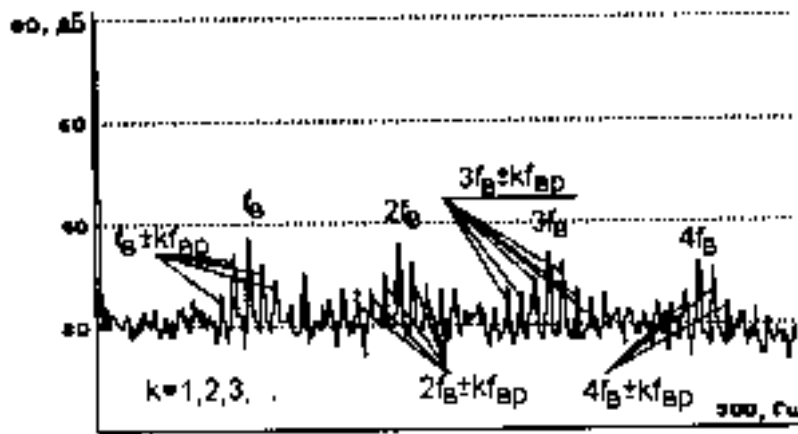


Рисунок 5.17

Приклад виявлення шпарин на внутрішньому кільці за спектром обвідної

Розпізнають шпарини і тріщини за побічними ознаками. Ознакою тріщини при цьому вважають одночасну появу великої кількості гармонік $kf_{вр} \pm k_1f_{вр}$ з великою кількістю гармонік $kf_{вр}$, що виникають через збільшення радіуса внутрішнього кільця в зоні його розриву (рис. 5.18).

Знос тіл кочення і сепаратора має різні діагностичні ознаки. Ознакою зносу тіл кочення є поява в спектрі обвідної вібрації гармонічної складової з частотою f_c (при статичному односторонньому навантаженні на підшипник) чи $f_{вр} - f_c$ (при обертальному навантаженні). Складові з кратними гармоніками по мірі зростання кратності швидко зменшуються за амплітудою (рис. 5.19).

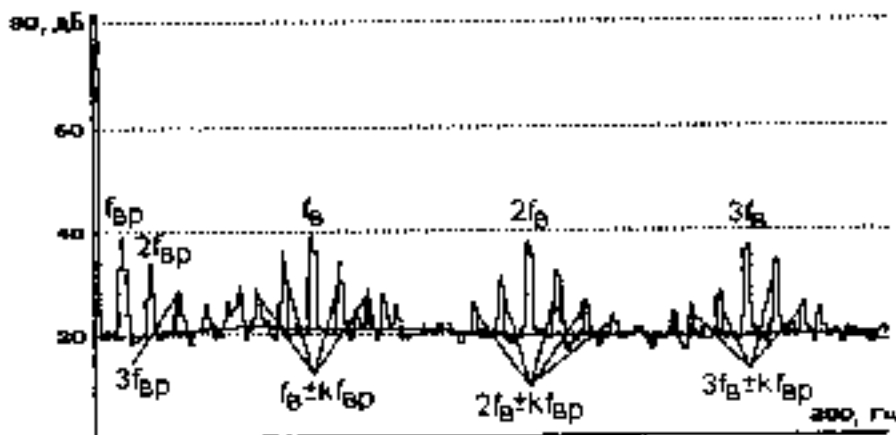


Рисунок 5.18

Приклад виявлення тріщин на внутрішньому кільці за спектром обвідної

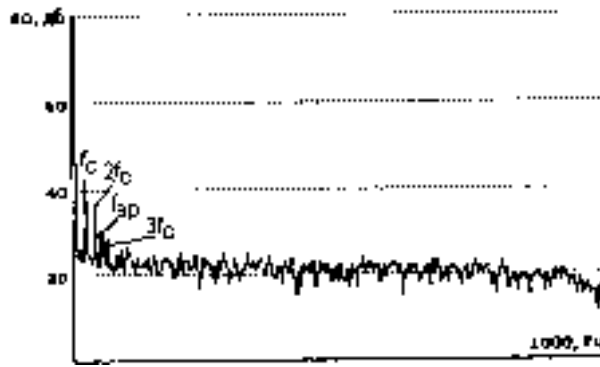


Рисунок 5.19

Приклад виявлення зносу тіл кочення і сепаратора за спектром обвідної

Ця ознака може слугувати і в якості побічної ознаки зносу ділянки сепаратора, яка контактує з дефектним тілом кочення. Для безпосереднього вимірювання величини зносу сепаратора можуть застосовуватись інші методи [2].

Шпарини, сколювання на тілах кочення супроводжуються появою і зростанням ударних імпульсів, що діють між тілом і кожною із поверхонь кілець, внаслідок чого основна частота ударів дорівнює $2f_H$. Але оскільки амплітуда ударних імпульсів при контакті з обома кільцями може різнитись і залежати від кута повороту сепаратора (від дії навантаження), то спектр обвідної вібрації буде мати ряд складових з частотами $k_1 \cdot f_{TK} \pm k_2 f_C$, а амплітуди складових з парними k_1 більші, ніж з непарними (рис. 5.20).

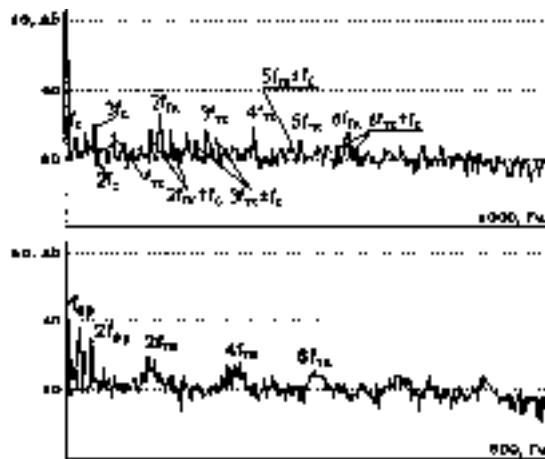


Рисунок 5.20

Приклад виявлення шпарин і сколювань на тілах кочення підшипників за спектром обвідної

Проковзування кільця в посадковому місці підшипника може виявлятися лише у тих випадках, якщо воно відбувається в момент вимірювання вібрацій. Сам факт наявності проковзування може свідчити про те, що підшипник заклинило і сепаратор не обертається відносно кільця підшипника. Діагностичною ознакою цього явища є зростання високочастотної вібрації і удару з частотами $kf_{вр}$, причому, удари з іншими частотами відсутні (рис. 5.21).

Дефект є дуже небезпечним і вимагає негайної зупинки і заміни підшипника (але його складно відрізнити від дефектів інших вузлів машини і муфт, зубчастих передач і інше).

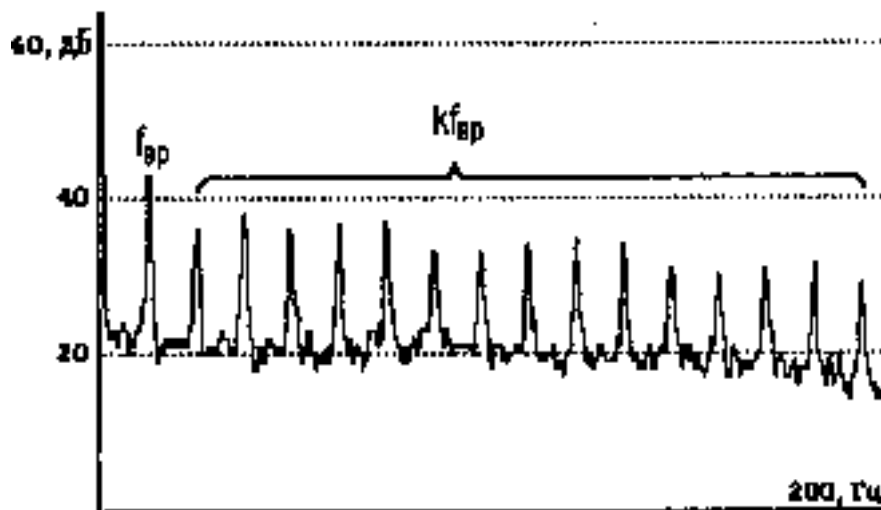


Рисунок 5.21

Приклад виявлення проковзування зовнішнього кільця за спектром обвідної

Дефекти змащування призводять до зростання високочастотної вібрації підшипника, що і є їх основною діагностичною ознакою. Причому, якщо цей дефект є єдиним, то в спектрі обвідної вібрації будуть відсутні середні і сильні дефекти інших типів.

Складний (збірний) дефект підшипника містить в собі діагностичні ознаки появи і більше розвинених дефектів для тих випадків, коли їх ознаки розглядаються не незалежно, а призводять до появи в спектрі гармонік з різними комбінаційними системами. Такі ознаки, зазвичай, з'являються при шпаринах на зовнішньому кільці, при сильному зносі останнього і обертальному навантаженні на підшипник, при автоколиваннях ротора з одночасним сильним зносом кільця, при наявності шпарин на зовнішньому і внутрішньому кільцях і

додатковому осьовому зусиллі на підшипник. В цю групу дефектів зведено ознаки складних дефектів, які з'являються достатньо рідко, але їх поява дає додаткову інформацію про те, що кількість розвинених дефектів в підшипнику більше 1.

2.5. Діагностика редукторів

В автоматичному діагностуванні машин роторного типу, в тому числі і редукторів, одним із світових лідерів є «АО ВАСТ» (Росія, Санкт-Петербург), розробки якого супроводжуються високоякісними методичними матеріалами. Ця методика діагностування описана і в роботі [2].

Тому вважається за доцільне привести ці матеріали без суттєвої переробки (в методичному плані виписки із методики діагностування вузлів роторних механізмів, що використовуються в діагностичних комплексах, які поставляються «ООО ВАСТ Санкт-Петербург»).

2.5.1. Вплив дефектів на вібрацію редуктора

Основними вузлами редуктора, що зазнають динамічних навантажень і піддаються зносу, є шестерні, підшипники і муфти, які поєднують редуктор з іншими об'єктами. Дефекти шестерней і зубчастих зачеплень призводять до появи вимушених сил різної природи. Це можуть бути кінематичні сили через відхилення форми зубців від розрахункової в зоні механічного контакту, ударні дії, що визначаються зміненням зазорів в зоні зубчастого зачеплення, параметричні сили через змінення жорсткості зубців в зоні зачеплення, а також сили тертя між контактуючими поверхнями.

Практично всі основні види дефектів шестерен і зубчастих зачеплень, що впливають на ресурс останніх, приводять до змінення коливальних сил, які діють в зачепленні, і динамічних навантажень на шестерні і їх підшипники. Це свідчить про те, що такі дефекти можуть бути виявленими за параметрами вібрації редукторів.

В перелік дефектів шестерней і зубчастих зачеплень, що виникають при складанні, монтажі і експлуатації входять:

- биття шестерні;
- знос зубців шестерні;
- тріщини і сколювання на зубцях, відсутність окремих зубців;
- зміщення точок контакту зубців;
- дефекти змащування поверхонь тертя.

Другий і третій дефекти, як правило, співпадають за видом впливу на вібрацію, а різниця між ними визначається лише глибиною цього впливу.

Оскільки в склад редуктора входять не менше двох шестерней, то перші три дефекти можуть виникати на будь-якій шестерні і збудувати вібрацію на різних частотах, Частоти вібрації збудовання залежать і від того, чи нерухома вісь обертання шестерні відносно корпусу редуктора, чи вона переміщається в просторі (як це властиво планетарним редукторам).

На рис. 5.22 наведена найпростіша схема двоступінчастого редуктора, в якому осі шестерней нерухомі, а на кожній осі установлені одна, або дві шестерні.

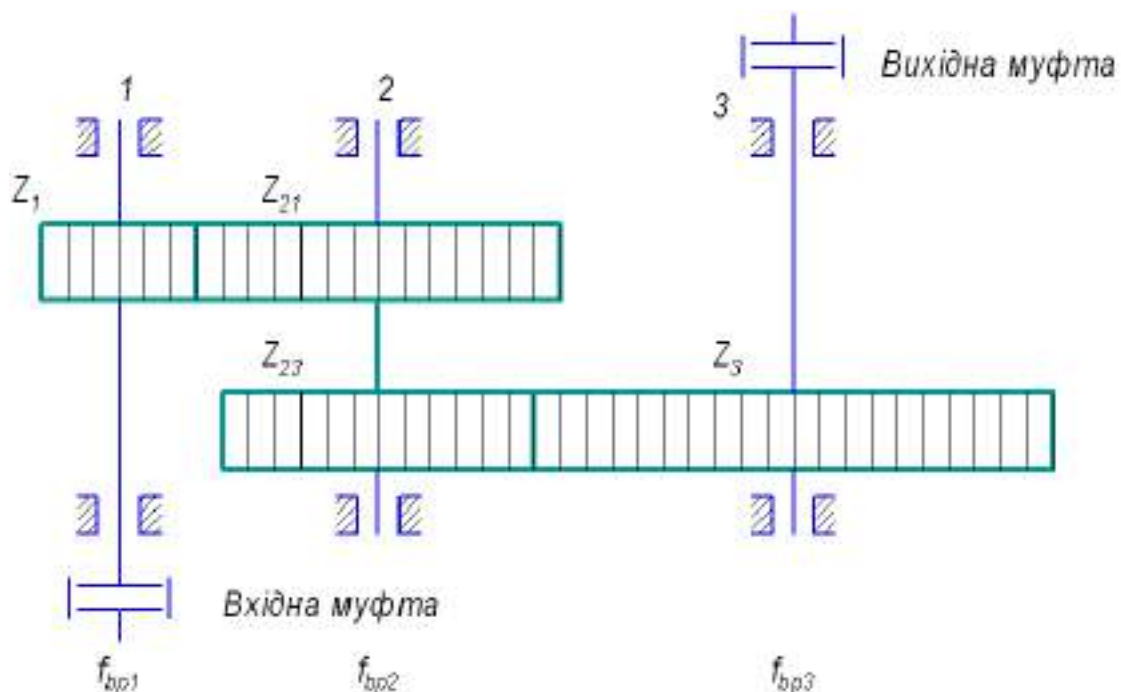


Рисунок 5.22

Схема двоступінчастого циліндричного редуктора

Частоти обертання осей визначаються за наступними формулами:

$$f_{вр2} = f_{вр1} (z_1/z_{21}),$$

$$f_{\text{вр3}} = f_{\text{вр2}}(z_{23}/z_3) = f_{\text{вр1}}(z_1 \cdot z_{23}/z_{21} \cdot z_3), \quad (5.1)$$

де $f_{\text{вр1}}$, $f_{\text{вр2}}$, $f_{\text{вр3}}$ — частоти обертання першої, другої і третьої осей редуктора відповідно;

z_1 , z_3 — число зубців на шестернях першої і третьої осей редуктора;

z_{21} — число зубців на шестерні другої осі редуктора, що перебуває в зачепленні з шестернею першої осі;

z_{23} — число зубців на шестерні другої осі редуктора, що перебуває в зачепленні з шестернею третьої осі.

Для визначення частот примусових сил і вібрації шестерен необхідно визначити ще частоти зубців. На приведеному рисунку редуктора їх дві за числом ступенів:

$$\begin{aligned} f_{z1} &= f_{\text{вр1}} \cdot z_1 = f_{\text{вр2}} \cdot z_{21}, \\ f_{z2} &= f_{\text{вр2}} \cdot z_2 = f_{\text{вр3}} \cdot z_3 = f_{\text{вр1}}(z_1 \cdot z_{23}/z_{21}), \end{aligned} \quad (5.2)$$

де f_{z1} — частота зубців першого ступеня редуктора;

f_{z2} — частота зубців другого ступеня редуктора.

Подібним чином складається схема редуктора з будь-якого кількістю ступенів. Якщо будь-який із проміжних ступенів змінює лише напрямок обертання і на її i -ої осі установлена одна шестерня, то у виразах (5.1) і (5.2) для цієї осі $z_{i,i-1}$ і $z_{i,i+1}$ вважаються однаковими і рівними числу її зубців.

Головною відмінністю впливу дефектів шестерней і зачеплень на вібрацію є той факт, що цей вплив відбивається практично на всіх вузлах редуктора. Оскільки мінімальне значення частоти обертання зубчастих колес і максимальне значення частот зубців можуть відрізнятися на декілька порядків, з'являються проблеми, що поєднані з обмеженим числом частотних смуг аналізатора спектра (400, 800 чи 1600 Гц), яких не достає для діагностичних вимірювань у всьому діапазоні частот складових вібрації. Останні спричиняються дефектами шестерней редуктора. Тому виникає необхідність в деяких точках вимірювати вібрацію, в двох різних смугах частот і погоджувати результати діагностування, які отримані за даними вимірювань в кожній з них.

Вплив дефектів шестерней редукторів на їх вібрацію належить розглянути окремо для редуктора з нерухомими в просторі осями шестерней і з шестернями, осі яких переміщуються в просторі (планетарні редуктори). В даному посібнику розглядаються лише редуктори першого виду. З методологією діагностування другого типу можна ознайомитись в роботі [2].

Особливістю будь-якого зубчастого зачеплення є дія на нього постійного навантаження, що передається через редуктор, і динамічного навантаження при вході і виході із зачеплення кожного зубця шестерні. Частота ударів дорівнює частоті зубців, а амплітуда і форма кожного удару може різнитись. Ця різниця зростає в міру зносу зубців, появи в них тріщин і, тим більш, при відсутності будь-яких частин зубця. Якщо, наприклад, величина і форма ударів для всіх зубців, крім одного, однакові, то це еквівалентно появи одного разу за оберт шестерні додаткового удару, частіше «негативного» і тоді, крім ряду гармонік вібрації частоти зубців, з'являється ряд гармонік вібрації на частотах кратних частоті обертання шестерні.

Таким чином, при появі дефектів змінюється форма або всіх, або частини ударних імпульсів, які виникають при вході зубців в зачеплення. Одною із основних причин ударів є динамічне навантаження на шестерню при вході зубців в зачеплення. Якщо тільки це навантаження порівняне за величиною зі статичним навантаженням, воно впливає і на сили тертя в підшипнику цієї шестерні. Отже, крім змінень в спектрі вібрації редуктора, при появі дефектів шестерні можливі змінення і в спектрі обвідної випадкової вібрації підшипників цієї шестерні.

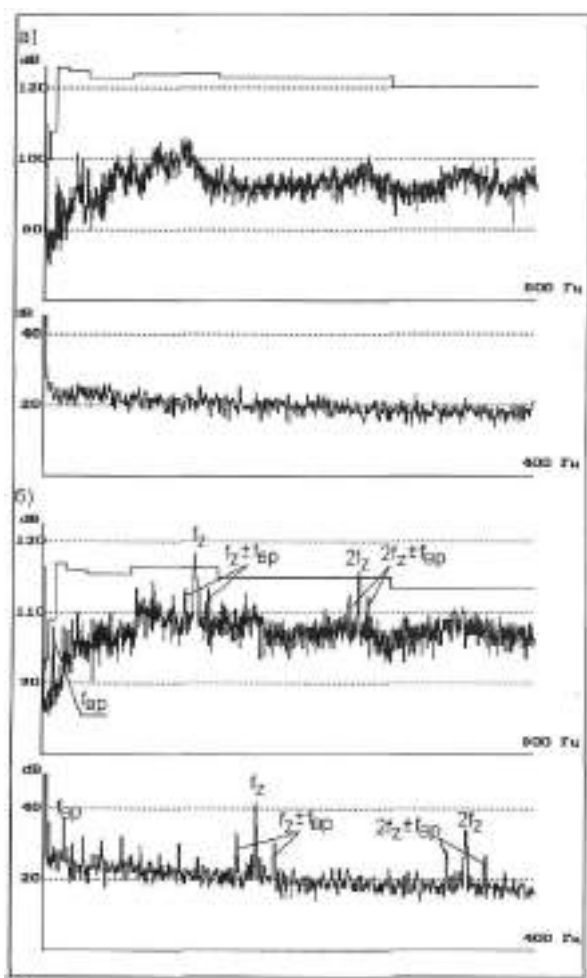
Розглянемо, як може впливати на вібрацію редуктора і її обвідної кожний із вказаних видів дефектів, що виникають при монтажі чи експлуатації редуктора.

Биття вала (шестерні) — перший серед цих дефектів, під яким розуміється неправильна посадка шестерні на вал чи непаралельність шестерней, що входять в зачеплення, через які площа контакту зубців залежить від кута повороту шестерні з даним дефектом. Серед основних причин появи цього дефекту при монтажі можна відмітити невідповідність діаметрів посадкового отвору шестерні і діаметра вала, яке призводить або до зміщення осей шестерні і вала, або до перекосу шестерні. Крім того, в процесі експлуатації при появі перевантажень

редуктора може деформуватись вал. Дія биття вала на вібрацію полягає в плавному змінненні величини ударних імпульсів при вході зубців в зачеплення з частотою обертання дефектної шестерні. Внаслідок цього вібрація на частоті зубців приймає амплітудну модуляцію і в її спектрі у складовій частоті зубців з'являються бокові складові, які відстають на частоту обертання шестерні. Бокові складові, що відстають на подвійну частоту обертання, виявляються значно меншими, ніж це показано на рис. 5.23.

В цьому випадку, якщо має місце сильна деформація вала, і при певному куті повороту шестерні зубців, що входять в зачеплення, різко збільшується радіальне навантаження на осі обох шестерней, зростають сили тертя в підшипниках і в спектрі обвідної високочастотної вібрації двох шестерней з'являються складові з частотою обертання дефектної шестерні.

Дефекти шестерні — неоднорідний знос зубців, тріщини і сколювання на них, відсутність окремих зубців. При неоднорідному зносі виникають зони шестерні з підвищеним зносом. Внаслідок цього, при попаданні зубців даної зони в зачеплення, удари при вході кожного зубця будуть різними, але їх величина різко зростає чи падає в порівнянні з ударами при вході в зачеплення зубців без зносу. Приблизно така ж ситуація виникає і тоді, коли в зубці є тріщина чи зубець відсутній. Таким чином, вібрація зубців приймає амплітудну модуляцію з періодом, який визначається частотою обертання дефектної шестерні, але вже не плавну, як при битті шестерні, а стрибкоподібну, і

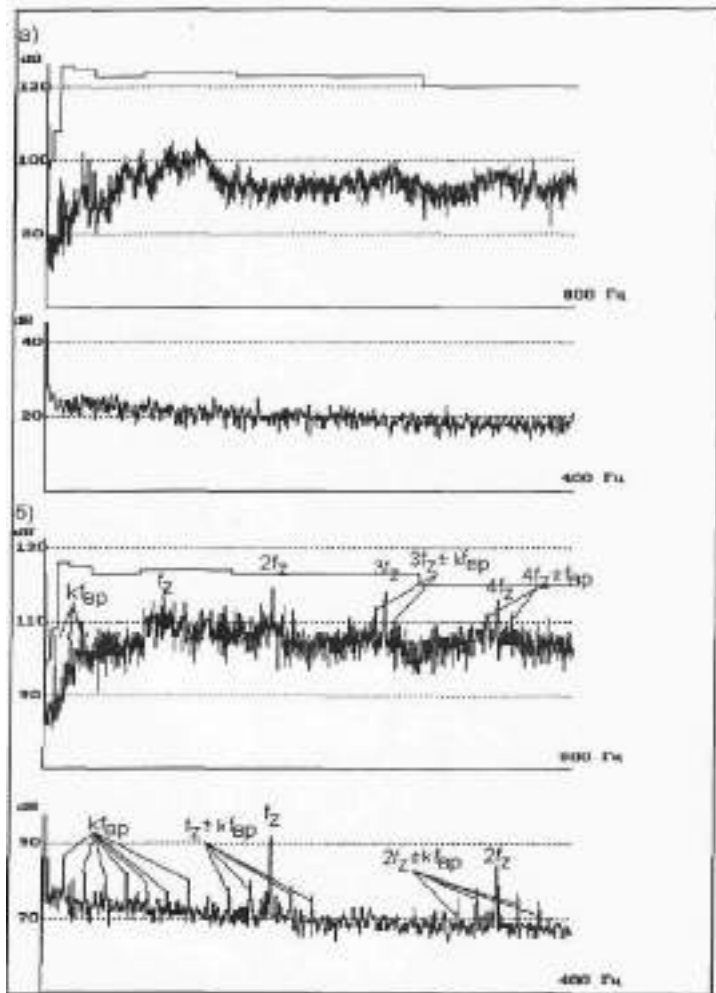


а — бездефектний редуктор;
б — редуктор з биттям ведучої шестерні.

Рисунок 5.23

Спектри вібрації підшипника редуктора і її обвідної при битті вала (шестерні)

в спектрі вібрації гармонік зубців з'являється велика група бокових складових, що відстають від центральної на $kf_{вр}$, як це вказано на рис. 5.24.



a — бездефектний підшипник;
б — редуктор з відсутнім зубом

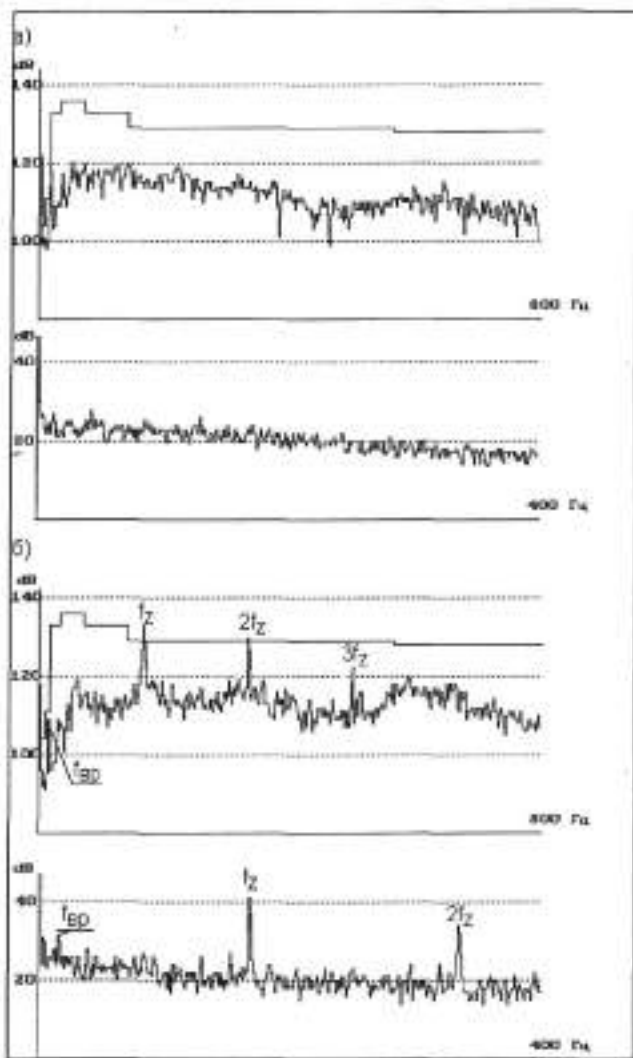
Рисунок 5.24

Спектри вібрації підшипника редуктора і її обвідної при відсутності одного зуба

При зносі зубців чи тріщині в одному з них з цим же періодом стрибкоподібно змінюється навантаження на підшипники. Тому в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипників з'явиться група складових з частотами, що кратні частоті обертання дефектної шестерні.

Дефекти зачеплення мають загальну ознаку — зміщення точок контакту зубців відносно розрахункової. Причиною цього є, наприклад зміщення шестерней одної відносно другої поздовж осей обертання, в площині обертання шестерней або під кутом. Найбільш часто ці види дефектів з'являються при складанні редуктора, але можуть з'явитись і під час експлуатації (частіше через знос підшипника, внаслідок чого осі шестерней зміщуються).

Внаслідок цього зона контакту відрізняється від розрахункової і динамічні сили, що діють на зубці, зростають. В зв'язку з цим зростає рівень гармонік вібрації зубців, але не зростають бокові складові з частотою обертання будь-якої із шестерней (рис. 5.25). На спектрі обвідної вібрації підшипників такий дефект не може з'явитись.



*а — бездефектний редуктор;
б — редуктор з дефектом
зчеплення шестерней*

Рисунок 5.25

*Спектри вібрації підшипника
редуктора і її обвідної при
дефектах зчеплення*

виявити ці дефекти можливо за зростанням рівней відповідних складових спектра вібрації редуктора.

Більшість із дефектів можна виявити і за появою амплітудної модуляції випадкової вібрації підшипників. Належить відмітити, що обмежуватись вимірюваннями спектрів низькочастотної і середньочастотної вібрації редукторів і їх підшипників при виявленні дефектів неможливо, оскільки в будь-якій точці контролю на вібрацію впли-

Дефекти змащування — остання група дефектів приводить до порушення умов змащування зубців в зоні зачеплення. Така група дефектів за своєю дією на вібрацію редуктора слабо відрізняється від попередньої, а, отже, супроводжується зростанням гармонік вібрації зубців. Іноді ці дві групи дефектів вдається розрізнити за відношенням амплітуд перших трьох гармонік вібрації зубців. При дефектах змащування друга і третя гармоніки зростають зазвичай значно повільніше, ніж перша, і, якщо відсутні резонанси на цих гармоніках, вони слабо вирізняються на тлі інших складових вібрації редуктора.

Останні двоє дефектів можуть не приводити до появи динамічних навантажень на підшипники, і в спектрі обвідної випадкової вібрації підшипників може не бути гармонік зубців.

Виконаний аналіз впливу дефектів шестерней і зачеплень на вібрацію показує на те, що

вають дефекти всіх шестерней і підшипників редуктора, що ускладнює їх ідентифікацію. В той же час на параметри модуляції випадкової вібрації кожного підшипника впливають тільки його дефекти і дефекти двох-трьох найближчих до цієї точки шестерней.

2.5.2. Вибір точок контролю вібрації і діагностичних ознак

Динамічні сили, що виникають в редукторах при наявності дефектів, передаються на корпус, головним чином, через підшипники шестерней. Тому підшипники є тими вузлами редукторів, вібрація яких змінюється при дефектах шестерней, валів, муфт і власне підшипників. Таким чином, точки контролю вібрації редуктора рекомендується вибирати на корпусі підшипникових вузлів по одній на кожному вузлі [2].

При цьому вкрай важливо правильно вибрати напрям вимірювання вібрацій. В одноступінчастих редукторах рекомендується вібрацію вимірювати в радіальному до осей обертання шестерней напрямку і в площині, що проходить через ці осі. Проблеми у виборі напрямлення виникають в багатоступеневих редукторів, в яких осі шестерней не перебувають в одній площині, і в кутових редукторах, в яких осі шестерней розташовуються під кутом одна до іншої. В цьому випадку рекомендується мінімізувати кути між напрямками вимірювань і передачі статичного навантаження.

В якості прикладу на рис. 5.26 показано кращі напрямки вимірювань вібрації у багатоступеневих редукторах.

Відмічається, що при діагностуванні редукторів за спектром обвідної вібрації їх підшипників основні ознаки дефектів належить визначати параметрами високочастотної вібрації підшипника, а для їх визначення вибір напрямків вимірювання вібрації не є дуже важливим [2]. Значно важливішим тут є вибір точок установлення датчиків вібрації, до яких високочастотна вібрація має доходити з мінімальними втратами.

При діагностуванні редукторів за спектром низькочастотної вібрації напрямки вимірювань належить вибирати перпендикулярно осі обертання і зустрічно до напрямку прикладання навантаження.

Ще одна рекомендація до вибору точок вимірювань вібрацій редуктора стосується вибору реперних точок, за якими здійснюється моніторинг його стану. Оскільки при деяких дефектах шестерней може виникати їх вібрація в осьовому напрямку, але вона не використовується при глибокій діагностиці вузлів редуктора, рекомендується хоча б одну із реперних точок вибирати таким чином, щоб напрямок вимірювань дозволяв виявлення зростання рівня осьової вібрації будь-якої із шестерней редуктора.

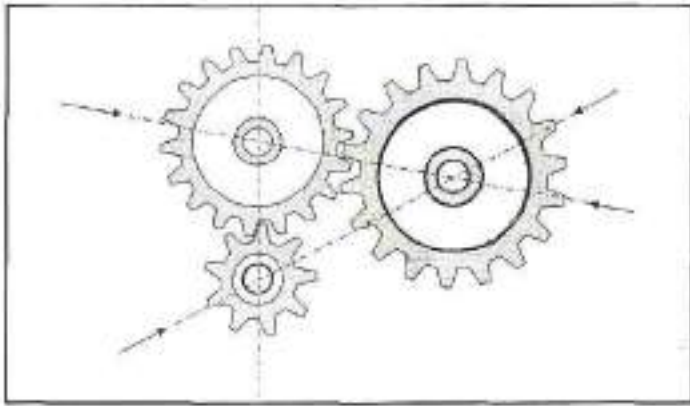


Рисунок 5.26

Кращі напрями вимірювання вібрацій

Для того, щоб не спотворювати результати діагностування за спектром обвідної, смугу частот фільтра детектора обвідної рекомендовано вибирати в діапазоні п'ятої гармоніки, що є максимальною серед частот зубців редуктора. Але на таких високих частотах випадкова вібрація підшипника може бути настільки слабкою,

що виявиться низкою за власні шуми вимірювальної апаратури. Тому необхідно вибирати точки вимірювання вібрацій таким чином, щоб сигнал в смугі фільтра не мав явних гармонічних складових, був вищим на тлі апаратури і у відсотковому відношенні його рівень був не меншим одного відсотка від рівня максимальної складової спектра вібрації редуктора.

Розглянемо список дефектів, які можливі за вібрацією підшипникових вузлів редуктора. Першу групу дефектів відносять до дефектів шестерней, тобто їх зубців, валів і зубчастих зачеплень. Вона містить наступні дефекти:

- биття вала (шестерні);
- дефекти зубців великої шестерні;
- дефекти зубців малої шестерні;
- дефекти зачеплення великої шестерні;
- дефекти зачеплення малої шестерні;
- дефекти шестерней і зачеплень на інших осях редукторів.

Другу групу дефектів відносять до підшипників ковзання, якщо вони установлені на осі редуктора, що підлягає діагностуванню. Вона містить наступні дефекти:

- знос підшипника;
- удари в підшипнику;
- дефекти змащування.

Третя група дефектів поєднана з підшипниками кочення, якщо вони установлені на осі редуктора, що підлягає діагностуванню. Вона містить наступні дефекти:

- знос зовнішнього (нерухомого) кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього (обертального) кільця;
- шпарини, тріщини на внутрішньому кільці;
- дефекти тіл кочення і сепаратора;
- дефекти змащування.

Із останніх двох списків виходить, що вони є значно меншими, ніж списки дефектів підшипників тих машин, де відсутні зубчасті передачі. Це спричинено тим, що останні дефекти не завжди можуть бути розділеними за діагностичними ознаками з перерахованими дефектами шестерней, і тому вони поєднані з іншими видами дефектів в загальні групи.

Четверта група дефектів поєднана з муфтами, якщо вони розташовуються на осі діагностування. Всі дефекти муфти поєднують в одну групу, що називається «дефектом муфти». Ці дефекти входять до списку лише для тих осей редуктора, на яких вони установлені.

Далі розглядаються основні і додаткові ознаки, які використовуються в діагностичних програмах для виявлення і ідентифікації перерахованих дефектів редукторів з нерухомими в просторі осями шестерней.

Биття вала (шестерні) найпростіше виявити за спектром обвідної вібрації підшипників, в якому (тобто в спектрі) з'являються гармонічні складові з частотами $f_{вр}$ чи $kf_{вр}$ вала (шестерні), що підлягає діагностуванню. Додатковими ознаками цього дефекту, які використовуються для його виявлення за спектром вібрації і для визначення величини дефекту, є зростання вібрації редуктора на бокових частотах $kf_2 + f_{вр}$, де $f_{вр}$ — частота обертання дефектної шестерні.

Дефекти зубців шестерней надійно виявляються за ударними навантаженнями на осях двох шестерней, що входять в зачеплення. Частота цих ударних навантажень дорівнює частоті обертання дефектної шестерні. Якщо ці шестерні обертаються в підшипниках кочення, товщина мастильного шару в яких мала, то ударні навантаження призводять до появи модуляції сил тертя в підшипниках обох осей редуктора з частотою обертання дефектної шестерні i , тим самим, до появи ряду гармонік в спектрі обвідної вібрації підшипника. Число цих гармонік має бути більшим, причому гармоніки високої кратності до $k > 4$ не повинні бути значно слабкішими за гармоніки кратності $k < 4$. Вияснити, яка з двох шестерней осі діагностування має максимальний дефект зубців, можна двома шляхами. Перший полягає в контролі появи ударних навантажень на сусідні осі редуктора. Тут винувата в появі ударних навантажень та шестерня, яка входить в зачеплення з другою віссю, що зазнає динамічних навантажень з частотою обертання осі, яка підлягає діагностуванню. Другий шлях полягає в аналізі гармонік зубців вібрації, в яких при дефекті зубців шестерні, що входить в зачеплення, з'являється велика група бокових складових з відмінними частотами.

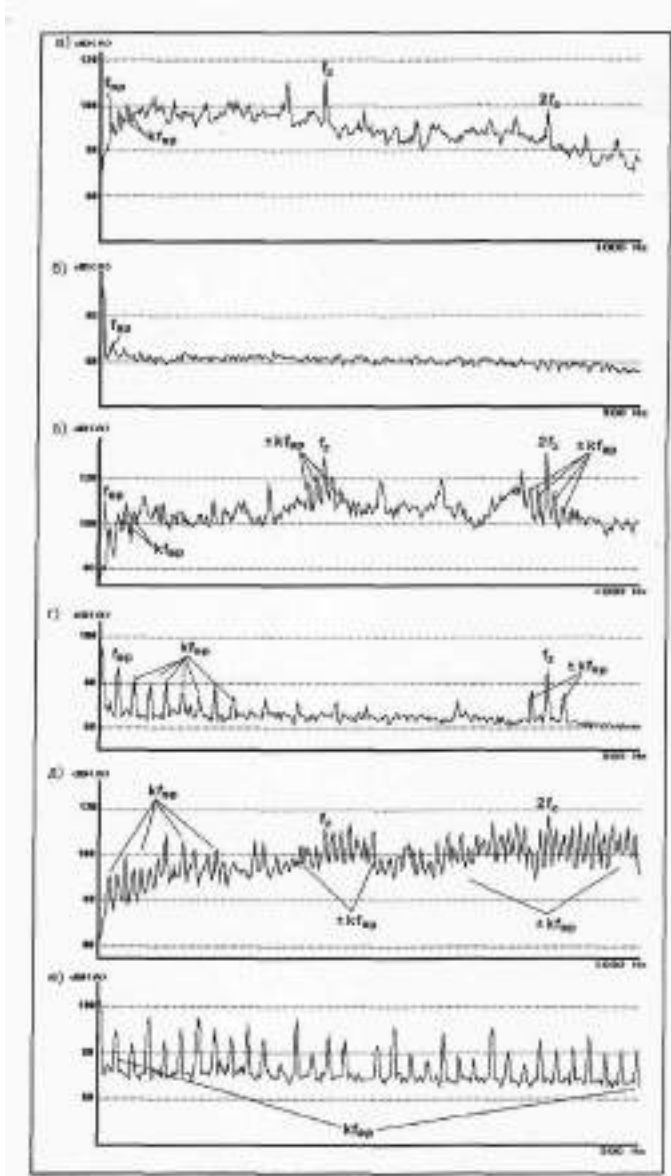
Проблеми з ідентифікацією дефектів зубців шестерень можуть виникнути в двох випадках.

Перший випадок — використання в редукторах підшипників ковзання з великою товщиною мастильного шару, коли навантаження на підшипник слабо змінює сили тертя і слабо моделює випадкову вібрацію підшипника. Основним шляхом ідентифікації виду дефекту і визначення його степеню розвитку є аналіз бокових складових вібрації зубців.

Другий випадок — наявність на осі діагностування муфти (особливо зубчастої). Дефекти цієї муфти також приводять до появи ударних навантажень на підшипники і зростанню низькочастотної вібрації на частотах $kf_{вр}$, проте вони практично не змінюють гармоніки вібрації зубців, а також її бокові складові.

На рис. 5.27 приведено спектри вібрації і обвідної її високочастотних складових для одного і того ж підшипника ковзання однакового типу редукторів з шестернями і муфтою без дефектів, з шестернею, що має дефект зубців, і муфтою з дефектом. Ці спектри ілюс-

тують змінення, які використовуються в якості основних і додаткових ознак дефектів зубців шестерні і дефектів муфти.



а, б — бездефектний редуктор; в, г — редуктор з дефектом шестерні на першій осі; д, е — редуктор з дефектом зубчастої муфти на першій осі

Рисунок 5.27

Спектри вібрації з обвідною її високочастотних складових підшипникового вузла редуктора

Дефекти зачеплення шестерней — виявляють за зростанням складових вібрації зубців при кратності $k = 1, 2, 3$ в спектрі вібрації. Додатковою ознакою є поява складових вібрації зубців в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника, які, проте, з'являються не у всіх випадках, коли є дефект зачеплення. Основна відмінність діагностичних ознак дефекту зачеплення від дефектів зубців шестерней полягає у відсутності у першому випадку помітного зростання на гармоніках частоти обертання шестерні і помітних бокових гармонік у складових вібрації зубців.

Дуже частим випадком є одночасна поява ознак дефектів зубчастого зачеплення і підшипника. Це добре відповідає найбільш час-

тому дефекту-зносу підшипника, внаслідок якого вісь обертання шестерней зміщується і, як наслідок, зміщуються точки контакту зубців в зачепленні.

Оскільки за результатами вимірювання спектрів вібрації і її обвідної в одній точці на корпусі підшипникового вузла необхідно ставити діагноз стану трьох частин редуктора, а саме вала з шестернями, підшипника і муфти, якщо остання розташована на осі вала діагностування, необхідно визначити зведені діагностичні ознаки дефектів всіх вузлів в спектрах вібрації і її обвідної. Ці ознаки для редукторів з підшипниками ковзання зведені в табл. 5.1, а для редукторів з підшипниками кочення — в табл. 5.2. В таблицях наведені тільки частоти тих складових спектрів, які з'являються чи зростають при появі (зростанні) розглянутих дефектів.

2.5.3. Вибір періодичності вимірювань, режимів роботи редукторів і порогових значень дефектів

Періодичність діагностичних вимірювань в діагностичних програмах визначає користувач, виходячи із наявної у нього інформації про швидкості розвитку дефектів від моменту виявлення (слабкий дефект) до передаварійного стану.

Досвід діагностування редукторів показує, що швидкість розвитку дефектів в значній мірі залежить від конструктивних особливостей редуктора, наявності в ньому дефектів виготовлення і складання, умов експлуатації, особливо від кількості пусків і стрибків навантаження в міжремонтний період. Але у більшості випадків швидкість розвитку дефектів підшипників редуктора вище швидкості дефектів шестерней, тому періодичність вимірювань має визначатись станом і швидкістю розвитку дефектів.

Рекомендується витримувати інтервал між вимірюваннями від одного до трьох місяців [2]. За аналогією діагностування підшипників при виявленні дефектів шестерней і зачеплень, якщо вони не перевищили поріг середнього, можна не змінювати інтервал між вимірюваннями. При середніх дефектах інтервал між вимірюваннями рекомендується скорочувати в 2 рази, при сильних — ще в три рази.

Таблиця 5.1

Частоти складових спектрів вібрації і її обвідної для виявлення і ідентифікації дефектів редукторів з нерухомими осями обертання зубчастих коліс в підшипниках ковзання

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	Додаткові	Основні	Додаткові
1	Биття вала (муфти)	kf_{ep1}	$kf_{z1} \pm f_{ep1}$ $kf_{z2} \pm f_{ep1}$ немає зростання ВЧ	kf_{ep1}	$kf_{z1} \pm f_{ep1}$ $kf_{z2} \pm f_{ep1}$ немає зростання ВЧ
2	Дефект великої шестерні	kf_{ep1} $k > 4$	$kf_{z1} \pm f_{ep1}, k > 1$ немає зростання ВЧ	kf_{ep1} $k > 4$	$kf_{z1} \pm f_{ep1}, k > 1$ немає зростання ВЧ
3	Дефект малої шестерні	kf_{ep1} $k > 4$	$kf_{z2} \pm f_{ep1}, k > 1$ немає зростання ВЧ	kf_{ep1} $k > 4$	$kf_{z2} \pm f_{ep1}, k > 1$ немає зростання ВЧ
4	Дефект зачеплення великої шестерні	kf_{z1}	немає зростання kf_{ep1} немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{ep1}$, немає зростання ВЧ	kf_{z1}	немає kf_{ep1} немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{ep1}$, немає зростання ВЧ
5	Дефект зачеплення малої шестерні	kf_{z2}	немає зростання kf_{ep1} немає $kf_{z2} \pm k_1 f_{ep1}$, немає зростання ВЧ	kf_{z2}	немає kf_{ep1} немає $kf_{z2} \pm k_1 f_{ep1}$, немає зростання ВЧ
6	Дефекти на другій осі	$kf_{ep2}, kf_{ep3} \dots$ kf_{z3}, kf_{z4}, \dots	немає зростання ВЧ	$kf_{ep2}, kf_{ep3} \dots$ kf_{z3}, kf_{z4}, \dots	немає зростання ВЧ
7	Знос підшипника	kf_{ep1}	зростання ВЧ	$kf_{ep1}, k > 7$ підйом спектра на $НЧ_0$	зростання ВЧ

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	Додаткові	Основні	Додаткові
8	Удари в підшипни- ку	kf_{ep1}	зростання ВЧ	$kf_{ep1}, k > 7$	зростання ВЧ
9	Дефекти змащува- ння підшипника	зростання ВЧ	немає зростання kf_{ep1}	зростання ВЧ	немає ліній в спектрі
10	Неідентифіковані дефекти	зростання інших гармонічних складових			

де, f_{ep1} — частота обертання осі редуктора, що підлягає діагностуванню;
 kf_{z3}, kf_{z4} — інші частоти зубців редуктора;
 kf_{ep2}, kf_{ep3} — частоти обертання інших осей редуктора;
ВЧ — високочастотні складові;
 f_{z1} — частота зубців великої шестерні;
 f_{z2} — частота зубців малої шестерні;
НЧ₀ — низькочастотні складові спектра обвідної;
 $k = 1, 2, 3, \dots; k_1 = 1, 2, 3, \dots$

Таблиця 5.2

Частоти складових спектрів вібрації і її обвідної для виявлення і ідентифікації дефектів редукторів з нерухомими осями обертання зубчастих коліс в підшипниках кочення

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	Додаткові	Основні	Додаткові
1	Биття вала (муфти)	$kf_{\text{вп1}}$	$kf_{z1} \pm f_{\text{вп1}},$ $kf_{z2} \pm f_{\text{вп1}},$ немає зростання ВЧ	$kf_{\text{вп1}}$	$kf_{z1} \pm f_{\text{вп1}},$ $kf_{z2} \pm f_{\text{вп1}},$ немає зростання ВЧ
2	Дефект великої шестерні	$kf_{\text{вп1}},$ $k > 4$	$kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}, k_1 > 1,$ немає зростання ВЧ	$kf_{\text{вп1}}$ $k > 4$	$kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}, k_1 > 1,$ немає зростання ВЧ
3	Дефект малої шестерні	$kf_{\text{вп1}},$ $k > 4$	$kf_{z2} \pm k_1 f_{\text{вп1}}, k_1 > 1,$ немає зростання ВЧ	$kf_{\text{вп1}}$ $k > 4$	$kf_{z2} \pm k_1 f_{\text{вп1}}, k_1 > 1,$ немає зростання ВЧ
4	Дефект зачеплення великої шестерні	kf_{z1}	немає зростання $kf_{\text{вп1}},$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}$ немає зростання ВЧ	kf_{z1}	немає зростання $kf_{\text{вп1}},$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}$ немає зростання ВЧ
5	Дефект зачеплення малої шестерні	kf_{z2}	немає зростання $kf_{\text{вп2}},$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}$ немає зростання ВЧ	kf_{z2}	немає зростання $kf_{\text{вп2}},$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{\text{вп1}}$ немає зростання ВЧ
6	Дефекти на другій осі	$kf_{\text{вп2}}, kf_{\text{вп3}} \dots$ kf_{z3}, kf_{z4}, \dots	немає зростання ВЧ	$kf_{\text{вп2}}, kf_{\text{вп3}} \dots$ kf_{z3}, kf_{z4}, \dots	немає зростання ВЧ
7	Знос зовнішнього кільця	f_n	зростання ВЧ	f_n	зростання ВЧ

8	Шпарини на зовнішньому кільці	kf_n	зростання ВЧ	kf_n	зростання ВЧ
9	Знос внутрішнього кільця	kf_{ep1}	зростання ВЧ	kf_{ep1}	зростання ВЧ
10	Шпарини на внутрішньому кільці	C_v	зростання ВЧ	kf_v	зростання ВЧ
11	Дефекти тіл кочення і сепаратора	F_c чи kf_{mk}	зростання ВЧ	F_c чи kf_{mk}	зростання ВЧ
12	Дефекти змащування підшипника	зростання ВЧ	немає зростання $kf_{ep1}, kf_c, kf_v, kf_n,$ kf_{mk}	зростання ВЧ	немає ліній в спектрі
13	Не ідентифіковані дефекти	зростання інших гармонічних складових			

де, f_{ep1} — частота обертання осі редуктора, що підлягає діагностуванню;
 f_{ep2}, f_{ep3} — частоти обертання інших осей редуктора;
 f_{z1} — частота зубців великої шестерні;
 f_{z2} — частота зубців малої шестерні;
 f_{z3}, f_{z4} — інші частоти зубців редуктора;
 f_c — частоти обертання тіл сепаратора;
 f_n — частота перекочування тіл кочення по зовнішньому кільцю;
 f_v — частота перекочування тіл кочення по внутрішнього кільцю;
 f_{mk} — частота обертання тіл кочення;
ВЧ — високочастотні складові;
 $k = 1, 2, 3, \dots; k_1 = 1, 2, 3, \dots$

Головною ж рекомендацією з вибору режиму роботи редуктора при діагностуванні є забезпечення однієї із всіх швидкостей обертання під час кожного із періодичних вимірювань вібрації і однакової величини навантаження. Значення частоти обертання у всіх випадках мають вкладатись в діапазон на рівні $\pm 10\%$ від її середньої величини. При цьому стабільність частоти обертання під час одного вимірювання повинна бути не гірше 1% , в противному разі лінії в спектрах вібрації чи її обвідної „розмиваються“ і неможливо буде отримати вірогідні результати діагностування. Величина навантаження у всіх випадках також повинна витримуватись з точністю не гірше $\pm 20\%$ від її середнього значення.

Особливо належить зупинитись на рекомендаціях стосовно вибору навантаження на редуктор під час діагностування. Краще над все, якщо величина і напрям навантаження будуть тими ж, при яких відбувається основний знос шестерней і підшипників, тобто номінальними. При інших навантаженнях можуть змінюватись напрями дії навантаження на підшипники і змінюватись контактні поверхні зубців, що може знизити вірогідність діагностування і прогнозування. Якщо ж неможливо забезпечити номінальне навантаження редуктора при діагностуванні, то бажано хоча б зберегти напрям дії навантаження на зубці шестерней. В цьому випадку буде забезпечена мінімальна ймовірність „удаваної тривоги“ при збереженні мінімальної вірогідності пропускання таких небезпечних дефектів як тріщини і сколювання на зубцях шестерней.

Всі порогові значення, що використовуються для виявлення, ідентифікації виду і визначення глибини дефекту, задає користувач з урахуванням наявних статичних даних із діагностування редукторів з наступною їх візуальною дефектацією.

При діагностуванні редукторів по вузькосмуговому спектру вібрації задаються двоє порогових значень для кожного із діагностичних параметрів, один із яких визначає появу сильного дефекту, а інший — середнього. Порогові значення відраховуються від середнього значення параметра (середнього рівня складової спектру вібрації), що визначався за всіма попередніми вимірюваннями (не менше трьох). Із даних попередніх вимірювань автоматично усуваються похибки, які випадають за межі природнього розкиду випадкових величин (рівнів складових, що вимірюються в дБ віброприскорення). Величина

рекомендованого порогу сильного дефекту складає 20 дБ над середнім рівнем відповідної складової спектру. Рекомендоване значення порогів середнього дефекту в два рази менше і складає 10 дБ. Порівняльний аналіз різних алгоритмів діагностування машин за сигналом вібрації показує на те, що рекомендовані порогові значення відповідають загальноприйнятим значенням [2].

При діагностуванні багаторежимних машин оператор може встановити більш високі пороги. Якщо машина безперервно працює при відносно стабільних зовнішніх умовах (температура, волога і т. п.), а її частота обертання і навантаження не змінюються, то значення порогів допускається знижувати. Це дає можливість виявити слабкі дефекти на ранішній стадії їх розвитку.

При діагностуванні редукторів за спектром обвідної вібрації задаються трьома пороговими значеннями для кожного із видів дефектів за винятком дефектів змащування підшипників, для яких, як і в попередньому випадку, задаються пороги сильного і середнього дефектів.

Пороги визначаються у величинах глибини модуляції для всіх дефектів, крім дефекту змащування, для якого вони визначаються в прирощеннях загального рівня високочастотної вібрації, яка вимірюється в дБ віброприскорення.

2.5.4. Уточнювання результатів діагностування

При виявленні дефектів необхідно мати збірну інформацію про стан всіх вузлів машини для прийняття рішень стосовно її ремонту чи технічного обслуговування. В цьому випадку належить виводити інформацію про стан кожного вузла і скласти остаточний документ про стан машини в цілому. Тут необхідно мати уяву про типові ситуації, які можуть зустрічатись на практиці і до яких можна віднести:

1. Результати моніторингу вказують на змінення вібраційного стану, а результати діагностування не дають інформацію про дефекти у всіх вузлах машини. Тому належить визначити частоту тієї складової вібрації, зростання якої стало причиною виявлених змінень і за якою встановити, які вузли машини можуть бути джерелом цієї віб-

рації, а потім провести аналіз результатів автоматичного діагностування цих вузлів.

2. Результати моніторингу не вказують на змінення вібраційного стану машини, а результати діагностування дають суттєві дефекти окремих вузлів. Тут належить повторювати вимірювання і контролювати розвиток дефекту на протязі декількох днів до того часу, поки дані моніторингу також не вкажуть на змінення вібраційного стану машини.

3. Виявлені змінення вібраційного стану машини і дефекти в декількох підшипникових вузлах машини, що перебувають на одній лінії вала. В цьому випадку причиною можуть бути не всі підшипники, а лише один із значним дефектом, або дефекти інших деталей. В цьому випадку належить звертати увагу на результати діагностування інших вузлів машини за даними контролю вібрації в інших точках вимірів.

4. Виявлені неідентифіковані змінення вібраційного стану. Частіш причиною цього є вплив дефектів інших вузлів на вібрацію вузла, що діагностується. В цьому випадку належить проаналізувати результати діагностування інших вузлів машини і переглянути список складових вібрації, за якими поставлено діагнози у всіх точках контролю. Якщо неідентифікований дефект поставлено за тими складовими вібрації, за якими ідентифіковані дефекти іншого вузла, то причиною змінення вібрації частіш і є ці дефекти.

Більш детально питання щодо уточнювання результатів діагностування розглянуто в роботі [2].

3. ТЕПЛОВИЙ МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА

Цей вид моніторингу і діагностики отримав широке застосування в різних галузях промисловості (металургійній, гірничій, машинобудівній, хімічній і інших) і в різноманітних видах техніки (від самих простих до космічних апаратів).

Особливу роль тепловий моніторинг і діагностика відіграють при обстеженні крупних металургійних агрегатів, де при певних умовах можливе проривання великого об'єму рідких розплавів, що може, крім значних економічних втрат, викликати трагічні наслідки чи ж

дефекти футеровки можуть стати причиною невідновлюючого стану металоконструкцій і крупних руйнувань виконавчих механізмів. До таких об'єктів, насамперед, можна віднести конвертори, печі, міксери, ковші, машини напівнеперервного і неперервного розливання заготовок і т. п.

Тепловий моніторинг і діагностика достатньо ефективні, хоча, в окремих випадках поступаються вібраційним методам при обстеженні механічних з'єднань і передач з тертям, незадовільний стан яких проявляється в підвищенні їх температури.

Для вимірів температури застосовують спеціальні термометри, пірометри і тепловізори. Поряд з приладами, в деяких випадках, використовують технології на основі термоіндикаторних речовин.

ТЕРМОІНДИКАТОРНІ МЕТОДИ

Використання цих методів є вкрай ефективним в тих випадках, коли виникає необхідність у вивченні температурного поля обстежуваного об'єкта, тобто там, де головним показником стану об'єкта є не абсолютна температура, а характер її розподілення по поверхні. Наприклад, при доведеності вузлів і деталей, термообробці, визначенні перегріву обладнання, обстеженні кристалізаторів для металів і сплавів, вивченні стану футеровки пічних агрегатів і т.п.

В залежності від умов і цілей дослідження застосовують *кольорові, структурні і газовиділяючі термоіндикаторні речовини (ТІР)*. Візуалізацію температурних полів можуть забезпечити лише багатопозиційні КТІР, які мають декілька критичних температур в достатньо широкому температурному інтервалі, чи плавно змінюють свій колір в залежності від температури. В свою чергу, ці речовини поділяють на *зворотні, незворотні і квазізворотні*.

Зворотні використовують тоді, коли необхідно безпосередньо спостерігати температурне поле в процесі нагріву. Проте їх використання (за Аркелянном В.Г.) доцільне при температурах до 497–527°C, оскільки при більш високих температурах їх колір може маскуватись власним тепловим випромінюванням.

Незворотні і квазізворотні речовини використовують у випадках, коли необхідне обстеження температурних полів у важкодоступних місцях.

Термоіндикаторні речовини виготовляють понад 20 закордонних фірм. Проте, лише небагато з них є багатопозиційними.

ТЕРМОМЕТРИ

Серед різноманітних типів термометрів найбільшого поширення набули в сфері теплового моніторингу цифрові термометри, які дозволяють з високою точністю вимірювати температуру в широкому діапазоні (від -60° до $+3000^{\circ}\text{C}$).

В Україні провідним підприємством в сфері термоприладобудування є науково-виробниче об'єднання «Термоприлад» (Львів). Підприємство виготовляє стаціонарні і переносні термометри.

Стаціонарні (щитові) термометри працюють із сигналами термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів і джерел напруги і струму. До числа щитових приладів відноситься лише прилад ТО-ЦО23. Вимірюваний діапазон температур складає: $-50^{\circ}\dots+150^{\circ}\text{C}$; $-200^{\circ}\dots+600^{\circ}\text{C}$; $-50^{\circ}\dots+1600^{\circ}\text{C}$.

Переносні прилади виготовляються одноканальними і багатоканальними. Діапазон вимірюваних температур термометра ТО-ЦО24-10 складає: $-80^{\circ}\dots+250^{\circ}\text{C}$. Роздільна здатність приладу — $0,01^{\circ}$ – $0,1^{\circ}\text{C}$. В його комплект входить до десяти термоперетворювачів.

Портативний одноканальний цифровий термометр ТТ-ЦО16 розрахований на діапазон температур від -10°C до $+1200^{\circ}\text{C}$, а ТТ-ЦО16-01 — від -60°C до $+200^{\circ}\text{C}$.

Технічні характеристики термоперетворювачів цих приладів наведено в табл. 5.3.

Серед зарубіжних розробок широкого поширення набули цифрові термометри С.А861, С.А863, С.А865 (вир. CHAOVIN ARNOUX, Франція), ТМЦ 9210 (Росія), ЕТІ-2001 (Великобританія), Testo 905-T1, Testo 905-T2, Testo 925, Testo 935 (Німеччина).

Таблиця 5.3*Технічна характеристика тензоперетворювачів*

Тип	Основні параметри (температура/розміри)	Призначення, середовище, об'єкт вимірювання
T911-01	0...200 °С; довжина 160 мм	В'язкі речовини
T911-03	-60...+600 °С; довжина 400 мм	Рідкі, сипкі, в'язкі речовини
T911-04	0...800 °С; довжина 500 мм	Рідкі, сипкі речовини
T912	50...500 °С	Металеві поверхні
T919	-60...+500 °С; довжина 400 мм	Газоподібні речовини
T921	20...200 °С; діаметр торкання 10 мм	Металеві поверхні
T922	0...250 °С	Оберткові металеві поверхні
T-003	0...200 °С; довжина 60 мм	Напівтверді та гумові речовини
T-930	0...180 °С; довжина 1000 мм	Багатошарові рельєфні матеріали

Застосування як вітчизняних, так і зарубіжних цифрових термометрів при обстеженні механічного обладнання доцільне лише у тих випадках, коли температурний фактор найбільш повно характеризує стан об'єкта, чи там, де основною задачею обстеження є вимір температур (наприклад, робочих середовищ гідросистем, охолоджувальних середовищ пічних агрегатів, реакторів і т. п.). Хоча, при використанні термометрів T912 і T921, можливе виявлення дефектів рухомих сполучень, оскільки більшість з них викликають підвищення температури через збільшення сил тертя.

ПРОМЕТРИ

Ці прилади на противагу цифровим і іншим типам термометрів, які побудовані на принципі контактних вимірювань, призначені для безконтактного вимірювання температур. Їх застосовують в різноманітних галузях промисловості, де температурний фактор є головним

чи важливим показником стану об'єкта чи середовища. В пірометрах використовують, зазвичай, високочутливі приймачі випромінювання, візуальне чи лазерне наведення на об'єкт.

Провідним виробником пірометрів в Україні є науково-виробниче об'єднання «Термоприлад», яке виготовляє стаціонарні і переносні пірометри (рис. 5.28).

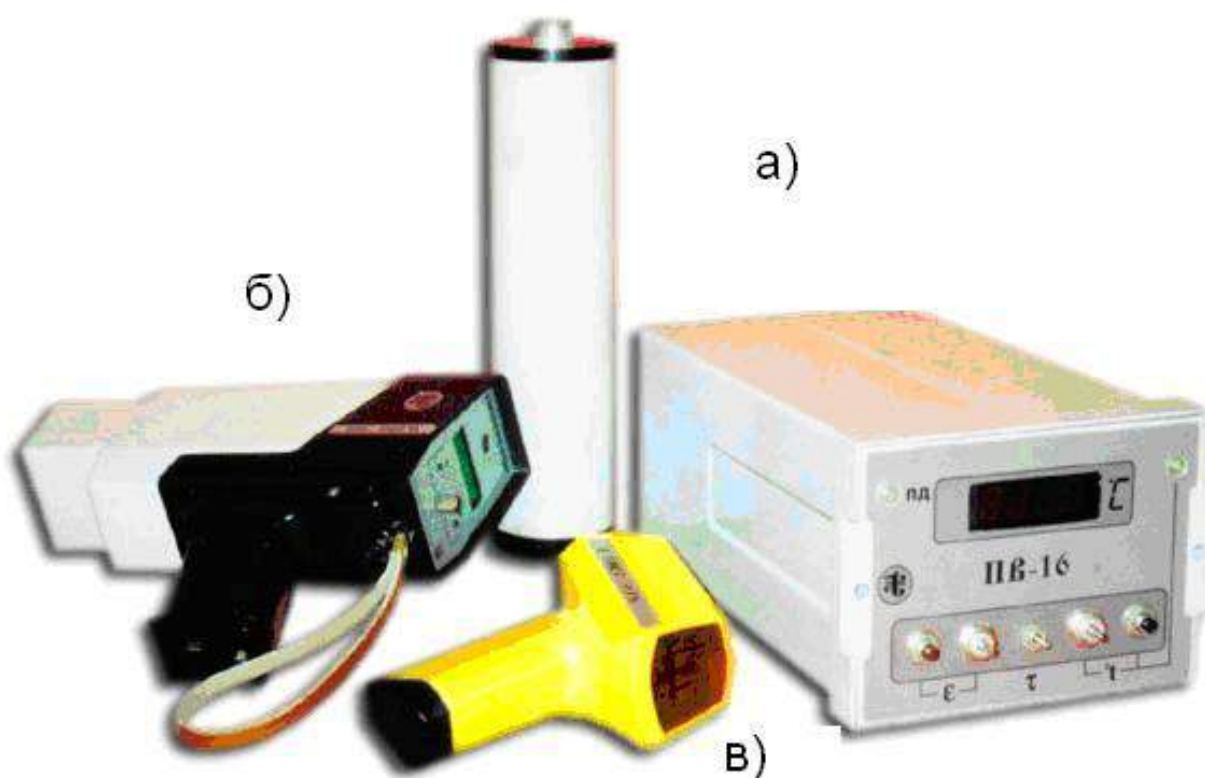


Рисунок 5.28

Пірометри: стаціонарний (а), переносні „Смотрич-4ПМ, 5ПМ“ (б) і „Термозонд“ („Стир-1“) (в)

Технічні характеристики переносних приладів наведено в табл. 5.4.

Ідентифікацію вимірюваної температури фіксують на табло в цифровій формі. Прилади запам'ятовують поточні і максимальні значення температур. Передбачена поправка на випромінювальну здатність об'єкта, визначення якої здійснюють за відомими значеннями температури. Вихідний сигнал приладів уніфікований (0...5 мА чи 4...20 мА; 0...10 В; 0...100 мВ).

Таблиця 5.4

Тип	Діапазон вимірювання, °С	Відстань до об'єкту виміру, м	Похибка, %	Час виміру, с	Габаритні розміри, мм	Маса, кг
Смотрич-4ПМ	30...300	0,35...15,0	1,5	1,5	70×210×260	1,4
Смотрич-5ПМ	600...1700	1,0...15,0	1,0	1,0	70×210×260	1,4
Смотрич-М6П	-35...1100	1,0	$\pm(0,01T_{\theta}+1)^{\circ}\text{C}$	2,0	71×230×265	1,5
Термо-зонд	0...200	від 0,01	1,0	2,0	170×155×48	0,5
Стир-1	0...300	0,05	1,5	2,0	Ø50×205	1,5
Стир-2	1200...1750	–	$\pm(0,01T_{\theta}+2)^{\circ}\text{C}$	1,0	Ø32×1880	2,5

Відомим в Україні є зарубіжний пірометр AF360 (рис. 5.29) (виробник Тайвань, постачальник «Символьт» Україна).

Прилад являє собою інфрачервоний термометр з лазерним наведенням.



Рисунок 5.29
Пірометр AF360

Технічна характеристика

<i>Діапазон вимірювання, °C</i>	— від -50 до $+360$
<i>Точність</i>	— $\pm 1,5$ °C або $\pm 1,5\%$
<i>Відношення відстані до об'єкта до ширини пучка</i>	— $12 : 1$
<i>Замір із кроком, °C</i>	— $0,1$
<i>Випромінювання</i>	— preset $0,95$
<i>Час спрацьовування, мс</i>	— 500
<i>Фіксація сигналу</i>	— <i>автоматичне</i>
<i>утримувannya на екрані</i>	
<i>Вимкнення</i>	— <i>автоматичне</i>
<i>Прилад оснащено індикатором низького заряду батареї живлення.</i>	

Дещо більш широкими можливостями володіє інфрачервоний портативний пірометр 880 E (рис. 5.30). Завдяки невеликим розмірам, високій точності, малій вазі і широкому діапазону вимірювання цей прилад користується широким попитом в різних країнах. Прилад легкий у використанні, має зручне лазерне наведення, що автоматично вмикається під час вимірювання.



Рисунок 5.30

Портативний пірометр 880 E

Діапазон вимірюваних температур складає -30 до $+550$ °C. В приладі передбачено підсвічення, регульований коефіцієнт випромінювання і налагодження звукового сигналу. Інші показники такі ж самі, що і у приладу AF360. Постачальник приладів «Символьт» Україна.

ТЕПЛОВІЗОРИ

Тепловізори, як і пірметри, призначаються для безконтактного вимірювання температур. Проте на відміну від пірметрів, які фіксують точкове значення температур, тепловізори дозволяють фіксувати картину розподілення температури по обстежуваному об'єкті, тобто вимірювати температурне поле, що, в деяких випадках, вкрай важливо. В той же час на екрані приладу відображається в цифровій формі температура окремих точок обстежуваного об'єкта.

До кращих світових зразків тепловізорів відносять тепловізори Thermo View Ti 30, HOT SHOT, Vario CAM, Thermo Vision A40-M, які постачає Росія.

Ці прилади одночасно відображають термограму і температуру, мають яскраве і чітке зображення, програмне забезпечення для аналізу термограм і підготовки звітів.

Застосування тепловізорів забезпечує запобігання простоїв за рахунок усунення аварійних ситуацій, швидкого і якісного виявлення технічних і функціональних проблем при обслуговуванні обладнання. Дозволяє оцінювати якість виконуваних ремонтних і профілактичних робіт, виявляти джерела і оцінювати рівні енергетичних втрат. Прилади також є високоефективним засобом для проведення досліджень і передбачають можливість накопичення документальних архівів термограм і супутніх даних про проведені дослідження.

Технічні характеристики вищеназваних приладів детально висвітлено в роботі [12]. Тому зупинимось на описі лише тепловізора Thermo Vision A40-M (рис. 5.31), який має найбільші можливості щодо широкого спектру обстеження різноманітних об'єктів.



Рисунок 5.31

Тепловізор Thermo Vision A40-M

Діапазон вимірювання температур складає від -40 до 1500 °C. Вихідний сигнал: аналоговий RS170 EIA/NTSC чи МЭК/PAL; цифровий Fire Wire чи RTP з виходом Ethernet.

Прилад має великий набір об'єктів і макроз'ємних насадок, що дозволяє крім звичайних виробничих обстежень глибокі експериментальні дослідження різноманітних об'єктів, які розпочинаються від елементарних вузлів тертя до самих складних промислових об'єктів.

Наводимо такий приклад. Обстеженню піддавалась маслонапірна установка з двома насосами. За допомогою вібродіагностичних засобів на основі спектру вібрацій було допущено, що джерелом підвищеного вібраційного стану установки є муфта, що розташована між двигуном і насосом. Проте встановити конкретну причину, чим викликано такий стан, за допомогою вібромоніторингу не вдалося. В той же час за допомогою тепловізора Thermo Vision A40-M встановлено, що підвищенні вібрації пов'язані з кутовим зміщенням цієї муфти.

4. ДЕФЕКТОСКОПІЯ

Своєчасне встановлення причин відмов і виявлення дефектів в деталях обладнання є важливою умовою правильного оцінювання стану обладнання, підґрунтям для попередження аварій та призначення відповідного методу підвищення надійності і задатком безаварійної роботи.

Деталі, що отримали аварійні дефекти, мають зазвичай явно виражені ознаки (тріщини, задирки, вибоїни і інше), за якими може бути вирішено питання, чи можна такі деталі допускати до подальшої роботи після деякого відновлення або їх необхідно остаточно вибракувати.

Найбільшу практичну складність являє встановлення вибіркових ознак для деталей, що піддаються природньому механічному зносу.

Для визначення дефектів застосовуються різноманітні методи. Найбільш поширеним є візуальний огляд, а також методи, побудовані на застосуванні гідравлічного і газового тисків, на молекулярних властивостях рідин і магнетного чи електричного полів матеріалів, на властивостях звукових хвиль.

Методи дефектування, що побудовані на гідравлічному і газовому тисках, застосовують при визначенні водонепроникливості швів

і систем трубопроводів. Крім того, цими методами виявлення дефектів користуються для тих деталей, які працюють під тиском.

Методи, що основані на молекулярних властивостях рідин, головним чином застосовують для виявлення поверхневих дефектів деталей, виготовлених із немагнетних матеріалів (і не тільки).

Найпростішим і більш-менш доступним на сьогоднішній день є люмінесцентний метод, згідно з яким на знежирену поверхню деталей наноситься люмінофор, який проникає в їх тріщини, після чого люмінофор видаляють з поверхні (промивають і просушують). Потім деталь опромінують ультрафіолетовими променями. Залишений в тріщинах люмінофор при опроміненні буде яскраво світитись.

Для опромінення розроблено ультрафіолетові освітлювачі. Зокрема застосовуються портативні ультрафіолетові освітлювачі УФ-101 і УФ-102 (ООО НПК «МИКРОН») (рис. 5.32). Вони призначені для люмінесцентного капілярного, магнетопорошкового контролю і течошукання в умовах ускладненого доступу до контрольованої поверхні чи неможливості підводу електроживлення.



Рисунок 5.32

Портативний ультрафіолетовий освітлювач УФ-101

Технічна характеристика УФ:

<i>Довжина хвилі, нм</i>	— 365
<i>Інтегральна потужність, мкВт:</i>	
<i>прилад УФ-101</i>	— 17000
<i>прилад УФ-102</i>	— 39000
<i>Живлення, В</i>	— 4,5
<i>Габарити, мм</i>	— $\varnothing 45 \times 135$
<i>Маса, кг</i>	— 0,5

Поряд з цими портативними приладами НПК «МИКРОН» поставляє стаціонарні ультрафіолетові освітлювачі УФ-301. На відміну від аналогів прилад може використовуватись як в горизонтальному, так і в звичайному вертикальному положенні, а також в підвішеному стані над деталлю.

Це дає можливість розташувати освітлювач на столі проти деталі, установлювати його на полиці, кронштейні і т.п., тобто таким чином, щоб випромінювання було направлено від оператора.

Цим же підприємством поставляються багаторазові аерозольні балони, оснащеними насадами для опилення поверхні. Ці балони підходять як для нанесення компонентів наборів засобів капілярного контролю, так і для магнетопорошкових суспензій і фонових барвників при магнетопорошковому методі.

У вакуумних об'єктах (вакуумнодугові і електроннопроменеві печі, реактори та інше) місце дефектів визначають за допомогою гелію. В цих об'єктах до вакуумної системи приєднується течешукач, який миттєво реагує на наявність в камері гелію, подаючи звуковий і світловий сигнали. Пошуки місць натікання зовнішнього повітря в середину об'єкта (мікротріщини, ущільнення і т. ін.) відбувається наступним чином. Всередині об'єкта створюється необхідна глибина вакууму. Після цього вакуумний простір від'єднується від магістралі вакуумної станції за допомогою передбачених високогерметичних затворів. Гелій набирається в гумову камеру (наприклад, камеру футбольного м'яча) і оператор обдуває гелієм кожний підозрюваний елемент до того часу, поки течешукач не подасть сигналу. Це засвідчить про те, що саме в цьому місці порушена герметичність через утворення мікротріщин у вакуумній камері чи через ненадійного функціонування котрогось із вакуумних ущільнень.

Методи, побудовані на властивостях магнетного поля, застосовують для виявлення в сталевих і чавунних деталях тріщин, прихованих шпарин і шлакових плівок, які не можуть бути визначені візуально. Цей метод застосовується частіше при обстеженні валів, шатунів, штоків і т.п.

Дефектоскопія, створена на властивостях магнетного поля, поділяється на магнетно-порошкову і магнетно-індукційну. Магнетно-порошковий вид дефектоскопії — найбільш поширений і побудований на утворенні полів розсіювання порошкового металу над дефек-