

# РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

М.Г. ШУЛЬЖЕНКО, Ю.Г. ЄФРЕМОВ, В.Й. ЦИБУЛЬКО, О.В. ДЕПАРМА

Ін-т проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. 61046, м. Харків-46, вул. Пожарського, 2/10.

E-mail: root@ipmach.kharkov.ua

Описано апаратні засоби та методико-алгоритмічне забезпечення мобільного багатофункціонального вимірювально-діагностичного комплексу неруйнівного контролю і оцінки технічного стану енергетичних і транспортних агрегатів тривалої експлуатації. Наведено приклад використання мобільного комплексу на реальному об'єкті. Бібліогр. 14, рис. 6.

*Ключові слова:* вихрострумний датчик, перетворювач, вібраційний стан, система діагностики, спектральні характеристики

Проблема підвищення надійності і безпеки експлуатації енергоблоків з мінімальними витратами може вирішуватися з використанням засобів і новітніх інформаційних технологій діагностування вібраційного стану з визначенням небезпечних несправностей. У відповідності з нормативними документами [1–3] необхідно контролювати вібраційний стан потужних турбоагрегатів як по параметрах вібрації опор, так і по параметрах вібрації вала. На цей час стаціонарними системами вібраційної діагностики оснащено біля 10 % усіх турбоагрегатів електростанцій України. Аналіз пошкоджувальності устаткування турбін ТЕС і ТЕЦ показує, що більша частина ушкоджень допоміжного устаткування призводить до відмови турбоустановки в цілому [4]. Використання стаціонарних систем вібродіагностики для допоміжного устаткування економічно невиправдане. Для оцінки технічного стану по вібраційних параметрах турбоагрегатів, які не оснащені стаціонарними системами вібродіагностики, а також для діагностування вібростану допоміжного устаткування доцільно використовувати мобільні вимірювально-діагностичні системи.

Існуючі мобільні засоби мають не більше двох-чотирьох вимірювальних каналів, а при діагностуванні агрегатів використовуються лише параметри коливань їх необертюваних частин [5]. У зв'язку з цим, актуальним є створення мобільного багатофункціонального вимірювально-діагностичного комплексу з функціональними можливостями стаціонарної системи діагностики (багатоканальне безперервне та паралельне вимірювання вібраційних, механічних та інших ве-

личин), з можливостями вимірювання параметрів коливань обертових частин (роторів) в доступних місцях та оцінки наявності найбільш небезпечних несправностей агрегатів.

Для рішення задачі оперативного контролю, аналізу і діагностування технічного стану за вібраційними параметрами створено мобільні засоби вимірювальної техніки [6, 7]. До складу мобільного комплексу входять мобільний багатоканальний вимірювально-діагностичний комплекс «СКВД-10» на базі ноутбука (далі – комплекс) і автономні пристрої (рис. 1): вимірювач вібрації зі смуговим спектроаналізатором «ІВПА-07» (далі – віброметр); вимірювач вібрації «ІВПБ-1» з функцією визначення дисбалансу жорстких роторів (далі – прилад); тахометр оптичний «ТО-М» (далі – тахометр).

Віброметр дозволяє оперативно оцінити вібраційний стан агрегату шляхом вимірювання загального рівня й спектрального складу вібрації. Діапазон вимірювання середнього квадратичного значення (СКЗ) віброшвидкості 0,5...50,0 мм/с з дискретністю 0,1 мм/с у смузі частот 10...1000 Гц. Очікувана зведена похибка вимірювання СКЗ віброшвидкості на базовій частоті 160 Гц у межах 5 %, в діапазоні частот 20...800 Гц – у межах 10 %, на краях частотного діапазону – не більше 20 %. Тахометр дозволяє вимірювати швидкість обертання частин механізмів і машин оптичним способом. Діапазон вимірювання від 20 до 60000 об/хв (від 0,3 до 1 кГц). Прилад «ІВПБ-1» з функцією визначення дисбалансу жорстких роторів забезпечує вимірювання амплітуди оберто-



Рис. 1. Автономні пристрої: а – тахометр «ТО-М»; б – віброметр «ИВПА-07»; в –прилад «ИВПБ-1» з функцією визначення дисбалансу жорстких роторів

вої складової віброцигналу в діапазоні від 10 до 999 мкм з дискретністю індикації 1 мкм, фази у діапазоні 0...360° з дискретністю індикації 1° і частоти обертання у діапазоні 5,0...50,0 Гц (300...3000 об/хв).

Мобільні пристрої пройшли дослідну експлуатацію на декількох електростанціях України і інших промислових підприємствах та використовуються персоналом для оперативного контролю та аналізу вібростану турбоагрегатів та іншого обладнання.

Мобільний багатоканальний вимірювально-діагностичний комплекс «СКВД-10» (рис. 2) складається з двох датчиків віброприскорення з напівпровідниковою мікроелектромеханічною системою (ДВК-хЭМ); шести вихорострумових датчиків віброшвидкості; двох вихорострумових датчиків вібропереміщення (переміщення); датчика мітки; восьмиканальної плати функціонального перетворення частотно-модульованого сигналу в сигнал по напрузі; 32-канальної плати АЦП Е-440 (виробництва L-Card); акумулятора; ноутбука.

Апаратні засоби комплексу забезпечують вимірювання відносних радіальних віброперемі-

шень шийок роторів валопроводу у двох ортогональних напрямках підшипника у діапазоні частот 5...500 Гц і амплітуд 10...1000 мкм; вимірювання вібрації опор підшипників у двох – трьох взаємноперпендикулярних напрямках у діапазоні частот не менших, ніж 5...1000 Гц з амплітудою виброшвидкості 0,5...16 мм/с; вимірювання вібрації опор підшипників у двох – трьох взаємноперпендикулярних напрямках в діапазоні частот не менших, ніж 0,5...2500 Гц з амплітудою виброприскорення 5 g; вимірювання переміщень об'єкта в діапазоні 0...100 мм; формування імпульсних сигналів для синхронізації вимірювання сигналів вібрації з обертанням валопроводу та вимірювання частоти обертання.

Похибка вимірювання параметрів вібрації не перевищує 5 % на базовій частоті.

Мобільний комплекс допускає приймання сигналів від штатних систем технологічного й вібраційного контролю як по цифровим інтерфейсам, так і по аналоговим каналам. Комплекс має модульну структуру. Його розширення може бути здійснено шляхом додавання відповідних датчиків з функціональними перетворювачами. Функціонування комплексу підтримується відповідним методично-програмним забезпеченням [8], що складається з модулів реєстрації, візуалізації і первинної обробки інформації, автоматизованого контролю технічного стану обладнання за параметрами вібрації, аналізу вібропараметрів та визначення дисбалансу роторів.

Функції реєстрації вібраційних та інших сигналів, їх візуалізації та первинної обробки (нормалізації, фільтрації та обчислення основних показників сигналу) у реальному часі виконує розроблений програмний модуль «RecParam». Модуль працює у двох режимах: реєстрації та візуалізації сигналів. У режимі реєстрації здійснюється опитування каналів, нормалізація, обчислення

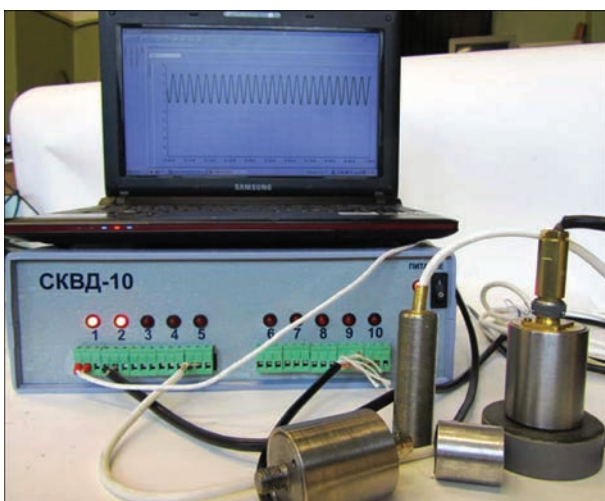


Рис. 2. Мобільний багатоканальний вимірювально-діагностичний комплекс «СКВД-10»

основних показників сигналу та реєстрація осцилограм у базу даних. Оптимальні настройки параметрів опитування вимірювальних каналів комплексу для реєстрації осцилограм наступні: період часової реалізації – 0,02 с, кількість реалізацій – 50, кількість точок у одній реалізації – 160, кількість записів осцилограм – не менше 3. Зареєстровані осцилограми користувач може експортувати в текстовий файл для подальшої роботи в інших пакетах обробки сигналів. У режимі візуалізації модуль «ResParam» виконує функції опитування каналів, нормалізації, обчислення основних показників сигналу та візуалізації у вигляді часової розгортки сигналу, його спектру та фігури Ліссажу.

Автоматизована оцінка вібраційного стану енергообладнання у реальному часі забезпечується за допомогою розробленого програмного модуля «Monitoring». Для цього щосекундно виконується обчислення по всіх контрольних точках (максимум 32 точки) паралельно (за миттєвим значенням вібропереміщень роторів і за миттєвим значенням віброшвидкості опор за 32 оберти з дискретністю 160 точок за період обертання) значень розмахів вібропереміщень і СКЗ віброшвидкості. За обчисленими значеннями контрольованих параметрів вібрації формуються на інтервалі часу 20 с обновлювані масиви. Їх значення після усереднення за перші 20 с приймаються за вихідні для подальшого використання. Значення обчислених параметрів щомиті обновлюються і порівнюються з допустимим рівнем параметрів вібрації.

По рівнях вібрації опор і валопроводу відповідно до нормативних документів устанавлюються три зони: одна – без обмеження терміну експлуатації і дві зони з обмеженими термінами експлуатації [1–3]. Інформація на екрані монітора обновлюється з секундним інтервалом, при зміні рівня вібрації і перевищенні припустимого рівня та при переході в зони з обмеженим терміном експлуатації стовпчикова діаграма змінює свій колір на жовтий чи червоний. Сформовані масиви можуть бути використані для обчислення статистичних показників зміни вібраційних параметрів за годину, добу, місяць і т.п., що дозволяє вчасно виявити повільні зміни параметрів вібрації і оцінити тенденцію розвитку вібраційного стану та вчасно попередити позаштатну ситуацію [9–11].

Основні функції програмного модуля «Monitoring»: обчислення, контроль та реєстрація розмаху вібропереміщення ротора, СКЗ віброшвидкості опор, частоти обертання та інших механічних величин; обчислення та контроль низькочастотної складової вібропереміщення ротора і віброшвидкості опор; контроль стрибка розмаху вібропереміщення ротора, СКЗ віброшвидкості опор, частоти обертання та інших механічних величин; сигналізація про зміну рів-

ня вібраційного стану обладнання; обчислення та візуалізація спектральних складових вібропереміщення ротора, віброшвидкості опор та інших механічних величин; візуалізація розмахів вібропереміщення ротора, СКЗ віброшвидкості опор та інших механічних величин у вигляді стовпчикової діаграми або їх зміни за часом; візуалізація фігур Ліссажу; реєстрація осцилограм; формування трендів параметрів вібрації та даних для аналізу причин зміни вібраційного стану.

Результати обробки інформації, що отримана за допомогою програмного модуля «Monitoring», користувач може експортувати в текстовий файл для подальшої роботи в інших пакетах обробки сигналів, надрукувати або зробити експорт зображення у графічний файл.

Особливістю балансування роторів за допомогою комплексу «СКВД-10» є використання для цього параметрів вібрації роторів поряд з параметрами вібрації опор. Метод роздільного зрівноважування [12] базується на властивості взаємозалежності, що полягає в наступному: вектори вібрації розкладають на симетричну й косиметричну складові; статична і динамічна складові дисбалансу урівноважуються роздільно: перша – по симетричних, друга – по косиметричних складових вібрації.

Процес динамічного балансування може здійснюватися у власних підшипниках або на балансувальному станку. Для цього необхідно виконати наступні операції: провести вимірювання при  $k$ -й критичній швидкості оборотних складових вібропереміщення опор або вала в підшипнику у вигляді векторів; розмістити на валу пробну систему вантажів, що відповідає  $k$ -й формі невідновженості та зробити пуск ротора із цією системою вантажів; провести вимірювання параметрів вібрації опор або вала із установленою системою пробних вантажів; по збільшенню параметрів вібрації і відомій величині пробного вантажу розрахувати балансувальну чутливість і необхідний для  $k$ -ї форми небалансу вантаж (величину та місце (кут) установки); повторити перераховані вище операції для  $k = 1, 2, 3$ , тобто від початкової частоти урівноважування до робочої частоти обертання вала.

Оцінка появи і розвитку вібронезбезпечних несправностей та позаштатних ситуацій виконується модулем експрес-діагностики відповідно до бази знань і бази даних. База знань – це формалізовані правила розпізнавання дефектів та їх ознаки, що сформовані на основі досвіду експлуатації турбоагрегатів (ТА) і даних досліджень про вплив механічних дефектів (несправностей) та режимних факторів на вібропараметри роторів і опор підшипників. База знань може поповнюватись, якщо отримані нові додаткові дані про вплив дефекту.



Діагностична база даних формується у відповідності до основних і допоміжних віброознак бази знань. Для цього в якості інформативних параметрів використовуються полігармонічні (інтегральні) і селективні (моногармонічні) параметри вібрації. База даних має три рівні. Перший містить осцилограми (миттєві значення вібропереміщення вала й віброшвидкості опор підшипників). Другий рівень містить інформативні масиви параметрів і ознак (спектральні, часові, кореляційні, амплітудно-частотні і фазочастотні), які сформовані за даними першого рівня блоком обробки інформації, містять неоднорідні дані і видаються в чисельній та логічній шкалі. Третій рівень містить масиви значень відносних (формалізованих) показників діагностичних ознак, які формуються блоком обробки третього рівня, де їх інформативні компоненти формалізуються (приводяться до безрозмірних значень у діапазоні від 0 до 1,0). Для цього використовуються функції належності нечіткої множини  $\Psi$ . Функції належності описуються в базі знань для всіх характерних ознак вібронебезпечних дефектів. Функції належності, вагові коефіцієнти й базові значення параметрів можуть уточнюватися в процесі навчання (удосконалення) алгоритму діагностування і отримання додаткових даних на засадах досліджень та експертних оцінок. При цьому чутливість алгоритму щодо оцінки появи вібронебезпечних несправностей ТА залежить від рівня початкових значень вібропараметрів (вібропереміщення вала й СКЗ віброшвидкості опор). Початкові значення вібропараметрів вибрані в межах не більше 0,5 від тих значень, по яких дозволяється експлуатація ТА без обмеження строку [1–3]. Отримані таким чином значення відносних показників ознак дефектів запам'ятовуються в третьому рівні бази даних і подаються на вхід модуля експрес-діагностики. Модуль експрес-діагностики обчислює значення ймовірності наявності того чи іншого дефекту шляхом застосування правил розпізнавання по відповідній сукупності діагностичних ознак. Алгоритми правил розпізнавання дефектів функції належності  $\mu$  відповідно до множини  $\Psi$  можуть бути застосовані для оцінки появи таких дефектів, як поперечна тріщина в роторі, дисбаланс ротора, колінчатість вала, злам осі вала, ушкодження з'єднання півмуфти та порушення стійкості руху валопроводу в підшипниках ковзання.

З використанням розробленого мобільного комплексу проведено вібродослідження димососу Д-25Х2ШБ турбоагрегату К-300-240 для визначення вимог до стаціонарних засобів контролю вібраційного стану допоміжного енергообладнання. Димосос Д-25Х2ШБ призначений для відсмоктування димових газів з топок котлів на твердому паливі паропродуктивністю 640 т/год [13]. Ди-

мосос експлуатується при частотах обертання 600 і 500 об/хв. Шість датчиків віброшвидкості було встановлено спочатку на дві опори (№ 1, 2) димососа, а потім на дві опори (№ 3, 4) електродвигуна у трьох напрямках (вертикальному, поперечному та осьовому). Вимірювання та реєстрація миттєвих значень віброшвидкості проводилося паралельно по 6 каналах. Тривалість виборки 2,5 с. Період опитування 0,05 мкс. Вібраційний стан димососа задовольняє нормам вібрації [1–3], максимальне значення  $V_{sl} = 1,8$  мм/с зареєстровано у вертикальному напрямку на четвертій опорі димососа. У якості прикладу наведено осцилограму віброшвидкості опори № 2 у поперечному напрямку (рис. 3) та її спектральні характеристики (рис. 4). Значний вклад у СКЗ віброшвидкості опор вносить низькочастотна вібрація (1...10 Гц), тому для контролю вібраційного стану димососа по вібропараметрах рекомендовано використовувати вимірювальні канали, що забезпечують вимірювання СКЗ віброшвидкості від 0,3 до 15 мм/с у діапазоні частот 1...1000 Гц.

Для оцінки вібростану турбоагрегату К-200-130 ЛМЗ з генератором ТГВ-200М, розробки рекомендацій щодо зниження рівня вібрації й визначення причин руйнування вкладиша підшипника першої опори проведено вібродослідження з використанням комплексу «СКВД-10». Вимірювання і реєстрація параметрів вібрації опор проводилися паралельно по п'яти каналах із синхронізацією від фазової мітки. Осцилограми віброшвидкості у трьох ортогональних напрямках (вертикальному (в), поперечному (п) і осьовому (о)) реєструвалися при номінальному навантаженні турбоагрегату. Найбільший внесок у СКЗ віброшвидкості опори в осьовому напрямку вносить перша оборотна гармонічна складова віброшвидкості (рис. 5), а на опорах № 6, № 7 у поперечному напрямку – перша й друга оборотна гармонічні складові

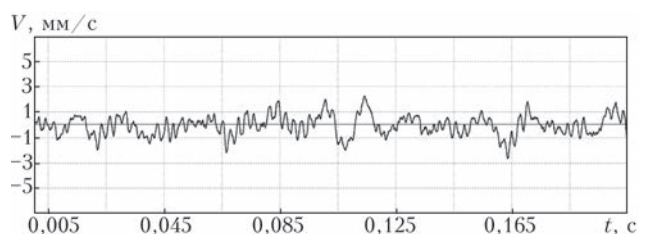


Рис. 3. Осцилограма віброшвидкості у поперечному напрямку (опора № 2)

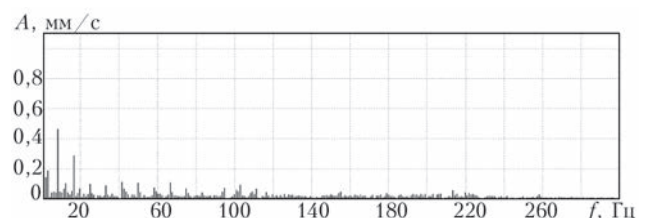


Рис. 4. Спектральні характеристики віброшвидкості у поперечному напрямку (опора № 2)

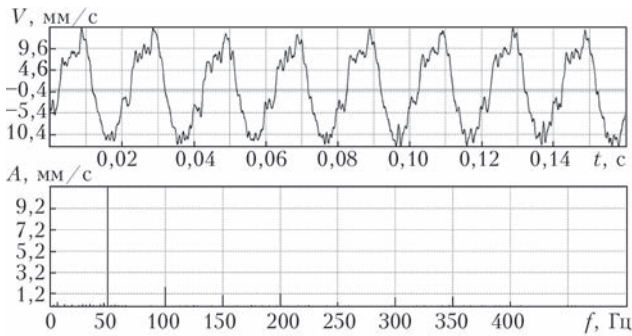


Рис. 5. Осцилограма та спектр віброшвидкості на номінальній навантаженні ТА (опора № 1, осьовий напрямок)

віброшвидкості опори. Підвищена вібрація на опорах генератора викликана електромагнітними силами статора генератора, про що свідчить наявність другої обертової гармонічної складової (100 Гц) в спектрі віброшвидкості.

Для визначення причин підвищеної вібрації першої опори виконана оцінка впливу режимів роботи на вібростан агрегату. Для цього безперервно, протягом декількох годин, на різних режимах роботи ТА (розвантаження від номінальної потужності до 130 МВт, робота при навантаженні 130 МВт, навантаження від 130 МВт до номінального навантаження і робота на ковзних параметрах) проводилося вимірювання та реєстрація віброшвидкості на опорі № 1 у трьох ортогональних напрямках (вертикальному, поперечному і осьовому) і на опорі № 2 у вертикальному й поперечному напрямках.

Підвищений рівень осьової вібрації на першій опорі залежить від паропотоку і паророзподілу. При роботі ТА на ковзних параметрах відносна зміна СКЗ віброшвидкості опори № 1 у вертикальному напрямку більша стосовно СКЗ віброшвидкості в поперечному і осьовому напрямках, що побічно свідчить про ріст вібрації вала у вертикальному напрямку. Причинами, що викликають осьову вібрацію на опорі № 1, можуть бути нерівномірність та пульсація паропотоку, експлуатаційна розцентровка опор № 1, № 2 під впливом нагріву фундаменту, тепловий прогин ротора циліндра високого тиску, дефекти у жорсткій муфті ротора високого тиску – ротора середнього тиску, віброактивність опорного вузла 1. Для уточнення причин, що викликали осьову вібрацію на опорі № 1, було проведено вимірювання вібропереміщення вала в розточці підшипника № 1. Рівень вібрації вала в опорі № 1 сумірний із зазором у підшипнику (розмах вібропереміщення досягає 800 мкм і більше в поперечному напрямку та 250...300 мкм у вертикальному напрямку). На рис. 6 зображена траєкторія відносного руху вала в розточці підшипника опори № 1. Спектр вібропереміщення вала та віброшвидкості опори збагачено

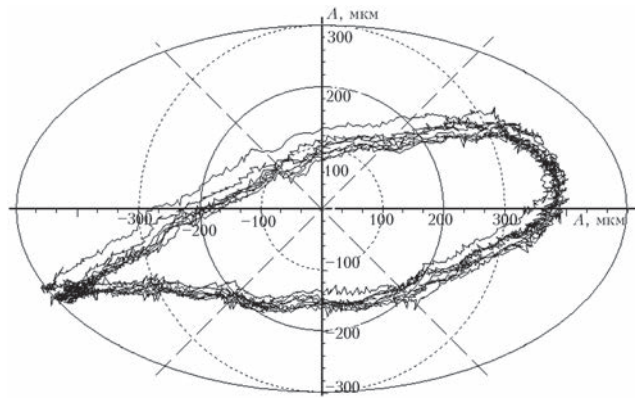


Рис. 6. Траєкторія відносного руху центра вала в розточці підшипника (опора № 1)

високочастотними складовими, що може вказувати на зачіпання ротора за нижній вкладиш підшипника.

Руйнування вкладиша першого підшипника відбувається внаслідок торкання вала об вкладиш у зв'язку зі значною вібрацією ротора, яка викликана його дисбалансом, неврівноваженими навантаженнями від паропотоку і його пульсації, розцентрованою опор. Не виключається наявність тріщини в роторі циліндра високого тиску (ЦВТ). Значна осьова вібрація першої опори породжується значними коливаннями ротора, що контактує періодично із вкладишем підшипника, і підтримується стільцем і фундаментом (значні осьові вібрації верху стільця й поперечного ригеля). Вона не є основною причиною руйнування вкладиша підшипника першої опори, хоча й сприяє цьому. Рекомендується зменшити неврівноваженість паропотоку і його пульсацію при подачі на регулюючий ступінь, провести дефектоскопію й балансування ротора ЦВТ, а також роботи зі зміцнення ригеля фундаменту для виключення перекидання стільця й розцентровки опор. Крім того, необхідно вести спостереження за трендами вібропараметрів вала і траєкторіями руху шийки ротора в розточці підшипника не тільки на опорі № 1, але й на інших опорах для аналізу вібростану після ремонту.

### Висновки

Для оперативної або періодичної оцінки вібростану допоміжного устаткування енергоблоку та інших роторних агрегатів в ППМаш НАН України розроблено мобільний вимірювально-діагностичний комплекс на базі нетбука. Проведена державна метрологічна атестація вимірювальних каналів комплексу. Комплекс використано при діагностуванні вібростану роторного обладнання на декількох електростанціях України. Визначено причини підвищеної вібрації турбоагрегату та розроблено пропозиції щодо зниження її рівня. Створений вимірник вібрації зі смуговим спектроаналізатором «ІВПА-07» використовується персоналом Хар-

ківської ТЕЦ-5 для періодичного контролю вібраційного стану турбоагрегатів.

1. *Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила / ОЕП «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики».* – Київ, 2003. – 597 с.
2. *Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопроводов и общие требования к проведению измерений: ГОСТ 25364–97.* – Взамен ГОСТ 25364–88; Введ. 1999-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 6 с.
3. *Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации валопроводов и общие требования к проведению измерений: ГОСТ 27165–97.* – Взамен ГОСТ 27165–86; Введ. 1999-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 8 с.
4. *Плотник П.Н., Мурманский Б.Е., Руденко А.С.* Анализ повреждаемости оборудования турбин ТЭС // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Сб. тр. Междунар. науч-техн. конф. – Харьков, 2000. – С. 327–333.
5. *Гольдин А.С.* Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
6. *Мобільні засоби оцінки вібраційного стану енергетичних агрегатів / М.Г. Шульженко, Ю.Г. Єфремов, В.І. Цибулько, О.В. Депарма // Вісник НТУ «ХП».* Серія: Енергетичні та теплофізичні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХП», 2014. – № 12(1055). – С. 104–110.
7. *Розроблення нових засобів оперативного контролю вібропараметрів енергетичного обладнання / М.Г. Шульженко, Ю.Г. Єфремов, В.І. Цибулько, О.В. Депарма // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доп. 4-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2014. – С. 87–88.*
8. *Єфремов Ю.Г.* Методико-алгоритмічне забезпечення функціонування мобільного комплексу з оцінки вібраційного стану енергетичних агрегатів // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплофізичні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 17(1126). – С. 111–116.
9. *Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Зайцев Б.Ф.* Задачи термостойкости, вибродиагностики и ресурса энергоагрегатов (модели, методы, результаты исследований). – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 370 с.
10. *Технология оценки причин повышенной вибрации турбоагрегатов / Н.Г. Шульженко, Ю.Г. Ефремов, В.И. Цибулько, А.В. Депарма // Вибрації в техніці та технологіях.* – 2012. – № 1 (65). – С. 89–92.
11. *Шульженко М.Г.* Діагностування вібрацій, термоміцності і ресурсу вузлів теплоенергетичних агрегатів // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доп. 4-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2014. – С. 4.
12. *Рунов Б.Т.* Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 351 с.
13. *Дымососы Д и ДН двустороннего всасывания.* URL: <http://www.donvent.com/ru/node/25>.
14. *Применение методов и средств вибродиагностики для оценки надежности работы турбоагрегатов / Н.Г. Шульженко, Ю.Г. Ефремов, В.И. Цибулько, А.В. Депарма // Авиационно-космическая техника и технология.* – 2013. – № 10(107). – С. 183–188.

Hardware and procedural-algorithmic support of mobile multifunctional measurement-diagnostic complex for non-destructive testing and evaluation of technical condition of energy and transport units in long-term operation are described. An example of mobile complex application in a real facility is given.

*Keywords: eddy-current sensor, transducer, vibrational state, diagnostic system, spectral characteristics. 14 References, 6 Figures.*

Надійшла до редакції  
13.01.2016



Ассоциация «Электрод»

ООО Промышленная  
компания «ХОБЭКС электрод»



при поддержке

Российского научно-технического сварочного общества и Общества сварщиков Украины

**IX Международная конференция «Дуговая сварка. Материалы и качество»**

*Посвящается 50-летию Первой всесоюзной конференции*

*по сварочным материалам (1966 г.)*

*и 25-летию создания ассоциации «Электрод» (1990 г.).*

31 мая – 3 июня 2016 г.

г. Волгоград

Тематика конференции

- Совершенствование дуговых процессов сварки
- Разработка инновационных сварочных материалов
- Технологии производства материалов и подготовка кадров
- Качество и конкурентоспособность материалов

<http://association-electrode.com>; тел./факс: (+38044) 200 63 02.

E-mail: [office@association-electrode.com](mailto:office@association-electrode.com)