



Шульженко Н. Г.  
Ефремов Ю. Г.  
Цыбулько В. И.  
Депарма А. В.

*Институт проблем  
машиностроения  
им. А.Н. Подгорного  
НАН Украины*

Shulzhenko N. G.  
Efremov Yu. G.  
Tsybulko V. I.  
Deparma A. V.

*A.N. Podgorny Institute  
for Mechanical  
Engineering Problems of  
the National Ac.Sci. of  
Ukraine*

**УДК 621.165; 621.438; 621.224**

## **ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ РОТОРНЫХ АГРЕГАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СТАЦИОНАРНЫМИ И МОБИЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**

*Описываются технические характеристики и функциональные возможности новых аппаратных средств и программного обеспечения для созданной ранее автоматизированной стационарной системы диагностирования вибрационного состояния турбоагрегата. Улучшением метрологических и эксплуатационных характеристик измерительных каналов расширены функциональные возможности системы. Созданы новые подсистемы: контроля механических величин, защит и сигнализации турбоагрегата по параметрам вибрации роторов и корпусов подшипников. Описывается методика проверки функционирования системы с использованием мобильных электронных стендов. Для мобильного контроля и оценки технического состояния роторного оборудования создан виброизмерительный комплекс на базе нетбука. Приводятся примеры виброисследования турбоагрегатов Т250/300-240 и К-200-130 с использованием автоматизированной стационарной системы вибродиагностики и созданного мобильного виброизмерительного комплекса. Выработаны рекомендации по снижению уровня вибрации в подшипниках.*

**Ключевые слова:** валопровод, вибродиагностика, вихретоковый датчик, мобильный комплекс, система диагностики, турбоагрегат.

**Вступлення.** В ИПМаш НАН України раніше створена і введена на 4-х блоках потужністю 300 МВт (Київська ТЕЦ-5, Харківська ТЕЦ-5, Запорізька ТЭС) автоматизована система контролю і діагностування вібростанову турбоагрегату (АСКДВ ТА) з пріоритетним застосуванням засобів вимірювання вібропереміщень роторів валопровода поряд з засобами віброконтролю опор [1]. Аналогі вимірних засобів цієї системи (датчики і пристрої безконтактного вимірювання вібропереміщення, осевого зміщення, ексцентриситетів, частоти обертання, контактної вимірювання вібрострошності), створені на базі вихретокових перетворювачів, експлуатуються на електростанціях України і в країнах ближнього зарубіжжя. Датчики мають високу помехостійкість к

впливу експлуатаційних факторів і споживачами характеристиками [2]. Пріоритет підтверджено патентами на винаходи і корисні моделі (патент № 87398 від 10.07.2009, патент 92864 від 10.12.2010, патент № 95884 від 12.09.2011). АСКДВ ТА складається з засобів:

– вимірювання вібрації опор турбоагрегату (в вертикальній, горизонтальній і осевій площині);

– вимірювання вібрації шийки вала відносно кришки підшипника турбоагрегату;

– автоматизованого збору, обробки, аналізу, відображення і зберігання даних у параметрах вібрації ТА (плати АЦП і ПЭВМ).

Ядром цієї системи є комп'ютер, який забезпечує функції, як моніторингу, так і діагностики вібраційного стану ТА (рис. 1).



Особенностью разработанной АСКДВ ТА является:

- период опроса датчиков 80 мкс (на стационарном режиме);
- непрерывный контроль и анализ параметров колебаний роторов в двух ортогональных направлениях каждого подшипника ТА;

– оценка и диагностирование вибрационного состояния на разных режимах эксплуатации ТА (валооборот, пуск, стационарный, выбег);

– компьютеризированная обработка мгновенных значений вибросигналов, что позволяет модернизировать АСКДВ только за счет обновления программного обеспечения, без замены оборудования.

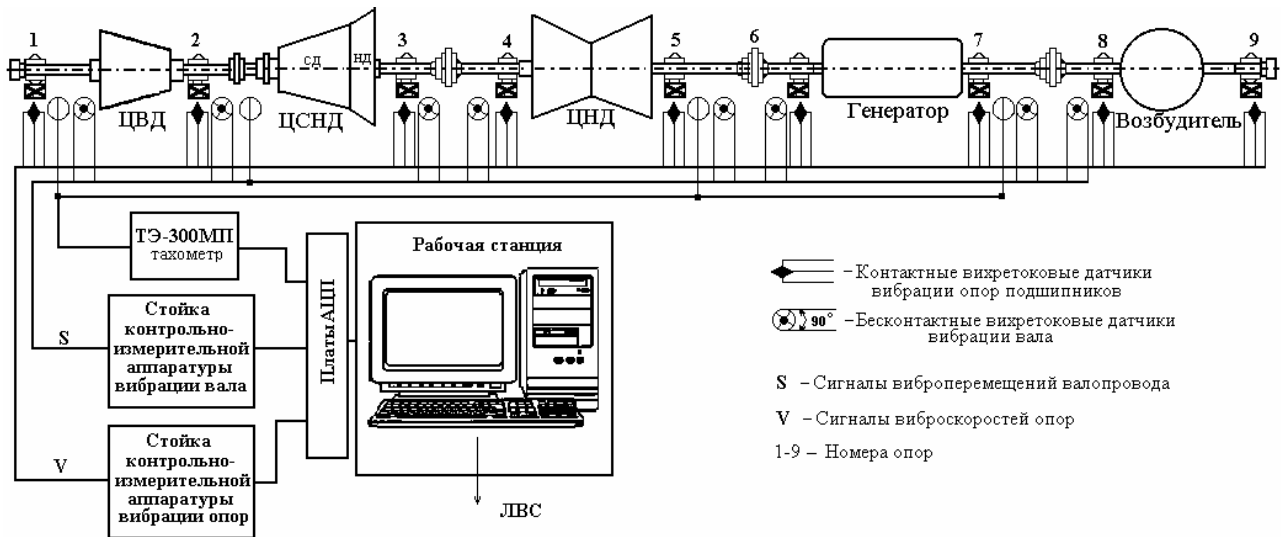


Рис. 1. Структурная схема АСКДВ ТА

Наиболее чувствительными и информативными к дефектам технологического и эксплуатационного характера являются параметры вибрации вала, а не опор. Это подтверждается, выполненными в ИПМаш НАНУ теоретическими исследованиями и данными натурных испытаний [1]. Поэтому диагностирование вибросостояния ТА проводится прежде всего по параметрам вибрации вала. На базе элементов теории нечеткой логики разработана и совершенствуется экспертная система диагностирования вибрационного состояния [3], которая позволяет по характерным вибропризнакам вероятностно оценить наличие виброопасных неисправностей: нарушение соединения роторов и расцентровка опор, дисбаланс ротора (прогиб ротора), нарушение устойчивости движения роторов в подшипниках скольжения, трещина в роторе.

Методическое, программное обеспечения и аппаратные средства этих систем совершенствуются и обновляются с использованием новых достижений в области обработки сигналов, микропроцессорной и компьютерной техники.

#### **Актуальность исследований.**

Разработка и внедрение технических средств

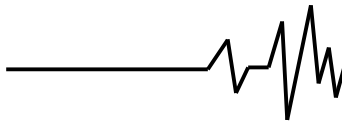
получения информации о вибрационном состоянии агрегатов ТЭС и ТЭЦ, а также технологии диагностирования причин повышенной вибрации с использованием достижений компьютерных технологий является важной задачей, актуальность которой возрастает для агрегатов, отработавших парк ресурс. В настоящее время для обеспечения повышения безопасной эксплуатации энергоблоков необходим комплексный подход, связанный с решением следующих задач:

– непрерывный контроль и оценка вибрационного, механического и теплового состояния турбоагрегата и вспомогательного оборудования энергоблока [4];

– выявление развития виброопасных дефектов турбоагрегата путем контроля изменений вибрационных параметров роторов и опор турбоагрегата;

– реализация защит и сигнализации турбоагрегата по повышению виброскорости корпусов подшипников и осевому смещению ротора в соответствии с действующими нормативными документами [5–7];

– оценка термонапряженного состояния и срабатывания ресурса высокотемпературных роторов [8];



– предупреждение аварийных ситуаций и их развития, регистрация событий и аварийных ситуаций.

Решение этих задач связано с совершенствованием и разработкой технологии контроля и диагностирования технического состояния энергоблока.

**Материалы исследования.** Для расширения функциональных возможностей АСКДВ ТА разработаны подсистемы: контроля механических величин [9], защит и сигнализации турбоагрегата по параметрам вибрации роторов и опор подшипников, счетчик ресурса [10]. Структурная схема современной АСКДВ ТА приведена на рис. 2.

Стационарные устройства для подсистемы контроля механических величин (частоты вращения ротора, осевого сдвига и относительного расширения ротора, относительного угла наклона опоры, теплового расширения цилиндра, биения ротора) созданы на базе микроконтроллера ATmega88. Устройства состоят из вихретокового преобразователя (датчика), модуля формирования механической величины с цифровым индикатором и импульсным источником электропитания. Эти устройства удовлетворяют требованиям действующих стандартов и не уступают аналогичным устройствам известных фирм [9].

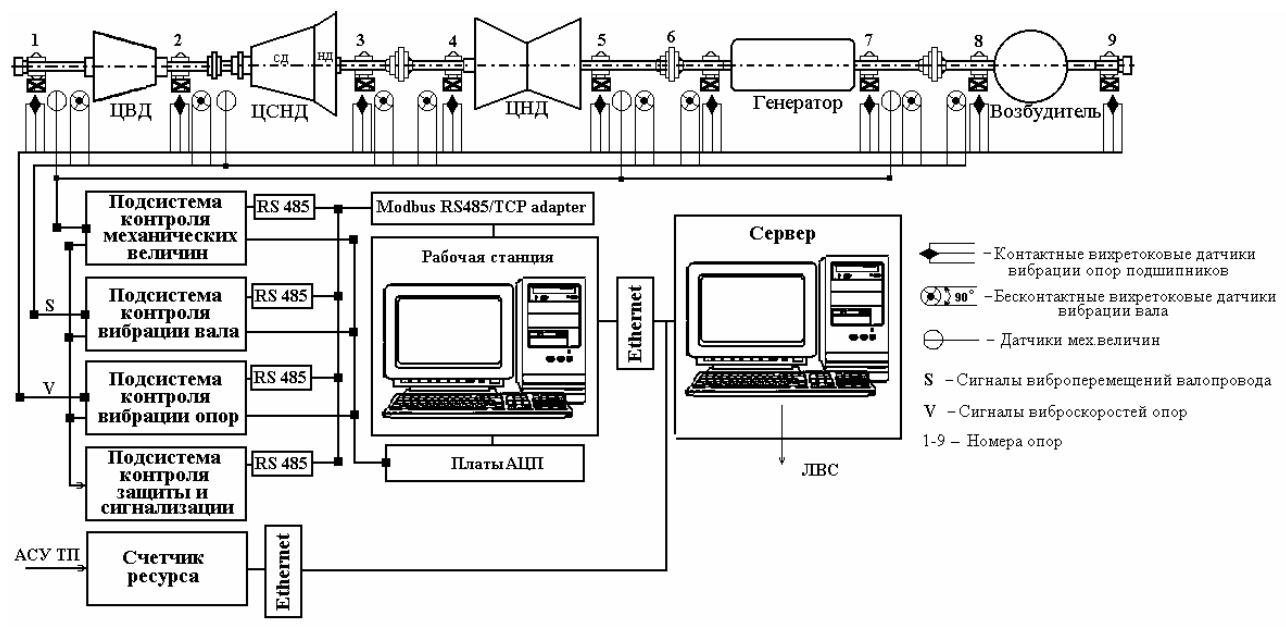


Рис. 2. Структурная схема усовершенствованной современной АСКДВ ТА

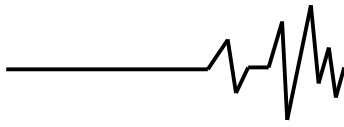
Разработанные стационарные устройства контроля механических величин агрегатов имеют: однотипное схемотехническое решение функциональных преобразователей, что удобно для серийного производства; усилитель-преобразователь ЧМ сигнала с токовихревого датчика (быстродействующий ОУ типа LF357); нормирующий усилитель аналогового сигнала (LF356, OP27); фильтр НЧ с частотой среза 1 кГц (LMV358); модульный импульсный источник питания (PPM05-A-12ZLF), который позволяет работать как от сети переменного тока, так и от резервных источников (АКБ постоянного тока); модуль промышленного интерфейса RS485, протокол MODBUS RTU.

Все устройства однотипные, различие между ними заключается в установке соответствующего программного обеспечения

в микроконтроллер и в подключении соответствующего датчика. Аппаратные средства контроля механических величин и диагностики вибрационного состояния оборудования могут использоваться как автономные измерительные средства, так и в составе диагностических и исследовательских комплексов.

Для подсистемы защит и сигнализации турбоагрегата по параметрам вибрации роторов и опор подшипников на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) совместно с Intech-Union (г. Харьков) разработано устройство сигнализации и формирования сигнала защитного отключения оборудования – УСЗО (рис. 3). Устройство обеспечивает:

– выдачу сигнала защитного отключения в соответствии с логикой работы защиты;



– выдачу сигнала защитного отключения в соответствии с логикой работы защиты (реле, “сухой контакт”);

– запоминание сигналов по логическим входам, на которых присутствовал активный уровень (аварийный уровень вибрации или скачок).



Рис. 3. Внешний вид передней панели УСЗО

Подсистема защиты функционирует следующим образом: с дискретного выхода устройств контроля вибрации вала и опор по событию достижения аварийного уровня или скачка вибрации логические сигналы поступают на соответствующие логические входы УСЗО, где обрабатываются по алгоритмам в соответствии с [5-7, 11]. По результатам обработки информации УСЗО формирует сигналы защиты для сигнализации, защитного отключения оборудования. Далее происходит автоматическая фиксация аварийных сигналов по входу, которые индицируются на передней панели устройства и записываются в электронном журнале ПЭВМ системы.

В системе АСКДВ ТА применяется четыре УСЗО для защиты и сигнализации турбоагрегата по: уровню вибрации роторов, скачку вибрации роторов, уровню вибрации опор, скачку вибрации опор. Все устройства однотипные, различие между ними заключается в установке соответствующего программного обеспечения в ПЛИС.

Для улучшения метрологических характеристик измерительного канала разработаны методики и программы компенсации измеренных значений от температуры (подана заявка на патент) и выравнивания частотной характеристики.

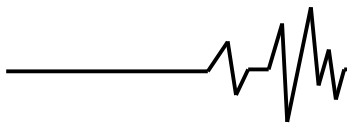
Модификации стоек АСКДВ ТА с устройствами контроля вибрации опор, механических величин и УСЗО приведены на рис. 4.

Для контроля функционирования аппаратных и программных средств АСКДВ ТА разработана методика с использованием мобильных электронных стендов. Мобильный

электронный стенд формирует частотно-модулируемый (ЧМ) сигнал подобный ЧМ-сигналу вихретокового датчика системы и позволяет проверять:

- на обрыв и короткое замыкание линию связи от датчика до устройства контроля;
- выдачу логических сигналов с устройств контроля вибрации вала и опор по превышению параметрами вибрации аварийного уровня и моделировать скачок вибрации;
- логику и уровни срабатывания подсистемы защит;
- функционирование программного обеспечения системы.

По экспериментальным данным, полученным с использованием АСКДВ ТА, выполнена оценка вибрационного состояния турбоагрегата Т-250/300-240. За межремонтный период на стационарном режиме работы турбоагрегата определены среднесуточные значения размахов виброперемещения вала  $S$  и среднеквадратических значений (СКЗ) виброскорости опор  $V$ . Уровень среднесуточных значений размахов виброперемещения вала и СКЗ виброскорости опор ТА не превышает допустимых значений согласно нормативных документов и ПТЭ [5-7]. Спектральным анализом виброперемещения вала не выявлено наличие НЧ и ВЧ вибрации. В спектре преобладает первая оборотная составляющая, другие спектральные составляющие – менее 15 мкм. Исследование динамических податливостей опор, показали, что в рабочем диапазоне частот имеются несколько резонансов, часть которых попадает



на номинальную частоту (50 Гц) и оказывает влияние на уровень вибрации ТА при эксплуатации. В качестве примера на рис. 5 приведены вибрационные характеристики опоры 3 с резонансным пиком в районе номинальной частоты вращения. Аналогичная

картина наблюдается на опорах 5 и 7. Вибрационные характеристики опор 1 и 2 имеют резонансный пик 30 и 45 мкм на частоте 22-24 Гц, а виброхарактеристики опор 8, 9 - резонанс 60 и 75 мкм на частоте 17 Гц.

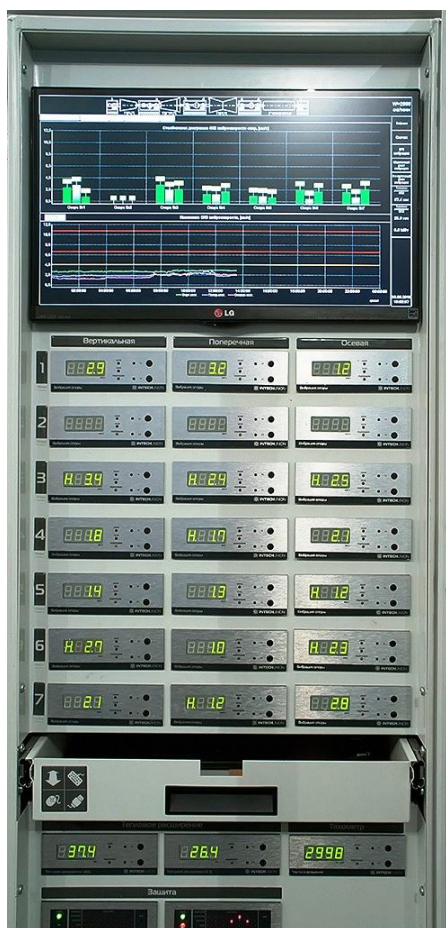


Рис. 4. Внешний вид АСКДВ ТА

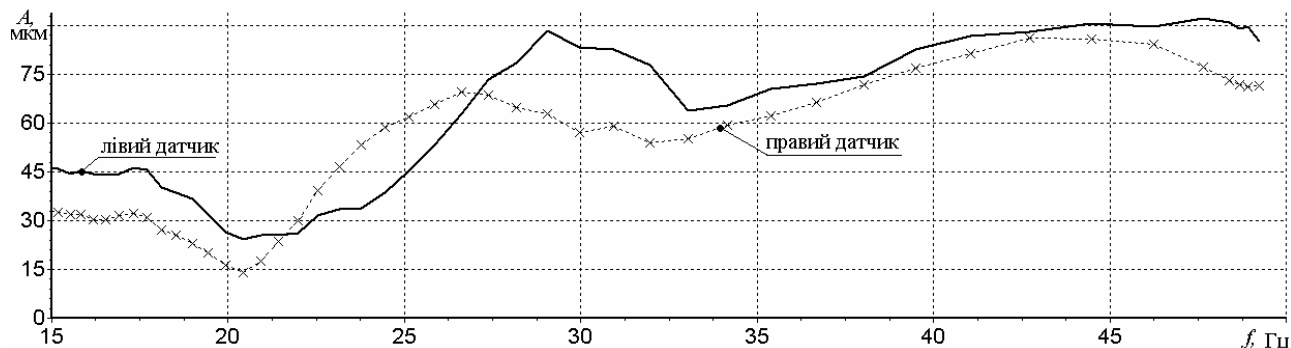
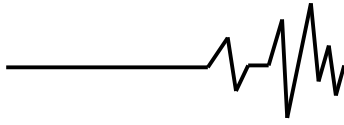


Рис. 5. Изменение оборотной гармонической составляющей виброперемещения вала (опора 3)



В целом вибрационное состояние ТА Т-250/300-240 можно считать удовлетворительным.

Для оперативной или периодической оценки вибросостояния роторных агрегатов, не охваченных стационарными системами виброконтроля, а также для проведения специальных диагностических процедур (контурный обход, балансировка), в ИПМаш НАН Украины разработан мобильный измерительный комплекс на базе нетбука. Технические средства комплекса включают средства измерения параметров механических колебаний (виброперемещений вала и опор подшипников) и средства автоматизированного сбора, регистрации, обработки, отображения, сохранения и архивирования данных о параметрах агрегата [12].

Мобильный измерительный комплекс обеспечивает:

- одновременное измерение и регистрацию сигналов относительного виброперемещения ротора, виброскорости подшипниковых опор и сигнала от метки на валу для синхронизации измерений и обработки сигналов вибрации (максимальное количество измерительных аналоговых каналов 32);

- определение и визуализацию размаха относительного виброперемещения ротора, среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости опоры;

- определение и визуализацию спектральных характеристик вибрации ротора и опор в диапазоне 3-1000 Гц с шагом 1,5 Гц;

- сигнализацию о превышении допустимых величин параметров вибрации ротора и опор;

- визуализацию вибросигналов (виброперемещения и виброскорости) и траекторий движения вала в плоскости подшипника и фазовых траектории опор подшипников;

- расчеты пробной и уравнивающей симметричной и кососимметричной системы грузов уравнивания (вес и угол установки);

- векторное сложение (разложение) уравнивающих грузов по углам ротора и вдоль ротора;

- представление неуравновешенности в виде модуля веса и угла или в виде векторов в графической форме;

- формирование выбеговых и пусковых характеристик турбоагрегата;

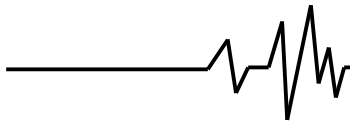
- визуализацию, печать и архивирование полученных результатов;

- постанализ записанной информации.

Для оценки вибросостояния турбоагрегата К-200-130 ЛМЗ с генератором ТГВ-200М и выработки рекомендаций по снижению уровня вибрации и определения причин разрушений вкладыша подшипника первой опоры проведены виброисследования с использованием мобильного измерительного комплекса. Измерение и регистрация параметров вибрации опор проводилось параллельно по 5 каналам с синхронизацией от фазовой метки. Осциллограммы виброскорости регистрировались при номинальной нагрузке ТА и на различных режимах работы ТА (разгрузка от номинальной мощности до 130 МВт, работа при нагрузке 130 МВт, нагружение от 130 МВт до номинальной нагрузки и работа на скользящих параметрах).

Анализ полученных данных показал, что повышенный уровень осевой вибрации на первой опоре зависит от давления паропотока и режимов эксплуатации энергоблока. При работе ТА на скользящих параметрах относительное изменение СКЗ виброскорости опоры 1 в вертикальном направлении больше по отношению к СКЗ виброскорости в поперечном и осевом направлениях, что косвенно говорит о росте вибрации вала в вертикальном направлении. Причинами, вызывающими осевую вибрацию на опоре № 1, может быть: неравномерность и пульсация паропотока, эксплуатационная расцентровка опор № 1, № 2 под воздействием нагрева фундамента, тепловой прогиб ротора цилиндра высокого давления (ЦВД), дефекты в жесткой муфте ротора высокого давления (РВД) – ротора среднего давления (РСД), виброактивность опорного узла 1.

Для уточнения причин вызывающими осевую вибрацию на опоре № 1 были проведены замеры виброперемещения вала в расточке подшипника № 1. Было выявлено, что уровень вибрации вала в опоре № 1 сопоставим с зазором в подшипнике (размах виброперемещения достигает 800 мкм и более в поперечном направлении и 250-300 мкм в вертикальном направлении). Из графика виброперемещения вала в вертикальном направлении (рис. 6) видно, что синусоида в нижней части полуволны имеет “срез”, это может указывать на задевание ротора о нижний вкладыш подшипника. Спектр виброперемещения вала обогащен высокочастотными составляющими 100, 150, 200 Гц (рис. 6). Это также подтверждает предположение о задевании ротором баббита вкладыша подшипника. Такой же спектр, обогащенный высокочастотными



составляющими виброскорости, наблюдается и по опоре.

На рис. 7 изображена траектория относительного движения шейки вала в

расточке подшипника опоры № 1, которая построена по двум составляющим, фиксированным последовательно.

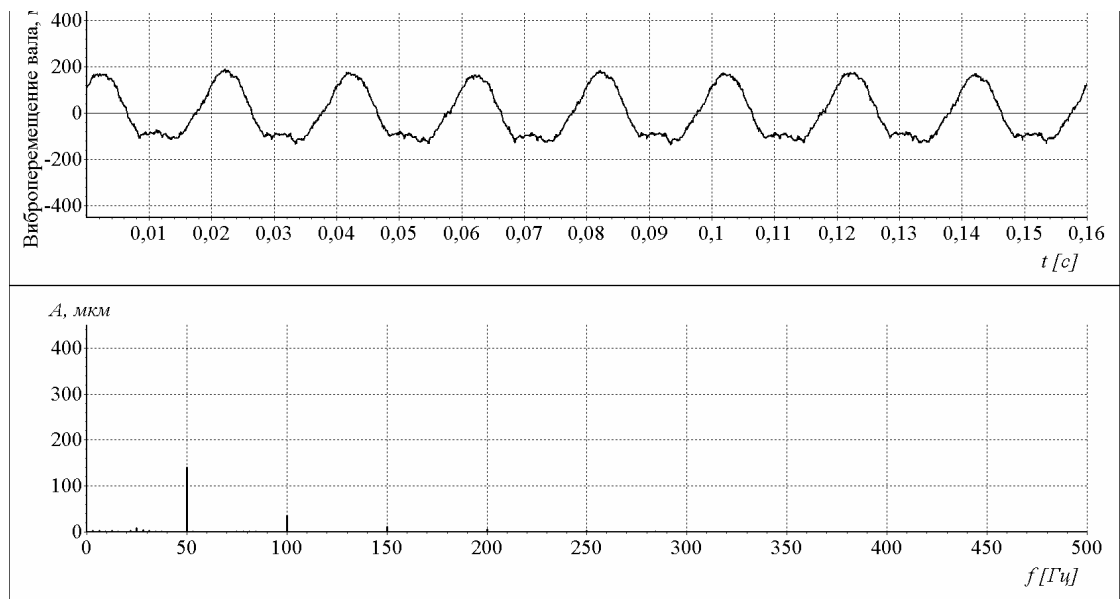


Рис. 6. Осциллограмма виброперемещения вала (опора № 1) и ее спектр

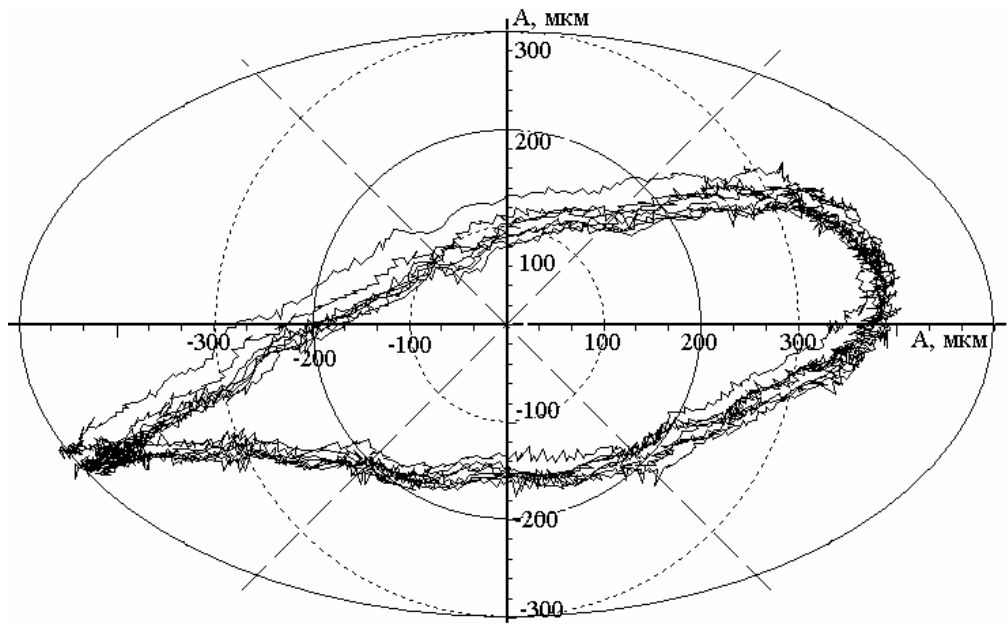
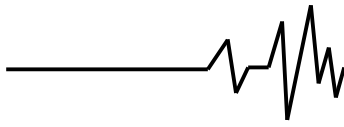


Рис. 7. Траектория относительного движения центра вала в расточке подшипника (опора № 1)

Разрушение вкладыша подшипника первой опоры, очевидно, происходит из-за значительной вибрации ротора ЦВД (и касания его о вкладыш), которая может быть вызвана его неуравновешенностью, тепловым прогибом, пульсацией давления в регулирующих клапанах, колебаниями стула и,

возможно, трещиной в роторе. Для уточнения диагноза необходимы дополнительные исследования вибрации не только опор, но и вала, что технологически невозможно сделать на работающем агрегате без установки соответствующей аппаратуры контроля вибрации вала. Кроме того, необходимо



наблюдение за трендами вибропараметров вала и траекториями движения шейки ротора в расточке подшипника не только на опоре № 1, но и остальных опорах. Значительная осевая вибрация первой опоры, возникает вследствие влияния вибрации вала и касания его о вкладыш подшипника и поддерживается неуравновешенными нагрузками от паропотока и его пульсацией, виброактивностью первой опоры, кручением и осевыми деформациями ригеля, тепловыми расширениями первой рамы фундамента и вибрацией стула. Осевая вибрация первой опоры не является основной причиной разрушения вкладыша подшипника первой опоры, хотя и способствует этому. Рекомендовано уменьшить неуравновешенность паропотока и его пульсацию при подаче на регулируемую ступень. Провести дефектоскопию и балансировку ротора ЦВД а также провести работы по укреплению ригеля фундамента для исключения опрокидывания стула и расцентровки опор. Также предложено установить штатную систему вибродиагностики для обеспечения непрерывного наблюдения за трендами вибропараметров роторов и опор и своевременного предупреждения развития нештатных ситуаций.

**Выводы.** Создана современная автоматизированная система с распределенными вычислительными и информационными ресурсами контроля и диагностирования вибросостояния турбоагрегата. АСКДВ ТА удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов и обеспечивает:

- непрерывный контроль параметров вибрации роторов и опор и механических величин на всех режимах работы ТА;

- реализацию технологических защит и сигнализации турбоагрегата по параметрам вибрации роторов, опор и осевому сдвигу ротора;

- предупреждение аварийных ситуаций и их развития, регистрация событий и аварийных ситуаций.

- визуализацию текущих значений измеренных вибрационных и механических параметров, отображение осциллограмм, спектрограмм вибрации и других вычисленных значений параметров вибрации на дисплее, а также отображение частоты вращения ротора на выносной индикации;

- архивирование полученных данных;

- выявление развития виброопасных дефектов турбоагрегата путем контроля изменений вибрационных параметров роторов и опор турбоагрегата;

– оценку термонапряженного состояния и срабатывания ресурса высокотемпературных роторов.

Предложенные стационарные и мобильные средства вибродиагностики с разработанным методическим и программным обеспечением вибродиагностического модуля могут быть адаптированы под нужды Заказчика. Опыт эксплуатации предложенных аппаратных средств и методического обеспечения подтверждает возможности более широкого применения и дальнейшего их развития для решения задач повышения надежной работы эксплуатации энергетического оборудования.

#### Список использованных источников

1. Шульженко Н.Г. Задачи термпрочности, вибродиагностики и ресурса энергоагрегатов (модели, методы, результаты исследований): монография / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Б.Ф. Зайцев. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011.–370 с.

2. Помехоустойчивые измерители вибрации и их применение в динамике машин / Н.Г. Шульженко, Л.Д. Метелев, В.И. Цыбулько, Ю.Г. Ефремов // Вибрации в технике и технологиях.– 2005.– № 2(40).– С. 104–107.

3. Технология оценки причин повышенной вибрации турбоагрегатов / Н.Г. Шульженко, Ю.Г. Ефремов, В.И. Цыбулько, А.В. Депарма // Вибрации в техніці та технологіях. – 2012. – № 1 (65). – С. 89–92.

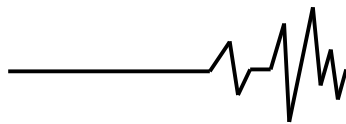
4. Анализ повреждаемости оборудования турбин ТЭС / П.Н. Плотник, Б.Е. Мурманский, А.С. Руденко // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков.– 2000. – С. 327 – 333.

5. 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.

6. 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.

7. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила / ОЕП "Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики". – Київ, 2003. – 597 с.





8. Визначення розрахункового ресурсу та оцінка живучості роторів і корпусних деталей турбін: СОУ-Н МВВ 40.1-21677681-52:2011. – К.: ОЕП "ГРІФРЕ": М-во енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 42 с. – (Нормативний документ Міненерговугілля України. Методичні вказівки).

9. Аппаратное и программное обеспечение системы контроля и анализа тепломеханических величин энергетических агрегатов [Электр. ресурс] / Н.Г. Шульженко, Ю.Г. Ефремов, В.И. Цыбулько, А.В. Депарма и др. // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: тр. XIV междунар. науч.-техн. конф. Секция 3. – Харьков: ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); цв.; 12 см. – 7 с.

10. Розробка системи діагностики термонапруженого стану та лічильника ресурсу роторів турбін (проект 2.10) / М.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровський, Ю.І. Матюхін, Н.Г. Гармаш, В.П. Гонтаровський // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»: збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2010 – 2012 рр. – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – Київ, 2012. – С. 250–256.

11. СО 34.35.105-2002. Методические указания по оснащению техническими средствами технологической защиты при повышении вибрации турбоагрегата. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 35 с.

12. Мобільні засоби оцінки вібраційного стану енергетичних агрегатів / М.Г. Шульженко, Ю.Г. Ефремов, В.І. Цыбулько, О.В. Депарма // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплофізичні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 12(1055). – С. 104–110.

#### Список источников в транслитерации

1. Shulzhenko N.G. Zadachi termoprochnosti, vibrodiagnostiki i resursa energoagregatov (modeli, metody, rezultaty issledovaniy): monografiya / N.G. Shulzhenko, P.P. Gontarovskiy, V.F. Zaytsev. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 370 s.

2. Pomehoustoychivye izmeriteli vibratsii i ih primeneniye v dinamike mashin / N.G. Shulzhenko, L.D. Metelev, V.I. Tsybulko, Yu.G. Efremov // Vibratsii v tehnike i tekhnologiyakh. – 2005. – № 2(40). – С. 104–107.

3. Tehnologiya otsenki prichin povyshennoy vibratsii turboagregatov / N.G. Shulzhenko, Yu.G. Efremov, V.I. Tsybulko,

A.V. Deparma // Vibratsii v tehnike i tekhnologiyakh. – 2012. – № 1 (65). – С. 89–92.

4. Analiz povrezhdaemosti oborudovaniya turbin TES / P.N. Plotnik, B.E. Murmanskii, A.S. Rudenko // Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya: sb. trudov Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. – Kharkov. – 2000. – С. 327–333.

5. Agregaty paroturbinnye statsionarnye. Normy vibratsii valoprovodov i obschie trebovaniya k provedeniyu izmereniy: GOST 27165-97. – Vzamen GOST 27165-86; vved. 1999-07-01. – М.: ИПК Изд-во standartov, 1998. – 8 s.

6. Agregaty paroturbinnye statsionarnye. Normy vibratsii opor valoprovodov i obschie trebovaniya k provedeniyu izmereniy: GOST 25364-97. – Vzamen GOST 25364-88; vved. 1999-07-01. – М.: ИПК Изд-во standartov, 1998. – 6 s.

7. Tehnichna ekspluatatsiya elektrichnyh stantsiy i merej. Pravila / OEP "Galuzeviy rezervno-investitsiynny fond rozvytku energetyky". – Kyiv, 2003. – 597 s.

8. Vznachennya rozrahunkovogo resursu ta otsinka zhivuchosti rotoriv korpusnyh detaley turbin: SOU-N MEV 40.1-21677681-52:2011. – К.: ОЕП "ГРІФРЕ": М-во енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 42 с. – (Нормативний документ Міненерговугілля України. Методичні вказівки).

9. Аппаратное и программное обеспечение системы контроля и анализа тепломеханических величин энергетических агрегатов [Электр. ресурс] / N.G. Shulzhenko, Yu.G. Efremov, V.I. Tsybul'ko, A.V. Deparma i dr. // Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya: tr. XIV mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Sektsiya 3. – Kharkov: IPMash im. A.N. Podgorного НАН Украины, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); tsv.; 12 см. – 7 с.

10. Rozrobka sistemy diagnostyki termonapruzhenogo стану та лічильника ресурсу роторів турбін (проект 2.10) / М.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровський, Ю.І. Матиюхін, Н.Г. Гармаш, В.П. Гонтаровський // Цільова комплексна програма НАН України "Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкції, споруд та машин": збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2010 – 2012 рр. – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – Київ, 2012. – С. 250–256.

11. СО 34.35.105-2002. Методические указания по оснащению техническими средствами технологической защиты при повышении вибрации turboagregata. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 35 с.



12. Mobilni zasoby otsinki vibratsiinogo stanu energetichnih agregativ / M.G. Shulzhenko, Yu.G. Efremov, V.I. Tsybul'ko, A.V. Deparma // Visnik NTU "HPI". Seriya: Energetichni ta teplofizichni protsesy y ustatkuvannya. – Khar'kov: NTU "HPI", 2014. – № 12(1055). – S. 104–110.

#### ВИБРОДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРНИХ АГРЕГАТИВ АВТОМАТИЗОВАНИМИ СТАЦІОНАРНИМИ ТА МОБІЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

**Анотація.** Описуються технічні характеристики й функціональні можливості нових апаратних засобів і програмного забезпечення для створеної раніше автоматизованої стаціонарної системи діагностування вібраційного стану турбоагрегату. Поліпшення метрологічних і експлуатаційних характеристик вимірювальних каналів розширені функціональні можливості системи. Створено нові підсистеми: контролю механічних величин, захистів і сигналізації турбоагрегата по параметрах вібрації роторів і корпусів підшипників. Описується методика перевірки функціонування системи з використанням мобільних електронних стендів. Для мобільного контролю й оцінки технічного стану роторного устаткування створено вібровимірювальний комплекс на базі нетбука. Приводяться приклади вібродослідження турбоагрегатів T250/300-240 і K-200-130 з використанням автоматизованої стаціонарної системи вібродіагностики й створеного мобільного

вібровимірювального комплексу. Вироблено рекомендації зі зниження рівня вібрації в підшипниках.

**Ключові слова:** валопровід, вібродіагностика, вихорострумний датчик, мобільний комплекс, система діагностики, турбоагрегат.

#### VIBRODIAGNOSTICS OF ROTORS USING AUTOMATIC STATIONARY AND PORTABLE SYSTEMS

**Annotation.** Technical characteristics and functional capabilities of new hardware and software for recently created automatic stationary system for diagnostics of vibration of turbine are described. Functional capabilities of the system are expanded by improving metrological and operational characteristics of channels. New subsystems are created: subsystem of control of mechanical values, subsystem of protection and signaling of turbine by rotor vibration and bearing housing parameters. Method for examination of system operation using portable electronic stand is described. Netbook based vibrodiagnostic complex is created for control and estimation of technical condition of rotor equipment. As an example, vibration analysis of T250/300-240 and K-200-130 turbines using automatic stationary vibrodiagnostic system and portable vibrodiagnostic complex is shown. Recommendation about decreasing of vibration level in bearings is proposed.

**Key words:** shafting, vibrodiagnostics, eddy current sensor, portable complex, system of diagnostics, turbine.