

## ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ГЦН ЭНЕРГОБЛОКА БН-600

**Е.Ю. Баданин, В.А. Дрозденко**

*Белоярская АЭС, г. Заречный*



В статье приведены отдельные примеры оперативного анализа и диагностики вибрационного состояния крупных агрегатов ГЦН энергоблока БН-600. Рассмотрены взаимосвязь и влияние технологических параметров на вибрационную надежность функционирования агрегатов.

**Ключевые слова:** вибрация, главный циркуляционный насос, диагностика, диаграмма, спектр.

**Key words:** vibration, primary/secondary sodium pump, failure diagnosis, spectrogram, spectrum.

Функционирование крупных агрегатов, обеспечивающих устойчивую и надежную работу энергоблока, таких как главные циркуляционные насосы (ГЦН), во многом зависит от исходного и текущего вибрационного состояния. Хорошо отбалансированные и подготовленные агрегаты способны обеспечивать продолжительные включения и несение стабильных нагрузок. Мониторинг и анализ эпизодических незначительных отклонений вибрации позволяет прогнозировать устойчивые и предсказуемые тенденции работы агрегатов.

ГЦН энергоблока БН-600 обеспечивают циркуляцию жидкометаллического натрия по соответствующим теплоотводящим трактам. Каждый из 6 агрегатов ГЦН первого и второго контуров оснащен стационарной системой контроля вибрации на базе аппаратуры «Каскад». Периодические виброисследования и диагностика текущего состояния ГЦН производятся с помощью мобильной системы диагностики [1, 2], в состав которой входит сертифицированная аппаратура фирмы «Брюль и Кьер» и НПО «РОС».

Виброконтроль и периодические виброисследования ГЦН позволяют отслеживать незначительные изменения вибрации. Так, например, на одном из агрегатов первого контура было выявлено изменение величин вибрации. Детальный анализ и обследование текущих параметров и вибрационных характеристик позволил выявить первоисточники и причины такого изменения.

На рис. 1 приведены показательные диаграммы протекания вибрации и сопутствующие технологические параметры в течение нескольких суток. За этот период произошла стабилизация параметров вибрации на новых величинах. Проведенный анализ влияния технологических параметров и уровней виброскорости позволил определить показатели корреляции модуля виброскорости  $M_{скз}$  и температуры металла подшипников  $T_{п01, 2, 3}$  ГЦН.

---

© **Е.Ю. Баданин, В.А. Дрозденко, 2009**

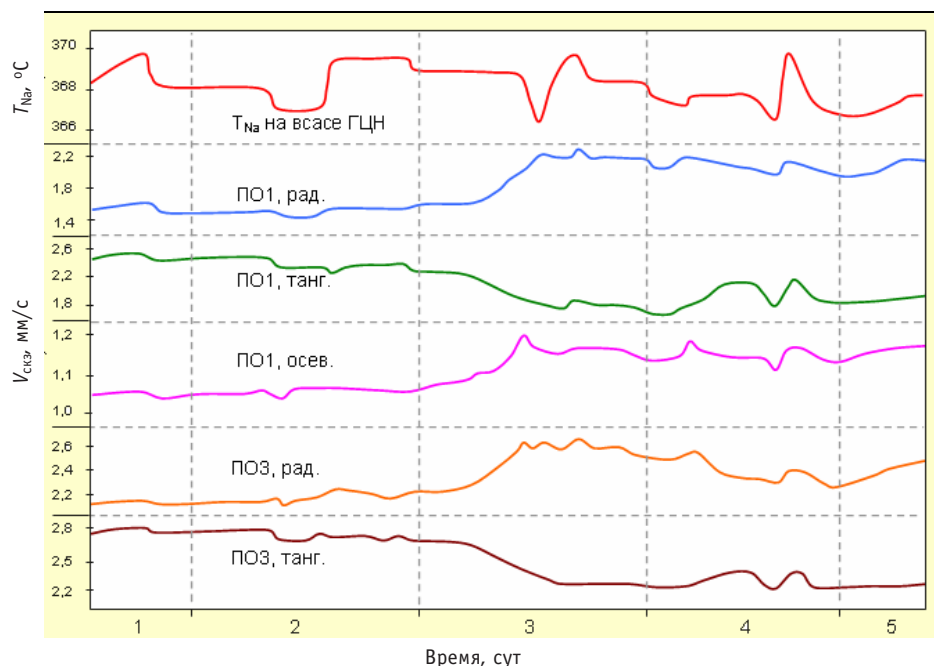


Рис. 1. Временные диаграммы изменения вектора вибрации на агрегате

Было выявлено, что на агрегате ГЦН первого контура произошел разворот вектора вибрации в сторону радиального компонента. При этом модуль вибрации на подшипниковых опорах ГЦН практически не изменился. Результаты предыдущего и нового вибросостояния – перехода за промежуток времени около пяти суток приведены в табл. 1. Этот разворот произошел в связи с флуктуациями температуры натрия на всасе ГЦН  $\Delta T_{\text{Na}} \sim 3\text{--}4^\circ\text{C}$  в допустимых регламентом пределах.

В данном случае исследуемый агрегат имел положительный показатель корреляции. Причины, побудившие такой процесс изменения вектора вибрации на агрегате, связаны с приработкой изнашивающихся элементов трения, незначительными усталостными послаблениями отдельных элементов конструкции и перераспределением (изменением) связей жесткости.

Анализ временных диаграмм вибросигналов ГЦН второго контура показал, что на агрегате наблюдаются колебания тангенциального компонента вибрации корпуса электродвигателя. На рис. 2 представлены временная диаграмма и спектр такого колебания вибросигналов. Детальный анализ спектрограмм вибросигналов выявил, что в районе действия амплитуды первой оборотной частоты враще-

Таблица 1

### Значения виброскорости технологических параметров ГЦН до и после изменения вектора вибрации

№	Величины виброскорости $V_{\text{св}}$ , мм/с							Величины технологических параметров				
	Подшип. опора ПО1				Подшип. опора ПО3							
	рад.	танг.	осев.	Модуль	рад.	танг.	Модуль	$n$ , об/мин	$T_{\text{ПО1}}$ , °C	$T_{\text{ПО3}}$ , °C	$T_{\text{Нв}}$ , °C	$T_{\text{возд.}}$ , °C
1	1,5	2,4	1,1	3,1	2,1	2,8	3,5	961	46	51	367	28
2	2,1	1,8	1,2	3,0	2,5	2,1	3,3	962	46	51	367	26

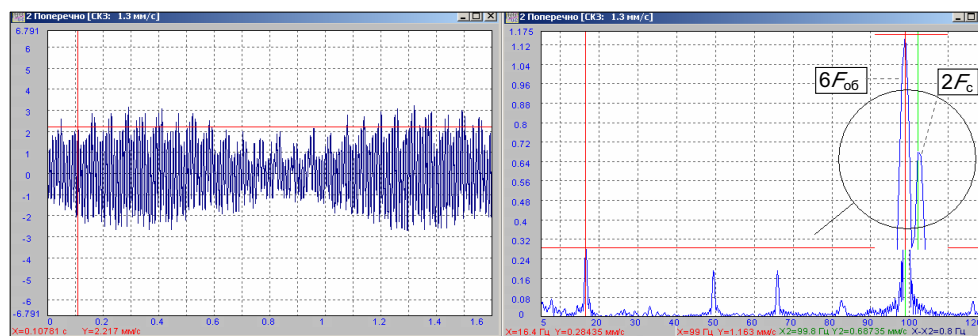


Рис. 2. Диаграмма и спектр биения амплитуд вибрации на агрегате

ния  $1F_{об}$ , тангенциальных колебаний подшипниковых опор электродвигателя присутствуют небольшие по величине боковые амплитуды (лепестки), отстоящие от основной частоты колебаний на  $\pm \Delta f_T \sim 1\text{--}1,2$  Гц.

Кроме того, в районе участка 100 Гц частотного диапазона спектра вибросигналов располагаются две близко стоящие амплитуды вибрации: амплитуда лопастной частоты вращения  $6F_{об} \sim 99$  Гц и амплитуда двойной сетевой частоты  $2F_c \sim 100$  Гц. На рис. 2 этот участок выделен в отдельном окне, увеличенном по частоте. Такое близкое расположение амплитуд проявляется в виде биения, обусловленного действием моментов тангенциальных сил, – флуктуации реактивной мощности электропривода и пульсирующего крутильного момента лопастной частоты вращения.

По функциональным показателям характер протекания этих колебаний на агрегате имеет стационарный стабильный ход, обозначен и контролируется. По параметрическим показателям эти колебания незначительные, имеют большой запас до выхода за допустимые пределы, а также не имеют тенденции развития.

В соответствии с регламентом технического обслуживания щеточно-контактных аппаратов (ЩКА) ГЦН производятся замеры вибрации контактных колец электродвигателей. Во время проведения одного из техобслуживаний на одном из агрегатов ГЦН была выявлена повышенная вибрация одного из трех колец ЩКА. Оперативно были проведены регистрация вибрационных характеристик и дополнительные спектральные исследования сигналов вибрации ЩКА. В результате диагностирования были выявлены гармонические колебания контактных колец на основной частоте вращения агрегата. Наибольшая величина этих колебаний регистрировалась на третьем контактном кольце. Признак дефекта этого контактного кольца квалифицировался как несоосность. Один из фрагментов результатов регистрации вибрационных показателей ЩКА с усреднением по трем замерам представлен на рис. 3.

Достоверность и точность прогнозирования состояния агрегата зависят от глубины ретроспективной базы замеров и регулярности их проведения.

Прогнозирование технического состояния агрегатов в процессе исследований и диагностики основывалось на экстраполяции ретроспективных данных о состоянии того или иного агрегата за достаточно длительный интервал.

Следующий фрагмент (отдельные виброхарактеристики) текущего состояния одного из агрегатов ГЦН первого контура представлен на рис. 4. Эти показательные спектрограммы сигналов частично характеризуют вибрационное состояние насосного механизма – выемной части агрегата.

Максимальные величины виброскорости на подшипниковой опоре (ПОЗ) выемной части этого агрегата ГЦН-1 составляли  $V_{скз} \sim 2,9$  мм/с или около 64% от

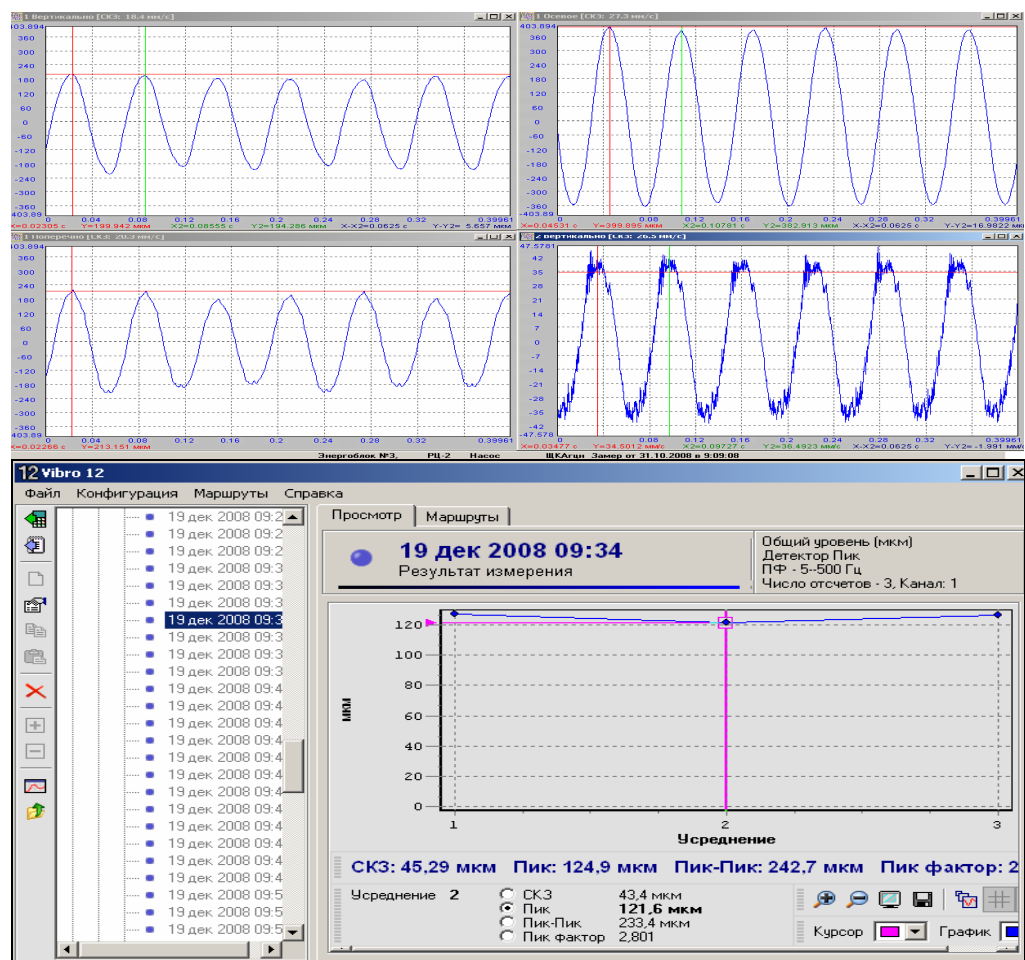


Рис. 3. Фрагменты результатов регистрации вибрации ЩКА ГЦН

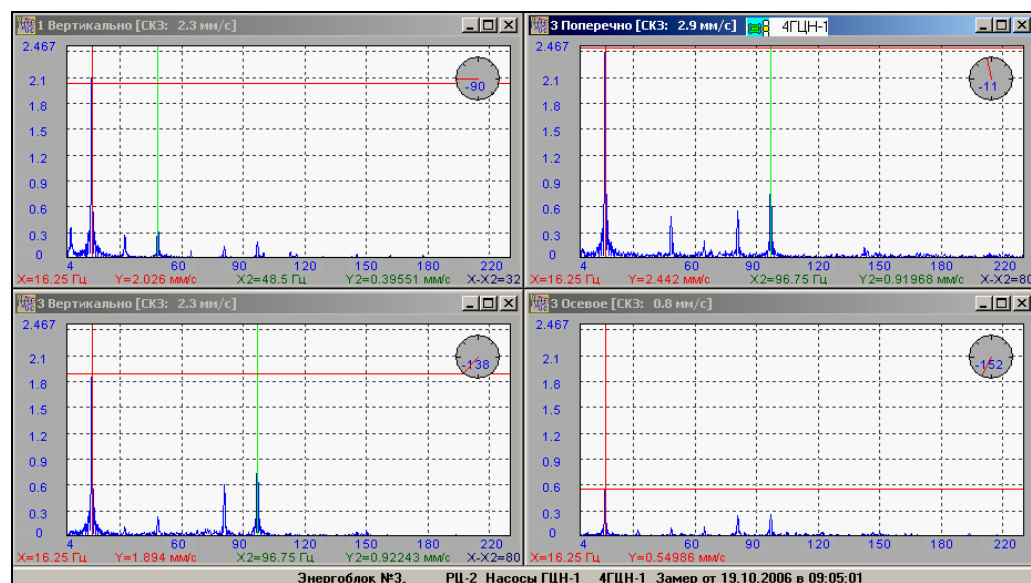


Рис. 4. Показательные спектрограммы сигналов виброскорости ГЦН-1: 1 – P01, радиальный компонент; 2 – P03, радиальный компонент; 3 – P03, тангенциальный компонент; 4 – P03, осевой компонент

допустимого значения виброскорости ( $V_{\text{СКЗ-д}} = 4,5 \text{ мм/с}$ ) [3–5]. На насосном механизме (выемной части) диагностировались незначительные по величине признаки отклонений от нормалей – характерные признаки небаланса (вклад в  $V_{\text{СКЗ}} \sim 0,7 \text{ мм/с}$ ) и гидродинамические явления (вклад которых в общее значение  $V_{\text{СКЗ}} \sim 1,0 \text{ мм/с}$ ).

На втором агрегате эти величины виброскорости составили  $V_{\text{СКЗ}} \sim 2,6 \text{ мм/с}$  или около 58% от допустимого значения. При этом на механизме диагностировались также незначительные по величине характерные признаки небаланса (вклад в  $V_{\text{СКЗ}} \sim 0,3 \text{ мм/с}$ ) и гидродинамические явления (вклад в  $V_{\text{СКЗ}} \sim 0,8 \text{ мм/с}$ ).

На третьем агрегате величины виброскорости составили  $V_{\text{СКЗ}} \sim 2,3 \text{ мм/с}$  или около 51% от допустимого значения. На механизме диагностировались незначительные по величине характерные гидродинамические признаки (вклад которых в общее значение составлял  $V_{\text{СКЗ}} \sim 0,7 \text{ мм/с}$ ).

Вклад величин механических колебаний от действия лопаточного аппарата выемной части в общие картины спектров не превышал 30–35%.

На основании представленных сведений ретроспективы текущего вибромониторинга и диагностики агрегатов ГЦН первого контура было сделано заключение, что тенденции протекания вибрации на выемной части насосных агрегатов носят плавный характер, имеют предсказуемые диагностируемые признаки и достаточный для нормальной эксплуатации запас.

На основании результатов прогнозирования технического состояния агрегатов ГЦН первого контура за длительный период (5–6 лет) было принято решение о продлении межремонтного периода и переносе последовательных сроков замены выемных частей ГЦН на один год.

Проведение только некоторых из перечисленных мероприятий мониторинга и диагностирования, их освещение и раскрытие обеспечивают высокий уровень устойчивости агрегатов к появлению отклонений и аномалий. Они могут являться хорошей базой для внедрения автоматизированных систем вибродиагностики агрегатов ГЦН, обеспечивающей существенное повышение надежности эксплуатации.

### Литература

1. Шейнкман А.Г., Козырев В.Д., Дрозденко В.А., Соркин Д.М. Развитие систем диагностики процессов и оборудования энергоблока с реактором БН-600. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994.
2. Дрозденко В.А., Козырев В.Д., Шейнкман А.Г. Разработка и внедрение подсистемы диагностики главных циркуляционных насосов энергоблока БН-600/ Всесоюзное научно-техническое совещание «Техническая диагностика и эксплуатационный контроль на АЭС: состояние и перспективы развития»: Тезисы докладов (Калининская АЭС, 1990). – М.: ВНИИАЭС, 1990.
3. ГОСТ Р ИСО 10816-3-99. «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 3».
4. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996.
5. Вибрации в технике: Справочник. Том 6. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981.

Поступила в редакцию 30.03.2009

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

---

### **УДК 621.039.526**

*BN-600 Liquid Metal Reactor – Main Features and Operating Experience/N.N. Oshkanov, P.P. Govorov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 14 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 5 titles.*

The main design features of the BN600 liquid metal fast reactor, its advantages and disadvantages, the technical and economic indicators achieved for 29 years of operation and the operating experience from the main sodium equipment are considered. The incidents and events involving the reactor power reduction are presented. The actions aimed at extending the operating lifetime of BN600 are highlighted.

### **УДК 621.039.526**

*Utilization of the Beloyarsk NPPs Experience in the Field of the Nuclear Superheating when Developing the Nuclear Reactors of the New Generation with the Increased and Supercritical Parameters of Coolant/A.A. Petrov, A.A. Romenkov, O.A. Yarmolenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 6 titles.*

The article discusses the issues of the utilization of the Beloyarsk NPPs experience in the field of the nuclear superheating for the justification of the presently developed reactors with the supercritical coolant parameters.

### **УДК 621.039.526**

*On-line Failure Diagnosis and Vibration Reliability of the BN-600 Power Unit Primary and Secondary Sodium Pumps/E.Yu. Badanin, V.A. Drozdenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations. – References, 5 titles.*

The article presents separate examples of the on-line analysis and failure diagnosis of the vibration conditions of the large components of the BN-600 power unit primary and secondary sodium pumps. The interrelation and the influence of the process parameters on the vibration reliability of the functioning of the units are considered.

### **УДК 621.039.526**

*Trial Use of the JOKER Software Package for the Justification of the Safe BN-600 Reactor Operation under Transients/E.V. Balakhnin, A.V. Gavrilov, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 3 titles.*

The article presents the Beloyarsk NPP work on the development of the JOKER software package database of the actual equipment of the BN600 reactor designated for the justification of the safe operation of the reactor under transients. The example of the calculation of the actual parameters of the primary sodium pump and the fragment of the database on equipment are given.

### **УДК 621.039.564.5**

*Vibroacoustic Methods of the Location of the Leak of the Irradiated Fuel Cooling Ponds/A.I. Beltyukov, P.P. Govorov, V.A. Drozdenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 6 illustrations. – References, 3 titles.*

This paper presents the results of the conducted investigation in support of the location of the leak on the basis of the vibroacoustic signals emerging during the liquid leak. The auxiliary devices and the ways of the installation of the sensors are discussed.