

---

---

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

---

---

УДК 681.518.5

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИБРАЦИОННОГО  
КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ САЭС**

© 2015 г. С.В. Василенко, Ю.Н. Елжов, О.Ю. Пугачева

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

Расширение объема контроля технического состояния оборудования АЭС позволяет оптимизировать сроки ремонта и сократить затраты на его проведение, повышает общую эксплуатационную безопасность реакторных установок. Работы в этом направлении уже на протяжении длительного времени ведутся в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ.

В работе содержится краткое описание автоматизированной системы вибрационного контроля, разработанной НИИ АЭМ и внедренной на энергоблоке №2 Смоленской АЭС.

*Ключевые слова:* насос, вибрация, датчик, система.

Поступила в редакцию 05.05.2015

В течение 2013-2014 годов в НИИ атомного энергетического машиностроения ВИТИ НИЯУ МИФИ была спроектирована, реализована и введена в эксплуатацию на Смоленской АЭС система виброакустического контроля (СВК) насосных агрегатов КО СУЗ. Тем самым было поставлено под постоянный контроль состояние одной из важных для безопасности систем САЭС – насосов контура охлаждения системы управления и защиты (НКО СУЗ). Следует отметить, что проектом РУ с РБМК-1000 наличие штатных средств параметрического контроля НКО СУЗ (датчиков расхода, давления, температуры среды) не предусмотрено.

**ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ**

Система охлаждения СУЗ РУ с РБМК-1000 включает в себя четыре насосных агрегата, два из которых постоянно находятся в работе, а два других – в резерве/ремонте. Каждый насосный агрегат занимает отдельное помещение (008/4-008/6, 008/8) и состоит из двух компонент:

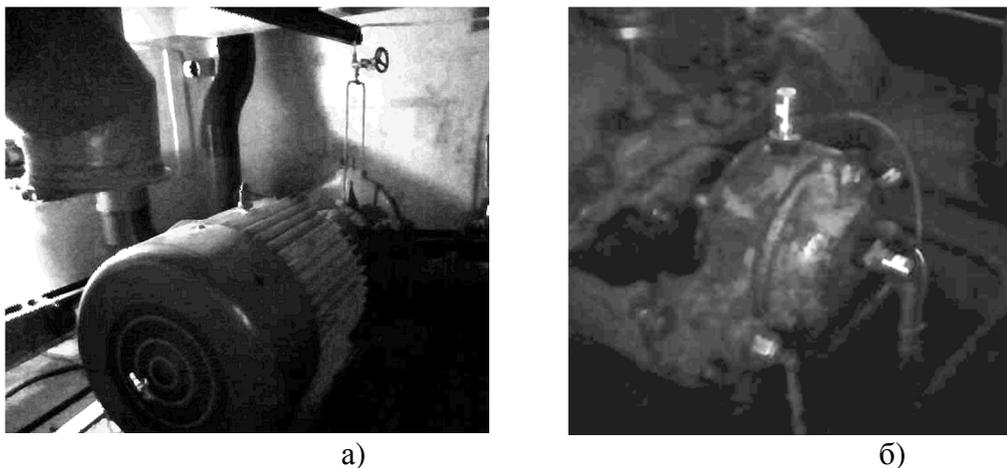
1) насос 8НДВ-Х, центробежный, горизонтальный, высоконапорный, для агрессивных сред, частота вращения 1450 мин<sup>-1</sup>, диаметр напорного патрубка 200 мм. Вал насоса имеет два подшипника – радиальный (со стороны привода) и радиально-упорный с противоположной стороны;

2) электродвигатель АО 4-355Х-4У2, асинхронный, мощностью 250 кВт.

Ввиду большой удаленности места оператора системы от объектов контроля система разрабатывалась как многоуровневая.

Первый уровень системы включает в себя первичные преобразователи (датчики) и устройства формирования сигнала (вторичные преобразователи), размещенные в помещениях насосных агрегатов. В качестве датчиков вибрации выбраны однокомпонентные датчики виброскорости AV04 (ООО «ГлобалТест») с магнитными креплениями (рисунок 1б). На каждом насосном агрегате размещается 8 таких датчиков (5 – в районе подшипниковых опор насоса, 3 – в районе подшипников

электродвигателя) и 1 вихретоковый датчик вращения с трансмиттером.



**Рис. 1.** – Объект контроля: а) общий вид агрегата со стороны привода; б) установка датчиков вибрации на радиально-упорном подшипнике насоса

### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Второй уровень СВК включает в себя аппаратно-программные средства регистрации и первичной обработки сигналов датчиков. Основой этого уровня является программируемый контроллер NI PXIe-8840 с модулями ввода аналоговых сигналов фирмы National Instruments. Программное обеспечение разработано в среде графического проектирования LabVIEW. Выбор данной платформы обусловлен наличием в среде LabVIEW готовых виртуальных приборов, реализующих функции сбора, обработки, передачи и отображения данных, что позволило существенно сократить сроки разработки системы в целом. Немаловажную роль сыграл и высокий уровень поддержки разработчиков приложений в этой среде со стороны регионального представительства National Instruments в ЮФО РФ (г. Ростов-на-Дону).

Физически аппаратура второго уровня размещается в стойке, находящейся в нескольких десятках метров от помещений насосных агрегатов, с которыми она соединена сигнальными кабелями.

Третий уровень СВК представляет собой рабочее место оператора системы, размещенное в помещении реакторного цеха 401/12. Основу рабочего места составляет ноутбук, соединенный с контроллером в стойке с помощью витой пары 6 категории и обменивающийся с ним данными по Ethernet-протоколу. На этом уровне осуществляется полная обработка поступающих с контроллера сигналов и отображения состояния насосных агрегатов. Здесь опять проявились преимущества выбранного инструментального средства – сетевой обмен данными в среде LabVIEW был реализован быстро и работал надежно.

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ

Система позволяет контролировать уровень вибрации насосов и электродвигателей КО СУЗ, выдавать предупреждения о превышении нормативных значений этих уровней, отображать вибросигналы, их спектры, хранить результаты контроля в информационной базе, анализировать динамику изменения диагностических параметров и характеристик.

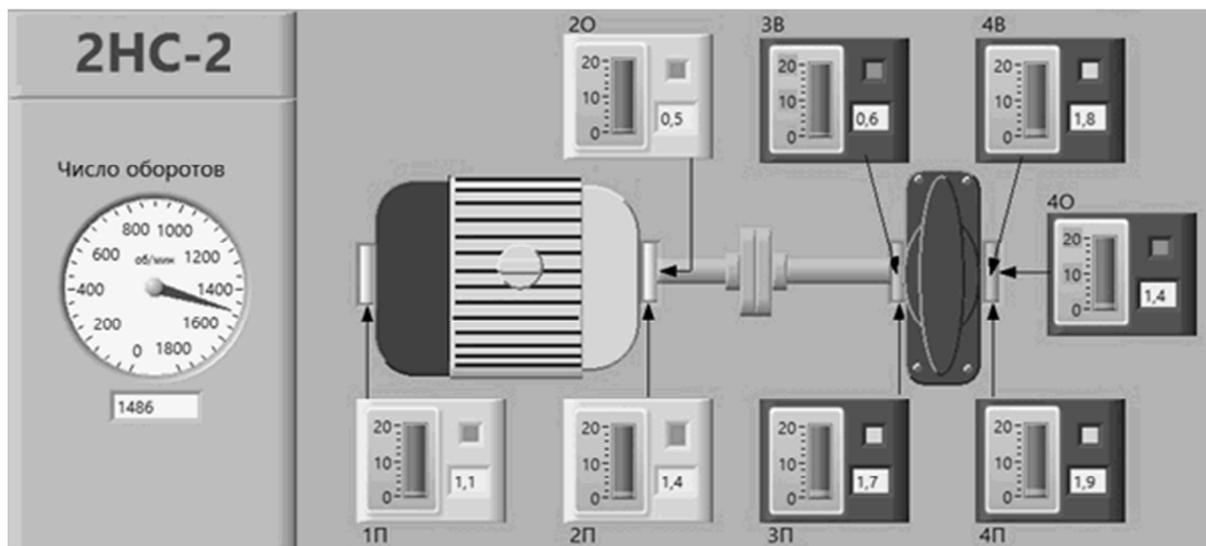


Рис. 2. – Фрагмент экранной формы приложения в режиме контроля вибрации насосного агрегата №2

Основной режим работы – постоянный автоматический контроль за уровнем среднеквадратического значения виброскорости (рисунок 2) в местах установки вибродатчиков с выдачей визуального и звукового предупреждения в случае превышения нормативных уровней вибрации (уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ согласно [1]).

Режим мониторинга предназначен для более детального анализа технического состояния насосных агрегатов путем визуального контроля формы вибросигналов и их спектров, контроля динамики изменения диагностических параметров (тренда) в выбранной точке измерений. Отображаемые данные могут быть сохранены в информационной базе и просмотрены затем в режиме «Архив».

### СЛОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

В процессе выполнения монтажа и пусконаладочных работ подобных систем, как правило, возникает множество технических сложностей, которые невозможно предусмотреть в проекте.

Так оказалось, что найти разъемы для витой пары 6 категории – непростая задача, решить которую можно лишь в крупных городах, например, Москве или Смоленске. Найдя разъемы, еще сложнее оказывается их «обжать» – нужен специальный инструмент. Однако подобные проблемы оказались не самыми сложными. Разработчики системы столкнулись с тем, что официально заявленные поставщиком характеристики оборудования могут не соответствовать действительности. В результате приобретенные за большие деньги датчики ООО «ГлобалТест» «не захотели» работать с модулями ввода данных NI, и для решения этой проблемы пришлось использовать дополнительное нестандартное оборудование.

Но самая сложная техническая проблема была связана с установкой датчиков вращения. Вихретоковые датчики, предусмотренные проектом, подписанным, в том числе, заказчиком, требовали наличия проточек на валах насосов. Владелец насосов – реакторный цех САЭС, категорически отказался делать их, мотивируя это нарушением балансировки валов и необходимостью согласования этой процедуры с изготовителем оборудования. Был найден следующий нестандартный выход: датчики были направлены на выступающие шпильки болтов, стягивающих полумуфты валов электродвигателя и насоса. Подбором коэффициентов счета импульсов удалось

добиться достоверных показаний числа оборотов насосов. Однако после нескольких пусков-остановов насосных агрегатов у двух датчиков были сорваны головки. Предположительной причиной явилось то, что в момент пуска 250-киловаттного двигателя деформации в области соединения валов электродвигателя и насоса «выбирали» требуемый по документации зазор в 1.5 мм между головкой датчика и шпильками. Таким образом, данная ситуация возвращает к необходимости выполнить проточки, причем в наименее деформируемых местах вала – вблизи подшипниковых опор. До решения этого вопроса функция измерения числа оборотов вала была реализована в системе программно, с использованием виртуального прибора Peak Search [2]. Этот прибор устанавливался на один из каналов измерения вибрации и отслеживал наличие в спектре сигнала пика заданного уровня вблизи оборотной частоты вала насоса (около 25 Гц). Опыт нескольких месяцев эксплуатации системы показал, что этот метод работает достаточно точно и надежно, обрабатывая все колебания вблизи номинальной частоты вращения.

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Данное направление работ на САЭС имеет следующие варианты развития:

- расширение возможностей системы путем введения датчиков температуры подшипниковых зон, что обычно имеет место в подобных системах, но не было реализовано из-за ограниченного бюджета договора. Используемые в системе модули ввода NI PXe-4497 имеют необходимые для этого специализированные каналы измерения температуры;
- создание и внедрение аналогичных систем на энергоблоки №1 и №3 САЭС;
- внедрение в систему элементов диагностики насосных агрегатов. НИИ АЭМ ведет работы по разработке методик диагностики вращающихся электроприводных механизмов [3], и СВК может стать источником экспериментальных данных в рамках договора о послегарантийном обслуживании системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин<sup>-1</sup> [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.
2. Федосов, В.П. Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW [Текст] / В.П. Федосов. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 1296 с.
3. Василенко, С.В. и др. Методическое обеспечение процесса диагностики вращающихся электроприводных механизмов [Текст] / С.В. Василенко, Ю.Н. Елзов, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – №4. – С. 33–36.

### REFERENCES

- [1] GOST ISO 10816-3-2002 [State Standart ISO 10816-3-2002]. Kontrol' sostojanija mashin po rezul'tatam izmerenij vibracii na nevrashhajushhikhshja chastjakh [Control of a machine condition by results of measurements on unrotative parts vibration.]. Chast' 3 [Part 3]. Promyshlennye mashiny nominal'noj moshhnost'ju bolee 15 kVt i nominal'noj skorost'ju ot 120 do 15000 min<sup>-1</sup> [Industrial machines with a rated power more than 15 kW and with a rated speed from 120 to 15000 min<sup>-1</sup>]. M. Pub. "Standartinform-1" [Standartinform]. 2007, 11 p. (in Russian)
- [2] Fedosov V.P. Tsifrovaja obrabotka zvukovykh i vibrosignalov v LabVIEW [Digital processing sound and vibrosignals in LabVIEW]. M. Pub. "DMK-Press" [DMK-Press], 2010, ISBN 978-5-94074-600-3, 1296 p. (in Russian)
- [3] Vasilenko S.V., Elzhov Yu.N., Nikiforov V.N., Pugacheva O.Yu. Metodicheskoe obespechenie processa diagnostiki vrashhayushhixsya e'lektroprivodnyx mexanizmov [Methodological support of

process of diagnostics of the rotating electrodriving mechanisms] *Elekrotexnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya* [Electrotechnical complexes and control systems], 2014, №4, ISSN 1990-5246, p. 33–36. (in Russian)

### **Automated System of Vibration Monitoring of SNPP Equipment**

**S.V. Vasilenko, Yu.N. Elzhov, O.Yu. Pugacheva**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract** – Expansion of technical monitoring of nuclear power plant equipment allows to optimize repair time and reduce costs for its holding, increases the overall operational safety of reactor facilities. Works in this direction are conducting already out for a long time in the SRI NPE VETI NRNU MEPhI.

In the paper provides a brief description of the automated system of vibration monitoring, developed by Scientific Research Institute "Nuclear Power Engineering" and implemented at the Unit №2 of Smolensk NPP.

*Keywords:* pump, vibration, sensor, system.