

## ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛА ОТВЕТСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

М.Б. Бакиров\*, В.П. Поваров\*\*, Д.А. Николаев\*, А.Ф. Громов\*\*,  
В.И. Левчук\*, С.М. Горохов\*

*\* ООО «Научно-сертификационный учебный центр материаловедения и ресурса  
компонентов ядерной техники «Центр материаловедения и ресурса»  
140002, Московская обл., г. Люберцы, ул. Кирова, д. 7, офис 5*

*\*\* Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная стан-  
ция» 396071, Россия, Воронежская обл., г. Нововоронеж*



Проблема обеспечения безопасной эксплуатации основного оборудования атомных станций приобретает в настоящее время особое значение. Существенный уровень старения материалов, технические и финансово-экономические проблемы, связанные с выводом из эксплуатации отработавших свой проектный ресурс энергоблоков атомных станций, предполагают разработку новых подходов к решению задач, стоящих перед контролем состояния и технической диагностикой ответственного оборудования АЭС. При решении возникших вопросов повышения безопасности все большее значение получают методы неразрушающего контроля, ориентированные на применение в разных условиях и взаимно дополняющие друг друга. Длительная эксплуатация приводит к накоплению термоусталостных повреждений на микроструктурном уровне, вызывающих зарождение и развитие трещин. В связи с этим информация, получаемая традиционными методами, недостаточна для объективной оценки состояния оборудования с дефектами и определения остаточного ресурса. Поэтому становится приоритетным наблюдение проблемных зон в процессе эксплуатации энергоблока с целью всестороннего изучения и предотвращения повреждений рабочего оборудования. В статье представлены результаты опытного внедрения технологии неразрушающего контроля эксплуатационной повреждаемости на основе использования многопараметрического акустико-эмиссионного непрерывного мониторинга на стадии эксплуатации блока атомной станции.

**Ключевые слова:** акустико-эмиссионный метод, база данных, блок сбора данных, блок хранения данных, мониторинг, парогенератор, предусилитель, термошок, форма сигнала.

© М.Б. Бакиров, В.П. Поваров, Д.А. Николаев, А.Ф. Громов, В.И. Левчук, С.М. Горохов, 2014

Для внедрения метода акустической эмиссии (АЭ) в условиях эксплуатации АЭС требуется разработка специализированных распределенных систем мониторинга, предварительно испытанных и отлаженных в лаборатории на полномасштабном стенде, имитирующем реальный объект контроля (ОК). В статье [1] описаны такая система и особенности ее разработки.

Система состоит из трех пространственно разделенных частей: блока сбора данных, обеспечивающего сбор и предварительную обработку данных; блока хранения и передачи данных; программных комплексов для анализа данных. Для уменьшения объема данных, находящихся в блоке хранения и передаваемых через сеть, блок сбора данных осуществляет предварительную обработку показаний датчиков, передавая блоку хранения только задетектированные сигналы акустической эмиссии [2, 3]. Передача происходит каждые 20 секунд независимо от изменений показаний. Для каналов акустической эмиссии выделяются все сигналы, превышающие шумовой фон на установленную величину, определяются основные амплитудные и временные характеристики и записывается форма сигнала, после чего передаются блоку хранения [4, 5]. Форма сигнала может быть не передана, если сигнал слаб или бесполезен. Также каждые 20 секунд передается средний уровень шума, по которому определяется состояние канала и, если возникнет, наличие течи. Блок хранения данных обеспечивает хранение и передачу данных.

Система управления базой данных (СУБД) *MySQL* была выбрана в результате экспериментов. В ходе эксперимента оценивались скорости добавления новых записей в базу и получения уже записанных данных, сравнивались различные открытые СУБД (*MySQL*, *PostgreSQL*) и механизмы хранения данных (для *MySQL*: *InnoDB*, *MyISAM* и т.п.). В результате пришлось отказаться от баз данных, реализующих транзакционный механизм, как слишком медленных. Было решено использовать *MySQL* с механизмом *MyISAM* как вариант с самым быстрым добавлением данных и приемлемым временем получения записанных данных.

Для повышения надежности и отказоустойчивости конечное программное обеспечение для анализа данных общается не с самой базой данных, а с ее копией, размещенной на сервере и постоянно синхронизируемой с базой блока хранения данных.

Блок сбора данных размещен в гермообъеме в боксах ПГ-ГЦТ, что налагает ряд требований к его конструкции: возможность автономной работы в течение топливной кампании и удаленной перезагрузки, высокая отказоустойчивость.

Блок, осуществляющий сбор АЭ и термометрических данных, разработан на основе модульной системы *CompactRIO* фирмы «*National Instruments*» (*NI*). Данная система может работать при температурах, наблюдаемых в гермообъеме. Модульная система вместе с сопутствующей электроникой помещена в герметичный корпус. Для защиты от ионизирующего излучения блок размещается в «тени» от бетонных конструкций.

Для данной системы использован блок высокоскоростных (один миллион замеров в секунду) аналого-цифровых преобразователей для работы с АЭ-сигналами.

На рисунке 1 представлена схема акустико-эмиссионного (АЭ) канала блока сбора данных. Основные подсистемы блока передают данные через сеть, используя разработанный для этой цели сетевой протокол, позволяющий производить туннелирование *TCP*-соединений, с сопутствующим программным обеспечением. Для связи блоков сбора и хранения данных используется локальная сеть, соединяющая эти блоки; для связи блока хранения данных с программами визуализации используется локальная сеть станции; для связи с сервером используется *SSH*-туннель.

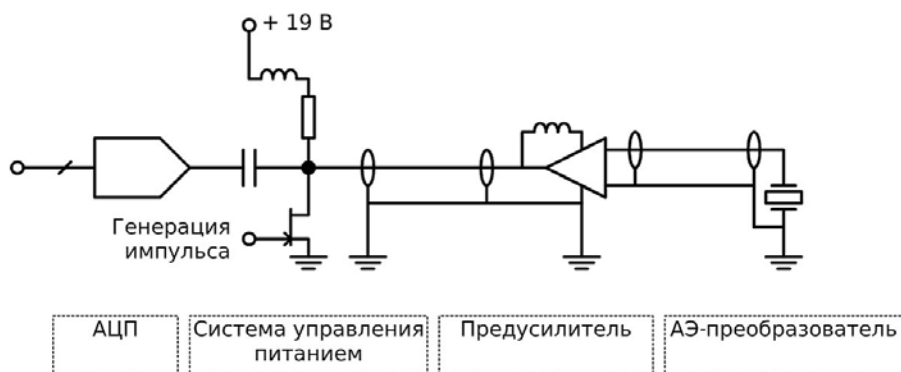


Рис. 1. Акустико-эмиссионный канал блока сбора данных

Для обеспечения связи блока сбора данных с сетью организации, выполняющей экспертный анализ данных мониторинга, организовано *VPN*-соединение, позволяющее задействовать *SSH*-туннель, через который осуществляется связь и синхронизация баз данных (рис. 2).

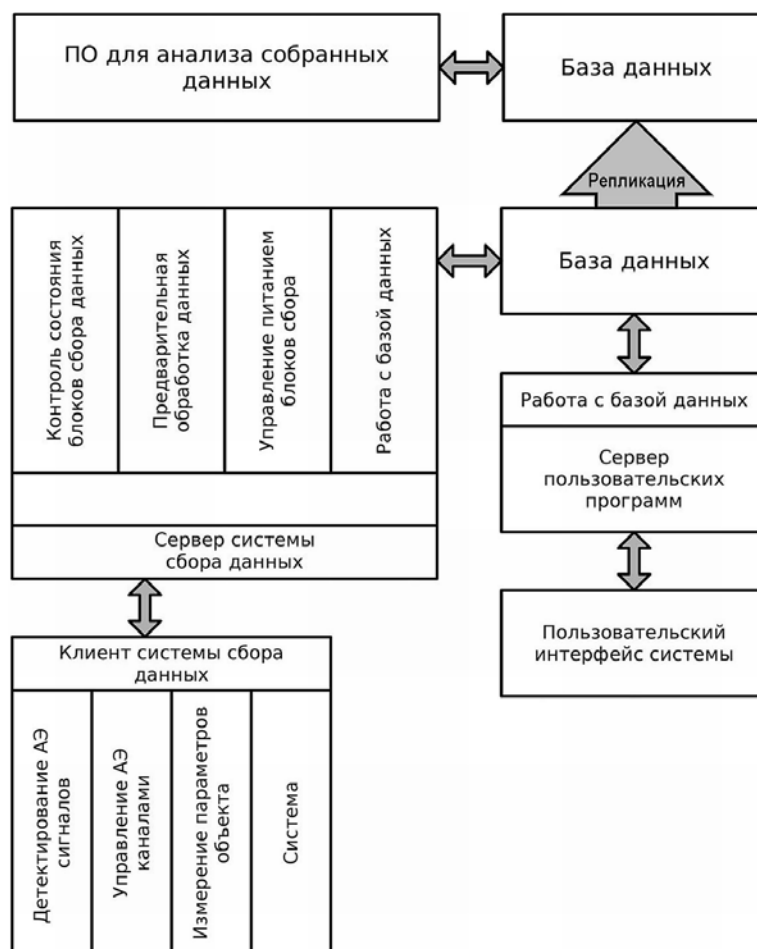


Рис. 2. Блок-схема связи и синхронизации баз данных

Для обработки данных, полученных системой мониторинга, используется программный комплекс «Буря», специально доработанный для решения этой конкретной задачи,

и используется ряд собственных программных решений для анализа, обработки и сравнения данных.

Для персонала атомной станции разработана программа визуализации исходных данных, получающая данные непосредственно от блока хранения.

С этой целью после проведения работ по подбору датчиков с учетом ожидаемого шума в зоне контроля при работающем блоке и рассчитанном коэффициенте затухания для моды поперечной волны и уровня сигнала от роста трещины была предложена схема локационной группы из 16-ти АЭ-датчиков по периметру СС №111.

Для плотного крепления АЭ-датчиков использовалась специальная бандажная конструкция. Такой бандаж обеспечил простоту установки (рис. 3) и надежность крепления датчиков.

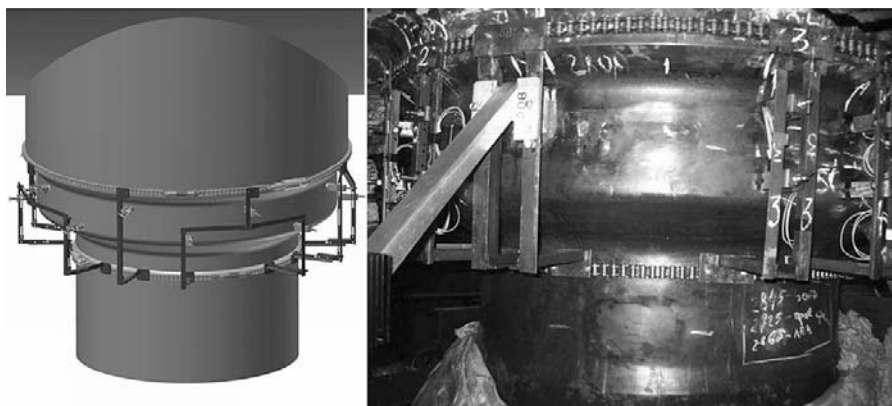


Рис. 3. Схема бандаж АЭ-датчиков (2013 г.) и их установка в зоне СС №111 (2012 г.)

Сигналы с датчиков АЭ поступают последовательно на предусилитель, блок фильтров, детектор, селектор и цифровой счетчик. Аппаратный комплекс выполнен на базе модулей фирмы «National Instruments» США, обладает высокой помехозащищенностью и возможностью работы в условиях помещений первого контура с температурой окружающей среды 60 °С.

После первичной обработки [6] сигналы поступали в блок хранения и передачи данных по линии интранет в организацию, осуществляющую анализ и представление данных (см. рис. 2). Представленная система успешно эксплуатировалась в течение 28-й, 29-й топливных компаний на четвертом парогенераторе (ПГ-4) энергоблока №5 НВАЭС. С ее помощью было получено большое количество эксплуатационных данных, с помощью которых были апробированы различные методики локации АЭ сигналов: по времени прихода сигнала, по времени первого пика, по времени максимальной амплитуды. По результатам этих работ была проведена оптимизация выбора временных параметров АЭ сигналов с целью исключения ситуации, когда регистрируются эхо сигналы как отдельный сигнал, или два исходных сигнала сливаются в один.

Обнаружена взаимосвязь регистрации АЭ-событий в зоне СС №111-1 и вокруг нее при скачкообразных изменениях температуры и напряжений. Сравнительный анализ данных показывает, что все температурные «аномалии» наблюдались при отключенной системе периодической продувки ПГ, и в то же время все ПГ были объединены по коллектору периодической продувки, т.е. представляли собой сообщающиеся сосуды. В условиях отсутствия потока воды в линиях периодической продувки ПГ вода в них постепенно охлаждается. В определенных режимах работы РУ создаются условия, когда перепад давлений в разных ПГ достигает значений, при которых остывшая вода по линиям

продувки передавливается в ПГ с более низким давлением, что приводит к возникновению температурной «аномалии» (термошока) в зоне СС №111. При работающей системе периодической продувки ПГ по второму контуру такая ситуация невозможна, так как линии периодической продувки всегда находятся в прогретом состоянии. Внештатные температурные ситуации привели к зарождению и развитию эксплуатационных трещин, АЭ-сигналы от которых и были зафиксированы в один из таких термошоков, приводящих к накоплению усталостной повреждаемости в зоне СС №111.

### Литература

1. Бакиров М.Б., Поваров В. П. и др. Разработка технологии непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга эксплуатационной повреждаемости металла ответственного оборудования атомных станций // Известия вузов. Ядерная энергетика. №3, 2014. – С. 15-24.
2. Acoustic emission monitoring. INSIGHT. 1995. Vol. 37. №4. P. 267.
3. Bailey C.D., Pless W.M. Acoustic emission: an emerging technology for assessing fatiguedamage in aircraft structure. Materials Evaluation. 1981. Vol. 39. № 11. PP.1045-1050.
4. Степанова Л.Н., Серьезнова А.Н. Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций. – М.: Машиностроение, 2008.
5. Holroyd T.Y. The application of in condition monitoring. INSIGHT. 2005. Vol. 37. №8. PP. 481-484.
6. Boczar T., Zmarzly D. Analysis of acoustic emission pulses generated by-partial electrical discharges. INSIGHT. 2005. Vol. 45. №7. PP. 488-492.
7. ПНАЭ Г-01-011-97 (ОПБ 88/97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.

Поступила в редакцию 11.12.2013 г.

### Авторы

Бакиров Мурат Баязитович, генеральный директор  
E-mail: info@expresstest.ru

Поваров Владимир Петрович, заместитель генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом», директор филиала «Нововоронежская атомная станция»,  
E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Николаев Денис Анатольевич, руководитель группы  
E-mail: info@expresstest.ru

Громов Александр Федорович, начальник ОДМиТК  
E-mail: GromovAF@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Левчук Василий Иванович, начальник лаборатории  
E-mail: leavc@mail.ru

Горохов Сергей Михайлович, инженер  
E-mail: info@expresstest.ru

UDC 621.039

## IMPLEMENTATION OF EXPERT CONTINUOUS ACOUSTIC-EMISSION MONITORING TECHNOLOGY FOR NPP CRITICAL EQUIPMENT OPERATIONAL DEFECTIVENESS ASSESSMENT

Bakirov M.B.\* , Povarov V.P.\*\* , Nikolaev\* D.A., Gromov\*\* A.F., Levchuk\* V.I., Gorokhov S.M.\*\*

\* Center of material science and lifetime management, Ltd.  
7 Kirov st., 5 office, Lyubertsy city, Moscow reg., 5140002 Russia

\*\* A branch of the Rosenergoatom Concern «Novovoronezh Nuclear Power Plant»  
Novovoronezh city, Voronezh reg., 396071 Russia

## ABSTRACT

The problem of NPP primary equipment safe operation management currently acquires particular importance. A significant level of material ageing and technical and economic issues related to power unit decommissioning assume the development of new approaches to solving problems of condition monitoring and technical diagnostics of NPP main equipment. Methods of nondestructive testing are becoming increasingly popular for addressing issues of safety improvement. Various methods of nondestructive testing are focused on applications in different conditions and complement each other. Long time operation of a power unit leads to thermal fatigue damage accumulation at the microstructural level, causing subsequent crack initiation and growth. Therefore, periodically obtained by traditional methods information is insufficient for an objective assessment of defective equipment condition and determination the remaining life. Thus, monitoring of problem areas during the NPP operation becomes a priority for the purpose of detailed exploration and damage prevention of working equipment. The results of the experimental implementation of the operational defectiveness by nondestructive testing technology based on the multi-parameter acoustic emission continuous monitoring during the operation of power unit are presented in this article.

**Key words:** acoustic-emission method, data base, data collection unit, data storage unit, monitoring, steam generator, preamplifier, thermal shock, signal shape.

## REFERENCES

1. Bakirov M.B. Povarov V.P. Razrabotka tehnologii nepreryvnogo akustiko-emissionnogo monitoringa ekspluatatsionnoj povrezhdaemosti metalla otvetstvennogo oborudovaniya atomnyh stancij (Development of NPP critical equipment operational defectiveness continuous acoustic-emission monitoring technology). *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2014, no. 3, pp. 15-24.
2. Acoustic emission monitoring. *INSIGHT*. 1995, v. 37, no. 4, p. 267.
3. Bailey C.D., Pless W.M. Acoustic emission: an emerging technology for assessing fatigue damage in aircraft structure. *Materials Evaluation*. 1981, v. 39, no. 11, pp. 1045-1050.
4. Ser'eznov, A.N., Stepanova, L.N., Kabanov, S.I., et al., Akustiko-emissionnyi kontrol' aviatsionnykh sooruzhenii (Acoustic Emission Testing of Aerostructures), Stepanova, L.N. and Ser'eznov, A.N., Eds. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008 (in Russian).
5. Holroyd T.Y. The application of in condition monitoring. *INSIGHT*. 2005, v. 37, no. 8, pp. 481-484.
6. Boczar T., Zmarzly D. Analysis of acoustic emission pulses generated by-partial electrical discharges. *INSIGHT*. 2005, v. 45, no. 7, pp. 488-492.
7. PNAE G-01-011-97 (OPB 88/97) Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnyh stancij (General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants). Moscow, Gosatomnadsor Publ., 1997 (in Russian).

## Authors

Bakirov Murat Bayazitovich, Director General

E-mail: info@expresstest.ru

Povarov Vladimir Petrovich, Deputy General Director of the JSC «Concern Rosenergoatom», Director of the Branch «Novovoronezh Nuclear Power Plant»

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Nikolaev Denis Anatol'evich, Team Manager

E-mail: info@expresstest.ru

Gromov Aleksandr Fedorovich, Chief of Division

E-mail: GromovAF@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Levchuk Vasilij Ivanovich, Head of Laboratory

E-mail: leavc@mail.ru

Gorohov Sergej Mikhajlovich, Ingeneer

E-mail: info@expresstest.ru