

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТЕЧИ БАСЕЙНОВ ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА АЭС

А.И. Бельтюков, П.П. Говоров, В.А. Дрозденко

Белоярская АЭС, г. Заречный



В работе представлены результаты проведенных исследований по поиску местоположения течи на основании виброакустических сигналов, возникающих при истечении жидкости. Приведены описания вспомогательных устройств и способы установки датчиков.

Ключевые слова: бассейн, виброакустический сигнал, волновод, местоположение, течь.

Key words: irradiated fuel cooling pond, vibroacoustic signal, waveguide, location, leak.

В процессе длительной эксплуатации под воздействием неблагоприятных условий в бассейнах выдержки (БВ) отработавшего ядерного топлива АЭС, заполненных водой, могут образовываться незапланированные течи теплоносителя.

Виброакустический метод позволяет обнаружить как возникновение течи, так и ее местоположение. Этот метод основан на регистрации и анализе виброакустических сигналов, возникающих за счет вибрации поверхности металлоконструкций в месте истечения жидкости (трещине или неплотности) [1–3].

Первоначально, в процессе поиска места течи воды в БВ регистрация виброакустических сигналов осуществлялась с помощью специального волновода – стальной трубы $\varnothing 76 \times 2,5$ мм и длиной примерно 21 м. Нижний торец трубы имел конусообразную насадку. На верхнем торце трубы закреплялись датчики. Датчик Д1 был установлен вертикально вдоль оси трубы – волновода на торцевой площадке, при этом регистрировалась продольная виброакустическая волна. Датчик Д2 был сориентирован для регистрации поперечной виброакустической волны и установлен горизонтально.

В качестве акустических датчиков были использованы пьезоакселерометры нормализованной чувствительности, ориентированные к затуханиям поперечных колебаний. Регистрация сигналов производилась синхронно по двум каналам с записью в аналоговом виде на магнитную ленту измерительного магнитофона ИМ 7007. Все задействованное в исследованиях оборудование и программное обеспечение разработано фирмой «Брюль и Кьер» для вибродиагностики оборудования.

© **А.И. Бельтюков, П.П. Говоров, В.А. Дрозденко, 2009**

Чтобы локализовать район с дефектом обечайки БВ, поиск начинался с последовательного сканирования всей площади БВ с целью выявления мест с аномальными уровнями и отличиями от фонового сигнала. При этом сигналы регистрировались в заранее намеченных местах для получения виброакустических характеристик и накопления базы данных. Определялось влияние промышленного шума от работающего оборудования при выполнении различных технологических операций (подпитки, дренирования БВ и др.) и подбирались фильтры для отстройки информативной части спектра сигнала, содержащей признаки течи.

Сначала было проведено обследование самой глубокой части бассейна – переходного каньона для транспортировки изделий. Волновод последовательно перемещался по каньону из помещения контейнерной в сторону бассейна. Регистрация виброакустических сигналов производилась записью на магнитофон по семи позициям каньона (рис. 1). Дальнейшая обработка сигналов проводилась в лабораторных условиях с помощью двухканального анализатора 2034 фирмы «Брюль и Кьер».

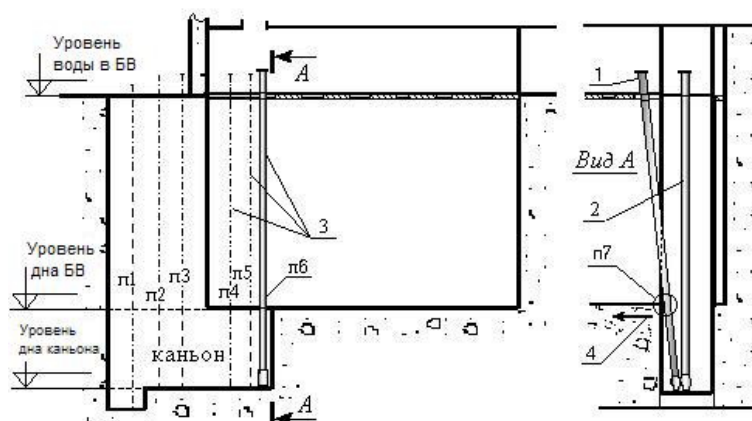


Рис. 1. Схема расположения волновода в каньоне бассейна: 1, 2, 3 – места установки волновода (п1–п7); 4 – предполагаемое направление протечки

Проведенная обработка и анализ виброакустических шумов по семи позициям каньона бассейна показали отсутствие течи в обследованном месте каньона.

По мере продвижения в сторону бассейна стали проявляться следы посторонних шумов (рис. 2). Эти шумы – виброакустические сигналы протечки – достигли максимальных значений в акустическом коридоре между волноводом и источником протечки. Волновод при этом располагался по створу транспортной щели бассейна – позиции 6 и 7. Спектрограммы вибросигналов на 5-й, 6-й и 7-й позициях каньона приведены на рис. 2.

На спектрограмме виброакустических шумов (рис. 2, б)) наблюдаются характерные признаки течи, т.е. просматриваются аномалии – возмущения сигналов в районе 4, 5,5, 6,0 и 6,7 кГц.

В дальнейшем волновод был установлен наклонно (позиция 7), у стенки каньона, а его корпус, на высоте около 6,4 м от низа, опирался на кромку дна бассейна у переходной щели.

Общий уровень виброакустического сигнала, зарегистрированный в этом месте (рис. 2, в), на 30–40% выше, чем на позиции 6 (рис. 2, б)), за счет более короткого пути прохождения сигналов, т.е. за счет снижения волнового сопротивления. Таким образом, было выявлено направление увеличения мощности сигналов аномалии – направление к местоположению течи. В ходе последующих работ с

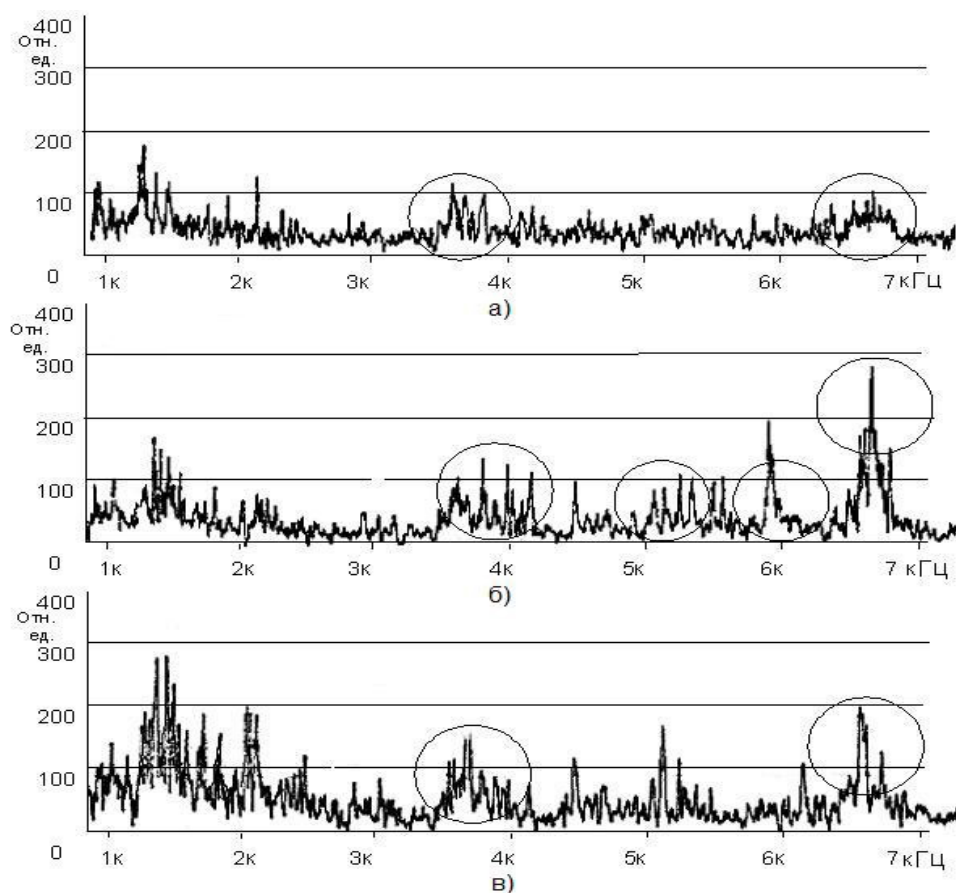


Рис. 2. Спектрограммы виброакустических шумов в каньоне: а) позиция 5; б) позиция 6; в) позиция 7

помощью системы видеонаблюдения было уточнено место дефекта обечайки БВ, которое находилось на расстоянии около 8 метров от волновода.

Поиск течи БВ с помощью волновода показал наличие у этого метода как положительных, так и отрицательных сторон. К первым можно отнести отсутствие радиоактивного загрязнения датчиков и высокую чувствительность, а к главным недостаткам – неудобство, трудоемкость выполнения работ (с использованием крана для перемещения волновода) и необходимость применения волноводов разной длины для различных глубин БВ.

Поэтому в дальнейшем для поиска местоположения течей в БВ была применена схема регистрации и оперативного представления виброакустического сигнала с использованием акустического датчика, погружаемого в воду. Схема модуля аппаратуры регистрации и представления акустических сигналов изображена на рис. 3.

Сигнал от акустического датчика РДГ-26 через соединительный кабель поступал на нормирующий усилитель 2635 фирмы «Брюль и Кьер» и акустический вход звуковой карты персонального компьютера (ноутбук).

Оперативная обработка виброакустических сигналов производилась с помощью программы Cool Edit 2000 (Syntrillium Software Corp), обладающей удобной формой прорисовки экрана, масштабированием звуковой волны и модулем быстрого фурье-преобразования.

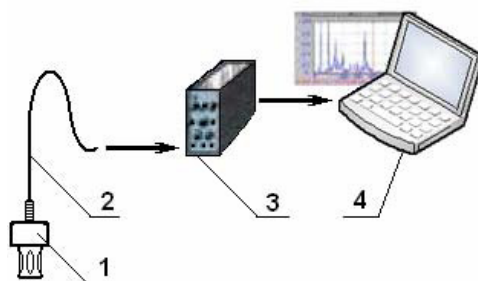


Рис. 3. Схема оперативного модуля регистрации и представления виброакустических сигналов: 1 – акустический датчик-преобразователь РДГ-26; 2 – соединительный кабель; 3 – усилитель 2635 нормирующий; 4 – ПЭВМ ноутбук

Расстояние (шаг) между местами постановки датчика был выбран равным 1,5–2 м как по ширине, так и по длине бассейна. За время около двух часов был произведен контроль шумов по всей площади бассейна.

В процессе сканирования датчик опускался в воду на расстоянии около 5 м от уровня пола бассейна. В двух районах бассейна были зафиксированы аномальные виброакустические сигналы – следы течи. Расстояние, при котором фиксировались увеличения амплитуд спектральных составляющих сигнала в определенных полосах частот, от датчика до места течи равнялось примерно 10–12 м. По мере приближения датчика к месту протечки величина (амплитуда) сигнала возрастала. Расход течи воды, определенный по изменению уровня воды в БВ за определенный промежуток времени, в первом районе составлял около 5,5 г/с, во втором – примерно 1,7 г/с.

В дальнейшем была проведена локализация местоположения течи детальным сканированием каждого района. Показательные спектрограммы сканирования одного из участков течи приведены на рис. 4.

Виброакустические сигналы регистрировались и сохранялись в цифровом виде на электронных носителях отдельными информационными файлами в ПК-ноутбук.

Схема и последовательность сканирования одного из участков бассейна при локализации местоположения течи приведена на рис. 5.

Результаты последующей обработки записанных сигналов представлены на рис. 6.

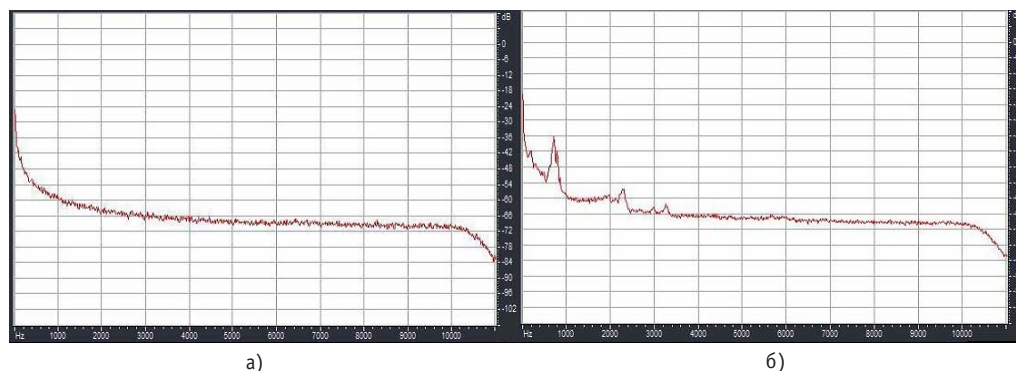


Рис. 4. Показательные спектрограммы сканирования БВ: а) фоновый сигнал без признаков течи; б) сигнал с признаками течи

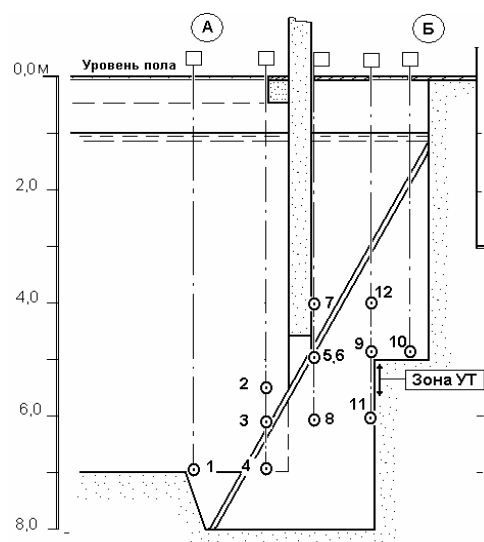


Рис. 5. Схема сканирования одного из районов БВ: А – бассейн; Б – транспортный коридор; 1–12 – места расположения датчика; зона УТ – зона течи воды

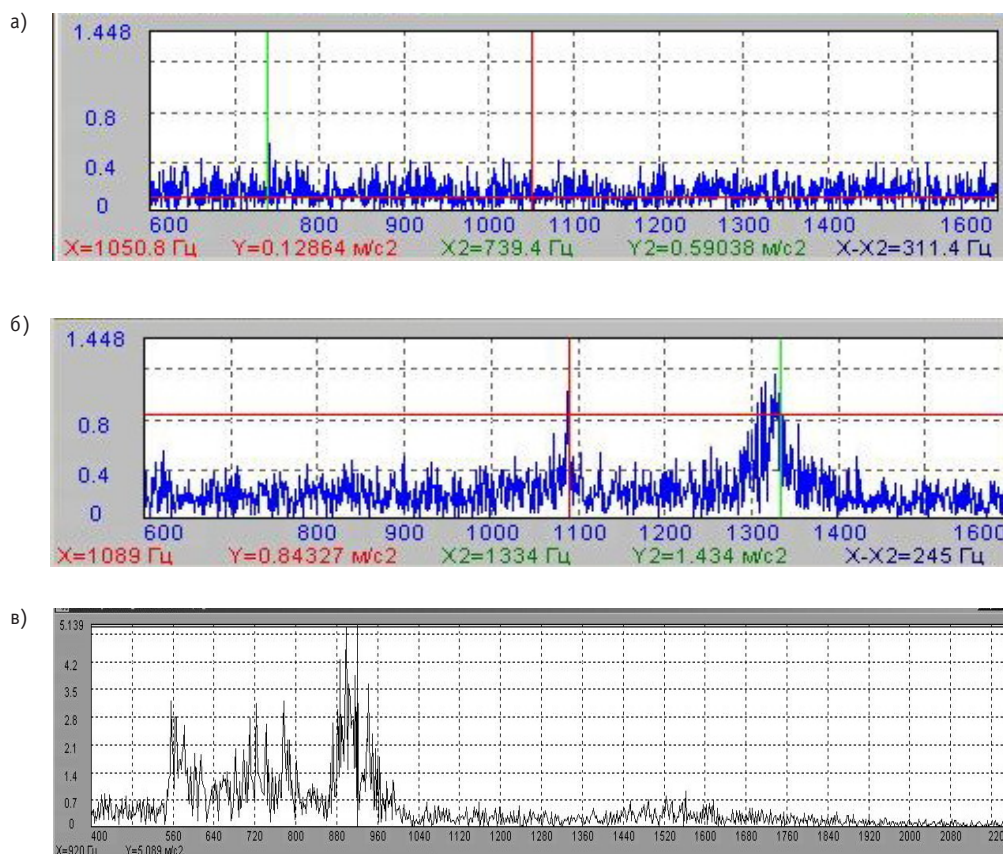


Рис. 6. Спектрограммы акустических сигналов при сканировании БВ: а) – фоновый сигнал без признаков течи; б) – сигнал с признаками течи в первом районе; в) – сигнал с признаками течи во втором районе

В первом районе признаки течи имели характер двух пиков, в основном, на частотах 1089 и 1334 Гц. Во втором – это были многочисленные пики сигнала в области частот 560–960 Гц. Следует отметить, что во втором случае датчик располагался гораздо ближе к месту течи, чем в первом.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность обнаружения местоположения течей в БВ с помощью акустических датчиков. Были достигнуты хорошие результаты по локализации места дефекта на площади около 1–2 м² (при минимальном расходе течи воды примерно 1,7 г/с).

Авторы выражают благодарность за рекомендации и помощь в работе С.Г. Вагину, В.А. Зацепину и Д.Е. Пилипенко (ВНИИТФ, г. Снежинск).

Литература

1. *Баранов В.М.* Акустические измерения в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. *Вибрация в технике: Справочник. Т. 6. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К.В. Фролова.* – М.: Машиностроение, 1981.
3. *Максимов В.П., Егоров И.В., Карасев В.А.* Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

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.