

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТОЗОНДОВЫХ СИГНАЛИЗАТОРОВ УРОВНЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ИНТЕГРАЛЬНОМ СТЕНДЕ КВ-2

В.И. Мельников*, **В.В. Иванов***, **Ю.А. Киселев****, **А.А. Киселев****,
К.М. Мирясов**

* *Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г.Н.Новгород*

** *Опытное конструкторское бюро машиностроения Африкантов, г.Н.Новгород*



Приведены результаты трехлетней эксплуатации акустозондовых 24-х точечных сигнализаторов уровня на стенде КВ-2. Отмечено, что сигнализаторы в целом работали удовлетворительно. В переходных режимах позволяли вести наблюдения за теплогидравлическими процессами в реакторе, связанными с образованием паровой фазы, в том числе «вспучивание» уровня теплоносителя, паровые образования, конденсация.

Ключевые слова: акустозондовые сигнализаторы, термогидравлические процессы, паровая фаза, конденсация, интегральный стенд КВ-2.

Key words: acoustic probes, thermohydraulic processes, vapor phase, steam condensation, integrated stand KV-2.

Одним из основных технологических параметров, определяющим нормальную и безопасную эксплуатацию реакторной установки, является уровень теплоносителя. В частности, разгерметизация первого контура может привести к осушению активной зоны, нарушению процесса отвода тепла и последующему плавлению топлива. Поэтому уровнемеры относятся к наиболее важным компонентам системы обеспечения безопасности.

Применяются приборы контроля уровня, основанные на различных физических принципах, в частности, гидростатические, основанные на определении веса столба жидкости, которые хорошо зарекомендовали себя при измерении однофазного теплоносителя. Однако измерение уровня значительно усложняется при кипении теплоносителя, которое возникает, например, при переходных процессах и в аварийных ситуациях.

Другой проблемой в реакторной уровнемерии является метрология прибора, что обусловлено спецификой условий его применения. Для исключения метрологической аттестации прибора применяют конструктивное исполнение датчика в виде многоточечного сигнализатора жидкой (газовой) фазы теплоносителя по высоте контролируемой емкости. В результате получают уровнемер дискретного

действия с фиксированным шагом контроля уровня, не требующего метрологического сертификата.

Наиболее приемлемыми для решения задачи контроля уровня водяного теплоносителя в реакторных установках, по нашему мнению, являются акустические уровнемеры, основанные на использовании металлических волноводов [1]. Их применение позволяет проводить измерения практически безынерционно и создавать датчики со значительным ресурсом в экстремальных условиях ядерной установки. Техника и теория волноводных датчиков, использующих различные типы нормальных волн, описана в [1].

В работах [2, 3] представлена многоточечная акустозондовая система на основе ультразвуковых волноводных зондов продольных волн, позволяющая контролировать распределение объемной концентрации газовой фазы по высоте с любым заданным шагом в реальном масштабе времени. Общее количество жидкой фазы теплоносителя в объеме, а также величины уровней (весового, объемного, гидродинамического и т. д.) находятся при помощи простых вычислений.

Акустозондовые сигнализаторы уровня (СУ), изготовленные ОКБМ, успешно прошли межведомственные испытания [3]. Датчики сигнализаторов позволяют определять фазовый состав теплоносителя в 24-х точках по вертикали с шагом 100 мм.

В 2008 г. два СУ были смонтированы и введены в эксплуатацию в интегральном реакторе стенда КВ-2[4] НИТИ (г. Сосновый Бор). Стенд успешно эксплуатировался и был остановлен в мае 2012 г. К настоящему времени накоплен более чем трехлетний опыт эксплуатации акустозондовых сигнализаторов.

Датчики СУ установлены над активной зоной реактора в подъемном участке (рис. 1). Блоки вторичных приборов вынесены в соседнее помещение и оснащены вертикально расположенными светодиодными индикаторами (рис. 2). Кроме того, предусмотрена передача информации в пультовое помещение стенда (рис.3). Выходные сигналы сигнализаторов были введены в систему АСУ и аварийной защиты реактора.

Характеризуя опыт эксплуатации сигнализаторов на стенде, отметим его главные результаты.

СУ работали удовлетворительно в течение всего цикла эксплуатации в полном соответствии с техническим заданием на прибор.

В стационарных режимах приборы работали устойчиво. Ложные срабатывания АЗ стенда, не наблюдались.

В переходных режимах сигнализаторы позволяли вести наблюдения за теплогидравлическими процессами в реакторе, связанными с образованием паровой фазы, в том числе «вспучивание» уровня теплоносителя, движение паровых образований, конденсацию и стекание жидкой фазы.

Эти эффекты можно было наблюдать благодаря светодиодной индикации, которая позволяла определять наличие газовой или жидкой фазы в теплоносителе в точках контроля, распределен-

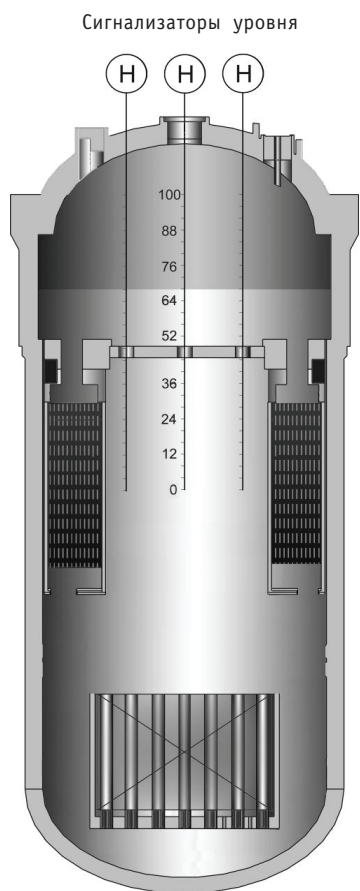


Рис.1. Схема установки датчиков сигнализаторов в стенде

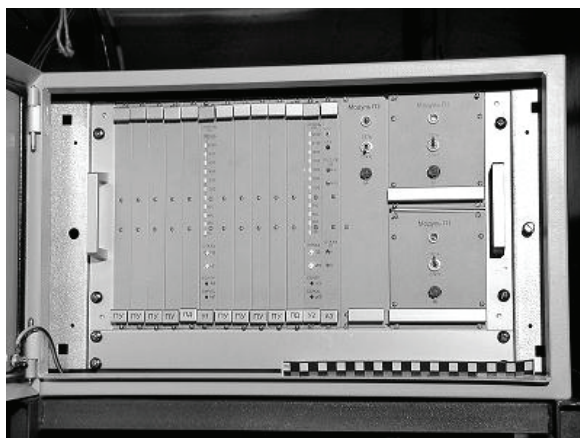


Рис. 2. Вторичный прибор сигнализатора уровня на стенде (на лицевой панели в виде вертикальной линейки размещены светодиодные индикаторы, регистрирующие фазовый состав теплоносителя в точках контроля)



Рис.3. Обработка процесса измерений во время экспериментальных работ на стенде

ных по высоте подъемного участка стенда с шагом 100 мм, в реальном масштабе времени.

Общая картина этих наблюдений следующая. При увеличении мощности реактора светодиодная индикация сигнализатора фиксирует кратковременное вскипание теплоносителя в ТВС активной зоны и появление пара в подъемном участке стенда. Последовательное переключение свечения линейки светодиодов (снизу вверх) свидетельствует о появлении и всплытии как мелких, так и крупных паровых образований, проникающих внутрь чехловой трубы датчика. Характерный вертикальный размер пузырей, зафиксированный приборами, был в диапазоне от нескольких до сотен миллиметров. При этом интегральная оценка количества теплоносителя показывала «вспучивание» уровня теплоносителя.

По истечении нескольких десятков секунд вследствие повышения давления в системе процесс кипения постепенно замедлялся и активное парообразование прекращалось.

Движение пузырей пара через чувствительные элементы датчика не сказывалось на интегральных показаниях приборов благодаря примененному для вычисления уровня рекурсивному алгоритму усреднения данных и алгоритму вычисле-

ния уровня по нахождению границы раздела сред между верхними точками контроля, находящимися в паровой фазе, и точками контроля, остающимися в воде.

При сбросе мощности реактора и в процессе расхолаживания светодиодная индикация последовательным переключением свечения линейки светодиодов сверху вниз показывала движение конденсата на поверхности чехловых труб датчиков, обусловленного интенсивной конденсацией пара на поверхности внутриреакторных элементов под крышкой реакторного блока.

Согласно показаниям светодиодных индикаторов сигнализаторов происходил значительный сток конденсата по чехловым трубам датчиков с расходом не менее 0,1 кг/с. По мере расхолаживания, в течение нескольких часов интенсивность образования конденсата постепенно снижалась.

Вышеописанные физические эффекты на переходных режимах приводили к повышенным колебаниям выходных сигналов сигнализаторов (в пределах 5–7%), подаваемых в АСУ стенда и в СУЗ реактора (колебания выходных сигналов обусловлены задержкой жидкой фазы теплоносителя на кончиках волноводов, формирующих контролируемый объем). Для их устранения был разработан рекурсивный алгоритм усреднения показаний прибора во времени с учетом информации, выдаваемой соседними точками контроля.

Электронные блоки СУ продублированы и оснащены системой самоконтроля и обнаружения возможного выхода из строя контрольных точек датчика, что исключает изменение показаний приборов в случае отказа любой из точек контроля или даже одного из электронных блоков в целом.

В процессе трехлетней эксплуатации сигнализаторов уровня отказов в электронных блоках не было обнаружено. Однако был зафиксирован обрыв цепей питания двух пьезоэлементов в составе датчиков (всего в работе находилось 96 пьезоэлементов). Отказавшие точки контроля были скорректированы, и их показания не повлияли на работу приборов.

ВЫВОДЫ

Сигнализаторы уровня работали удовлетворительно в соответствии с техническим заданием на прибор в течение трех лет.

В стационарных режимах выходные сигналы были стабильны и соответствовали показаниям других средств контроля стенда. Замечаний к сигналам, подаваемым в систему АСУ и АЗ стенда, не было.

В переходных режимах сигнализаторы позволяли вести наблюдения за теплогидравлическими процессами в реакторе, связанными с образованием паровой фазы, в том числе «вспучивание» уровня теплоносителя, движение паровых образований, конденсация.

На переходных режимах наблюдались повышенные колебания выходных сигналов сигнализаторов (в пределах 5–7%), подаваемых в АСУ и АЗ стенда.

Применение рекурсивного алгоритма усреднения данных измерений в соседних точках контроля во времени позволило эффективно подавлять колебания выходного сигнала, вызванного кипением теплоносителя и стеканием капель в процессе конденсации.

Литература

1. Мельников В.И., Дробков В.П., Контелев В.В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 351 с.
2. Мельников В.И., Дунцев А.В., Вьюгина А.Б. Исследование акустозондовой системы определения уровня кипящего водяного теплоносителя // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2002. – №4. – С.100-106.

3. *Мельников В. И. и др.* Исследование акустозондового сигнализатора уровня кипящего водяного теплоносителя // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2006. – № 1. – С. 25-32.

4. *Митенков Ф. М.* Перспективы развития корабельной ядерной энергетики // Вестник Российской академии наук. – 1996. – Т. 66. – № 11. – С. 1002-1004.

Поступила в редакцию 25.12.2012

fresnoite and perovskite, chemical durability of produced glasses was very high level, since equilibrium leach rate of Eu was $3 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day and of U was $4 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day.

УДК 546.212:541.12.012.3+534-14

Use of Generation of Acoustic Vibrations in Chemical Reaction and Properties of the Bubble Medium in Liquid to Reveal through Defects in Claddings of Slugs with Sodium \ Titarenko N.N., Dvornikov P.A., Kovtun S.N., Polionov V.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 5 illustrations. – References, 23 titles.

An opportunity to use the acoustic emission method to control micro-defects in the equipment is considered. In particular, for the first time it is shown experimentally that while sodium is interacting with water, the acoustic emission parameters are determined by the size of the interacting area for reacting components of the reaction. It is assumed that the major source of acoustic emission in the reaction of sodium interacting with water is generation of acoustic vibrations caused by phase transitions of sodium hydroxide. The obtained data make it possible to design a high-efficient system to control through defects in claddings of slugs with sodium.

УДК 621.039.534

The Investigation of the Acoustic Level Limit Switch of Coolant in the Integrated Stand of the KV-2 \ V.I. Melnikov, V.V. Ivanov, Yu.A. Kiselev, A.A. Kiselev, K.M. Miriasov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 5 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The results of the level switch based on 24 point acoustic probes which monitored process into the testing integrated unit KV-2 three-year operation was generalized. It has been estimated that the developed level switch worked satisfactorily. They make possible monitoring the thermohydraulic processes associated with vapor phase formation died to the increase of liquid level and steam condensation into reactor.

УДК 004.42.001.5

Coolant Forecasting of Nuclear Reactors \ Malovik K.N., Nikishin V.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 6 pages, 7 illustrations. – References, 15 titles.

The article considers analytic forecasting of coolant and its limit condition. Shown experimental data of physical modeling of volumetric steam content via improvement of machine vision system. Proposed using theory of dynamic trends for coolant forecasting of nuclear reactor.

УДК 621.039.517

Technique and Software to Calculate Temperature Field in the System of Layered Cylindrical Fuel Elements \ Starkov V.A., Marikhin N.Yu.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 5 titles.

A technique has been proposed and thermal conductivity problem has been solved analytically for the system of layered cylindrical fuel elements. Based on the results, an algorithm and FORTRAN software for the thermo-hydraulic calculation of a channel (THCC) have been developed to calculate the temperature field and thermal flux density in a fuel assembly with layered cylindrical fuel elements. The software also provides the calculation of the surface boiling onset temperatures on the fuel elements, critical fluxes and corresponding thermotechnical margins. Two coolant circulation schemes are provided for a fuel assembly: straight flow and Field tube. The results of the THCC calculations were compared with the analogous ones. A correlation between the calculation results is shown as well as the advantages of the THCC software performance.

УДК 519.6:621.039.5

The Overimplicit Scheme of Incomplete Factorization Method for Solving the Three-dimensional Difference Equations of Elliptic Type \ N.M. Troyanova, V.P. Ginkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 1 tables, 4 illustrations. – References, 8 titles.

The over-implicit scheme of the incomplete factorization method (IFM) is proposed for solving the systems of linear algebraic equations that approximate the equations for neutron transport in the multigroup diffusion approximation, and the variant of combined IFM schemes is proposed, in which the peripheral