

# ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОДЯНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВЫСОКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЕГО ВСКИПАНИИ

**В.И. Мельников, В.Н. Хохлов, В.В. Иванов, А.В. Дунцев**

*Нижегородский государственный технический университет, г. Н. Новгород*



В статье приведены результаты исследования прохождения ультразвуковых сигналов через локальный объем теплоносителя, находящийся при высоких параметрах, в процессе декомпрессии, вызванной разгерметизацией контура. Информация о процессе распространения ультразвука в теплоносителе необходима при разработке акустического уровнемера ЯЗУ для подтверждения его устойчивой работы при кипении теплоносителя на переходных режимах и при аварийных ситуациях.

Проблема измерения уровня кипящего теплоносителя является актуальной в атомной энергетике. Для ее решения, по нашему мнению, целесообразно использовать ультразвуковые зонды, положительно зарекомендовавшие себя в практике теплофизических исследований. Принцип действия зонда основан на индикации акустической проводимости локального объема контролируемой среды и при использовании некоторого количества таких зондов, распределенных по высоте контролируемого сосуда, можно определять объемное количество жидкой фазы теплоносителя в нем [1]. При этом весьма существенным является вопрос о качестве работы зондов при высоких параметрах теплоносителя, которое во многом определяется дисперсностью двухфазной среды, в частности, размерами возникающих пузырей в условиях декомпрессии контура. Надежная информация о дисперсности двухфазной среды в этих условиях в настоящее время отсутствует. Данная статья посвящена изучению работы зондов при вскипании теплоносителя с целью подтверждения возможности их использования для уровнеметрии кипящего теплоносителя.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка, включающая в свой состав электрообогреваемый стенд и зондовый датчик.

Датчик состоит из двух волноводов продольных волн, изготовленных из проволоки диаметром 0,8 мм, пьезоэлементов из керамики ЦТС-19 диаметром 2,5 мм, подвески с узлами герметизации и электронной схемы (рис.1) [2]. Свободные кончики волноводов, выполненные в виде шариков, образуют контролируемый объем величиной около 1 мм<sup>3</sup>. Электронная схема содержит оконечный каскад системы генерирования импульсов, подключенный к излучающему пьезоэлементу, и предварительный усилитель принимаемых приемным пьезоэлементом сигналов. Рабочая частота датчика около 700 кГц. Генерация импульсов запуска и прием сигналов осуществлялись при помощи персонального компьютера, оснащенного платой ввода-вывода сигналов.

Стенд состоит из электрообогреваемой трубы диаметром 14 мм, длиной 400 мм, приборов контроля температуры и давления, насоса высокого давления, клапана сброса давления и системы съема и обработки информации (рис. 2).

Перед проведением экспериментов установка заполнялась дистиллированной водой. Затем при помощи насоса в ней устанавливалось давление около 6,5 МПа. Далее при помощи нагревательного элемента производился подогрев теплоносителя, при этом контролировались давление и температура.

Были проведены две группы опытов при исходном давлении около 6,5 и 13,0 МПа. Давление в установке в процессе нагрева поддерживалось на заданном уровне путем стравливания воздуха через клапан. Регулировка температуры осуществлялась изменением напряжения, подаваемого на нагревательный элемент через лабораторный автотрансформатор. Сброс давления в установке проводился путем открытия клапана сброса давления.

В процессе эксперимента сигналы с выхода зонда вводились в персональный компьютер при помощи встроенной платы высокочастотного аналого-цифрового преобразования (типа L-783-86) и сигналы с выхода приемного пьезоэлемента, усиленные в схеме предварительной подготовки сигналов. Период зондирования составлял 1 мс, частота оцифровки около 3 МГц, время оцифровки одной реализации 150 мкс. Синхронизация начала записи производилась в момент подачи импульса возбуждения на зонд.

Характерный вид принимаемых акустических сигналов показан на рис. 3.

Акустическая проводимость среды в контролируемом объеме определялась программно по величине максимальной амплитуды принимаемого сигнала, прошедшего через контролируемый объем (область рис. 3, выделенная вертикальными линиями). При этом, когда в контролируемом объеме зонда находится жидкость, амплитуда принятых сигналов максимальна, если газ – минимальна. Вид сигнала на выходе зонда и его временное и амплитудное распределение для этих случаев показаны на рис. 4.

При возникновении кипения теплоносителя амплитуда сигнала начинает меняться в диапазоне от максимальной (жидкая фаза) до минимальной (газовая фаза). Это обусловлено попаданием движущихся газовых образований в контролируемый

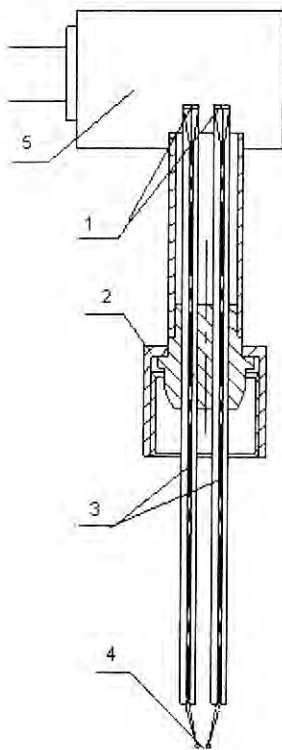


Рис. 1. Акустический зондовый датчик:  
1 – излучающий и приемный пьезоэлементы;  
2 – подвеска;  
3 – волноводы;  
4 – контролируемый объем;  
5 – электронная схема

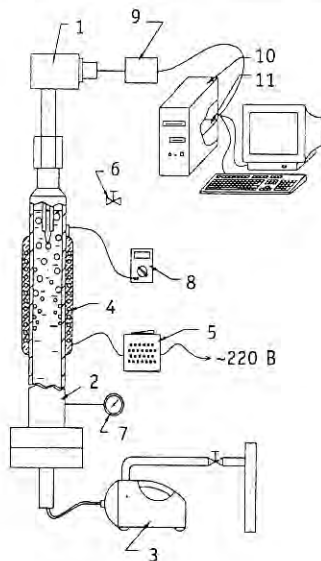


Рис. 2. Экспериментальная установка:  
1 – акустический зонд;  
2 – обогреваемая труба;  
3 – насос высокого давления;  
4 – электроннагреватель;  
5 – автотрансформатор;  
6 – клапан сброса давления;  
7 – манометр; 8 – термодатчик;  
9 – усилитель; 10 – компьютер;  
11 – плата ввода данных

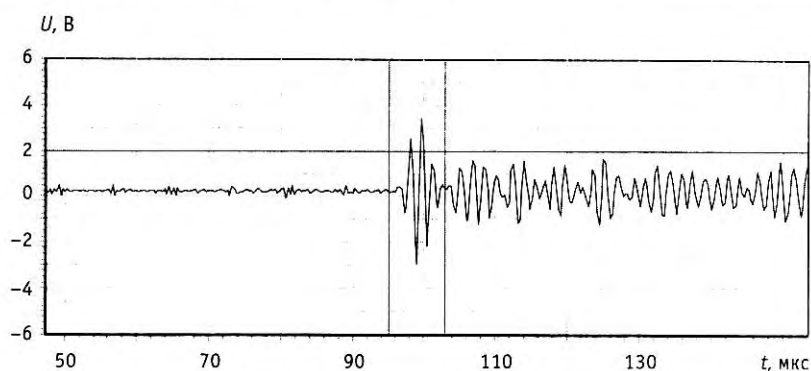


Рис. 3. Форма принятого сигнала на выходе акустического зонда, погруженного в жидкость

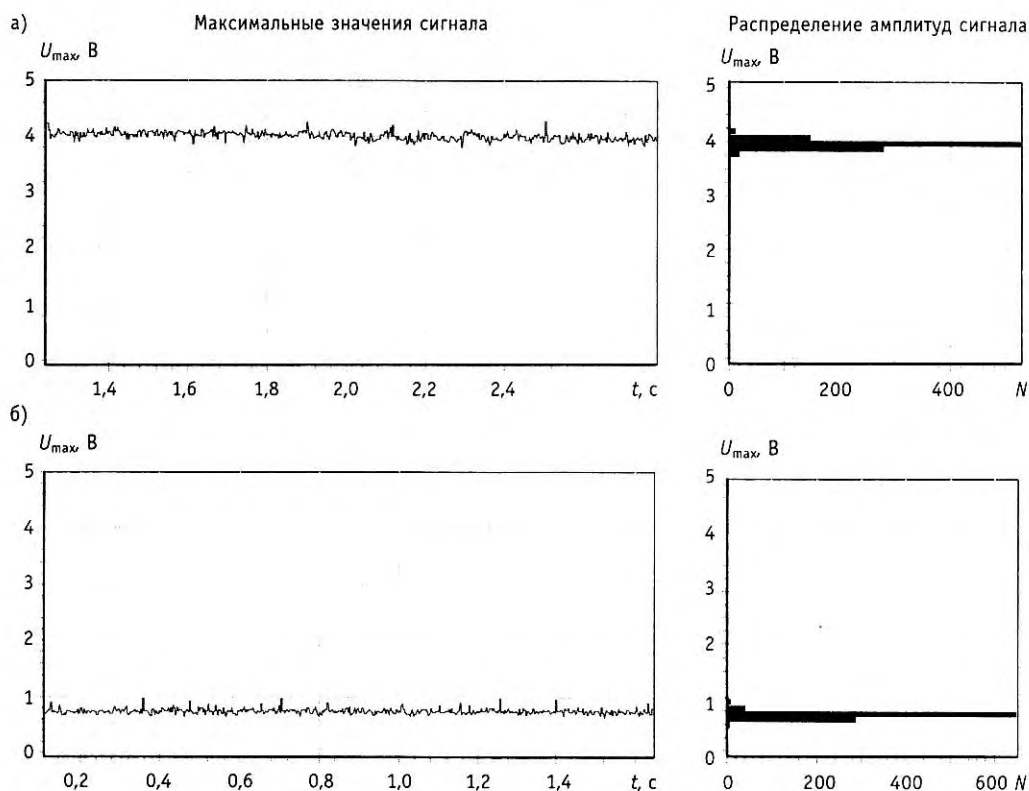


Рис. 4. Временное и амплитудное распределения амплитуды сигнала на выходе зонда, помещенного в жидкость (а) и газовую среду (б)

объем зонда, прерывающим прохождение ультразвуковых импульсов от излучающего волновода к приемному. Характерный вид сигнала и его амплитудное распределение в этом случае представлены на рис. 5.

Концентрация жидкой фазы при этом определяется по известному алгоритму: как доля времени, когда амплитуда принятого сигнала находится выше заданного уровня дискриминации. При этом численное значение уровня дискриминации устанавливается в седловине между максимумами амплитудного распределения.

Исследования проводились по следующей методике. Производился нагрев теплоносителя до температуры 290°C (6,5 МПа) или 350°C (13,0 МПа) (отметим, что в процессе разогрева теплоносителя существенное изменение амплитуды принимае-

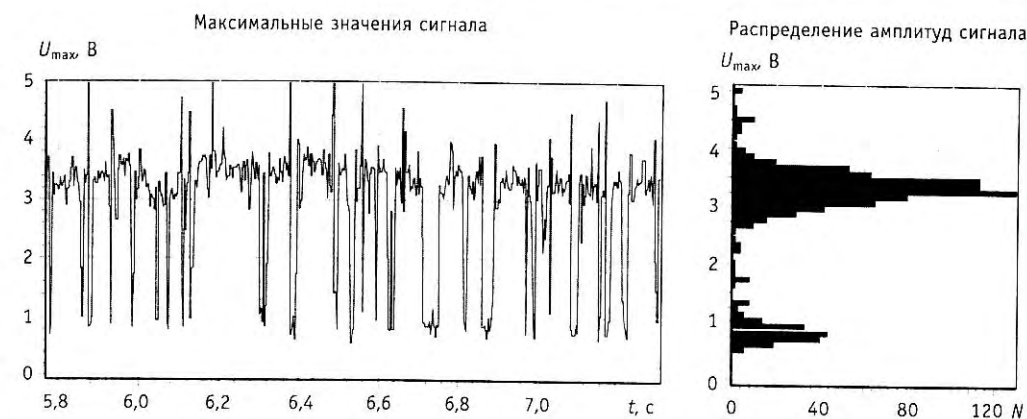


Рис.5. Форма сигнала и его амплитудное распределение при смене фазового состояния теплоносителя в контролируемом объеме зонда

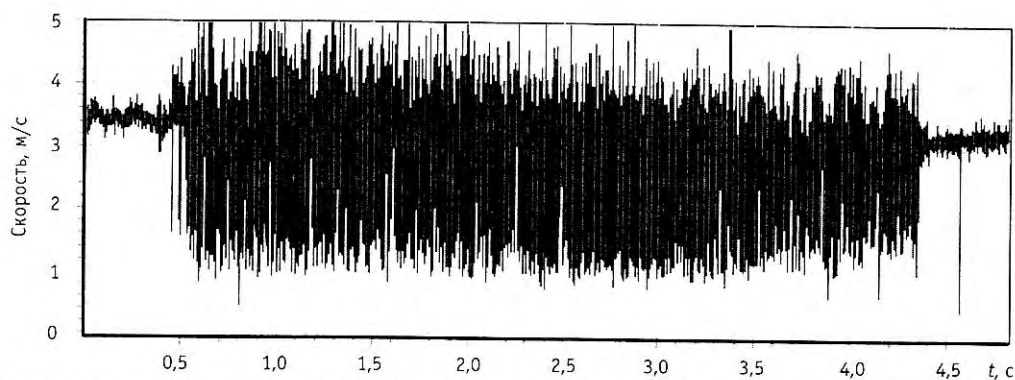


Рис. 6. Изменение амплитуды сигнала на выходе зонда в процессе кипения (примечание: числовые значения по временной оси условные)

мых сигналов не наблюдалось). Затем открывали клапан сброса давления. В результате происходило стравливание парогазовой подушки из стенда и последующее вскипание теплоносителя. Если клапан закрыть через непродолжительное время, то давление вновь повышалось и кипение прекращалось. В процессе эксперимента сигналы с выхода зонда записывались в память компьютера и затем анализировались.

В частности, на рис. 6 приведены флуктуации амплитуды принятого сигнала в процессе декомпрессии. Начальное давление и температура в этом случае были 6,5 МПа и 290 °С.

Изменяя временной масштаб, можно наблюдать процесс начала возникновения пузырьков в перегретом теплоносителе (рис. 7). Мы видим появление вначале редких одиночных пузырьков, а затем нарастающую частоту их возникновения. В дальнейшем происходит довольно интенсивное кипение теплоносителя и появление пузырей существенно больших, чем вначале размеров (рис. 8).

Если клапан сброса давления остается открытым, то по мере уменьшения давления и температуры кипение теплоносителя прекращается. Вследствие уноса части жидкости из стенда, уровень жидкой фазы постепенно уменьшается, что приводит к осушению контролируемого объема зонда и можно наблюдать резкое снижение амплитуды сигнала на его выходе (рис. 9).



Рис. 7. Сигналы на выходе зонда в начале декомпрессии установки



Рис. 8. Сигналы на выходе зонда при интенсивном кипении



Рис. 9. Сигнал на выходе зонда в момент осушения контролируемого объема вследствие выкипания теплоносителя

## ВЫВОДЫ

1. Метод акустического зондирования может быть использован для разработки систем контроля уровня кипящего теплоносителя в оборудовании ЯЭУ, в том числе в парогенераторах, компенсаторах объема, кипящих реакторах, моноблоках.

2. Как в процессе разогрева теплоносителя, так и при его вскипании, вызванном падением давления при разгерметизации контура, не было зафиксировано аномаль-

ного снижения амплитуды сигнала, обусловленное попаданием в контролируемый объем мелких пузырьков (наличие всего нескольких резонансных микропузырьков на пути прохождения ультразвуковых волн приводит к значительному их поглощению и соответствующему уменьшению амплитуды сигнала).

3. Сигналы на выходе зонда в процессе декомпрессии флюктуировали с малой постоянной времени, от уровня сигналов в жидкости, до уровня сигналов в газовой фазе. Из чего следует, что датчик устойчиво работал и однозначно отражал изменение акустической проводимости при вскипании теплоносителя, вызванного разгерметизацией контура, находящегося при высоких параметрах.

4. При разгерметизации контура наблюдалось вначале появление одиночных пузырей пара, затем развитие устойчивого процесса кипения теплоносителя в целом (кипение прекращалось, если контур герметизировали). По мере испарения уровень жидкой фазы теплоносителя постепенно уменьшался и контролируемый объем зонда осушался.

### **Литература**

1. Мельников В.И., Дунцев А.В., Вьюгин А.Б. Исследование акустозондовой системы определения уровня кипящего водяного теплоносителя//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2002. – № 4. – С. 100-106.
2. Мельников В.И., Лабутин С.А. Ультразвуковые волноводные измерители параметров однофазных и двухфазных сред и потоков//Датчики и системы. – 2001. – № 2. – С. 54-62.

Поступила в редакцию 25.07.2006



**УДК 621.039.516.4**

*Advanced HTGR Fuels To Improve Proliferation Resistance* \V.V. Artisyuk, A.V. Korzunin, Yu.A. Korovin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 7 pages, 7 illustrations, 3 tables. – References, 4 titles.

The present paper advertises doping of minor actinides isotopes as an essential measure to improve proliferation resistance properties of uranium based HTGR fuel. The doping composition corresponds to one discharged from a current PWR. Doping of 5 at.% to 20% enriched uranium oxide fuel shows the potential of denaturing plutonium isotopic vector starting from the very beginning of fuel irradiation thus increasing material barrier against unsanctioned proliferation.

**УДК 621.039.526**

*The Experimental Investigation of the Dose Rate Neaby to the Fast Reactor Spent Fuel* \V.I. Boiko, M.E. Silaev, Y.S. Cherepnin, I.V. Shamanin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 11 illustrations. – References, 4 titles.

The work is done within the framework of the BN-350 fast reactor decommission plan. The main goal was the measurement of the exposure dose rate in the area closed to canisters with the spent fuel. The horizontal and axial dose rate distributions were determined for some characteristic spent fuel canisters. The analysis of measurement results was done.

**УДК 621.039.564**

*The Investigation of the Acoustic Probe System for Analysis of a Level of Water Boiling Coolant* \V.I. Melnikov, V.N. Chochlov, V.V. Ivanov, A.V. Dunzev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 9 illustrations. – References, 2 titles.

The developed acoustic probe system for a level and amount of liquid phase analysis on examination of a vapor space distribution in control boiling water volume has been investigated. The acoustic probe system allows to determinate the state of phase into 8 local volume by probes placed along the height of vessel, and to study dispersing properties of the vapor-liquid water mixture.

The construction of the acoustic device, computer program, laboratory and testing unit experiments are described.

**УДК 621.039**

*Job Training System for the Staffing of an Organization Comprising Nuclear-and-Radiation Dangerous Productions and Facilities* \Yu.N. Seleznev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 3 illustrations. – References, 15 titles.

This article summarizes author's four-year work on the analysis of the state of the training system for the staffing of Rosatom and the development of some industrial standards regarding the personnel management. The study allowed to define the occupational training system of an organization; to determine its place in the national system of the professional education, in the personnel management system of an organization, in the quality management system of an organization, in the economic safety system of an organization; to determine the role of the job training for the maintenance of necessary skills and competence of the staffing; to suggest uniform organizational-and-methodical approaches to the occupational training implementation for industrial enterprises of Russia.