

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В ГАЗОВЫХ КОНТУРАХ И КОНТАЙМЕНТАХ АЭС

П.Н. Мартынов, М.Е. Чернов, А.Н. Стороженко, В.М. Шелеметьев, Р.П. Садовничий

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Для повышения надежности и безопасности работы моноблочных реакторов и установок с теплоносителем Pb-Bi и Pb требуется разработка и совершенствование систем, способных диагностировать состояние теплоносителя и выявлять на ранних этапах возможность возникновения аварийных ситуаций. Основными контролируемыми параметрами являются активность кислорода в теплоносителе и концентрация кислорода и водорода в газовой фазе контура. Наиболее перспективными устройствами, с помощью которых можно контролировать эти параметры, являются твердоэлектrolитные датчики из оксидной керамики, позволяющие производить измерения в непрерывном режиме в условиях повышенных температур, давлений, скоростей окружающей среды и термоударов.

Ключевые слова: керамический чувствительный элемент, термодинамическая активность кислорода, свинец, свинец-висмут, теплоноситель, датчик активности кислорода.

Key words: ceramic sensitive element, thermal dynamic activity of oxygen, lead, lead-bismuth, coolant, oxygen activity sensor.

Первые датчики появились в середине 60-х гг., когда начинались работы в области технологии жидкометаллического теплоносителя (в основном, щелочного на основе натрия и несколько позднее эвтектики свинец-висмут). Технические характеристики разработанных ранее датчиков не отвечают современным требованиям по условиям работы, надежности, ресурсу работы, температурному диапазону, стойкости к термоударам и другим параметрам.

На базе большого опыта ГНЦ РФ-ФЭИ по созданию различных устройств контроля для атомной энергетики [1, 2] в настоящее время активно ведутся разработки датчиков на твердых электролитах для контроля

- кислорода в расплавах на основе свинца, свинца-висмута;
- водорода и кислорода в расплавах на основе натрия, калия;
- водорода и кислорода в газовых контурах и производственных помещениях АЭС [3].

Разработанные датчики получили условное название «капсульные» по характерной форме керамического чувствительного элемента.

Основным устройством в датчиках для контроля активности кислорода и водорода является керамический чувствительный элемент (КЧЭ) на основе твердых электролитов из окисной керамики, обладающий способностью работать длительное время в условиях повышенных температур и термоударов в расплавах металлов, обладающий стабильностью проводящих и механических свойств, термостойкостью, низкой газопроницаемостью (рис.1).

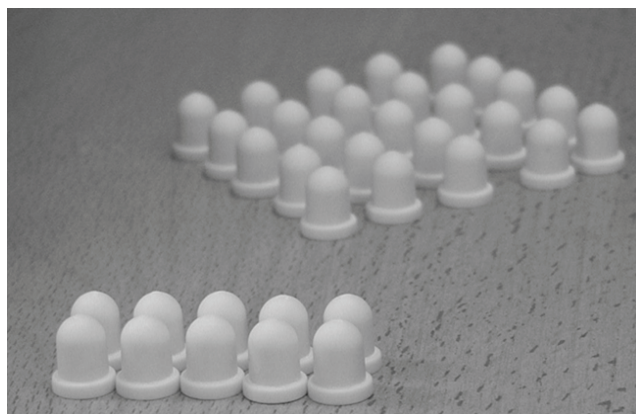


Рис. 1. Керамические чувствительные элементы «капсульного» типа

В результате проведенных НИР и ОКР разработаны оптимальные химический и фазовый составы для придания КЧЭ вышеперечисленных свойств [3, 4]. Сделано расчетно-экспериментальное обоснование геометрической формы керамического чувствительного элемента датчика с точки зрения наилучшей прочности, термостойкости, гидродинамики в потоке расплава.

ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ АКТИВНОСТИ КИСЛОРОДА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ

На основании данных КЧЭ разработаны и изготовлены датчики активности кислорода в жидкометаллическом теплоносителе (рис. 2), утвержден тип датчика как средства измерения и внесен в Государственный реестр средств измерений, проведена метрологическая аттестация датчиков ТДА кислорода. Разработанные дат-



Рис. 2. Датчики активности кислорода

Таблица 1

Технические характеристики датчика активности кислорода

Диапазон измерения активности кислорода	от 10^{-6} до 1
Давление исследуемой среды, МПа, не более	5
Верхний предел температуры анализируемой среды, °С	до 700
Пределы допускаемого относительного отклонения от номинальной статической характеристики (НСХ), %	± 10
Время выхода на рабочий режим при первичной установке датчика в исследуемую среду, ч, не более	10
Скорость изменения температуры, °С/с	до 100
Рабочая среда	Pb, Pb-Bi
Ресурс работы, часы	до 10000

чики сертифицированы Госстандартом России (сертификат RU.C.31.002 А №15464), зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений (№25282-03) и допущены к применению в Российской Федерации.

Для моноблочной баковой компоновки разработан и испытан датчик длиной до 8 м, в соответствии с контрактом с МНТЦ (№3687Р) осуществлена поставка в Италию на стенд CIRCE (рис. 3).

На сегодняшний день разработанные датчики кислорода капсульного типа используются в десятках экспериментов в установках как баковой компоновки, частично или полностью воссоздающих условия моноблочных РУ, так и в циркуляционных стендах [5] в различных подразделениях ГНЦ РФ-ФЭИ (рис. 4) и других организациях: ФГУП НИКИЭТ (г. Москва), ЦНИИКМ «Прометей» (г. С.-Петербург). Ресурс работы составляет около 50 000 часов.

В настоящее время в стадии разработки находится новая конструкция датчика (рис. 5), отличающаяся повышенной надежностью и точностью показаний. Датчик состоит из трех независимых чувствительных элементов, различающихся между



Рис. 3. Датчик длиной 6 м

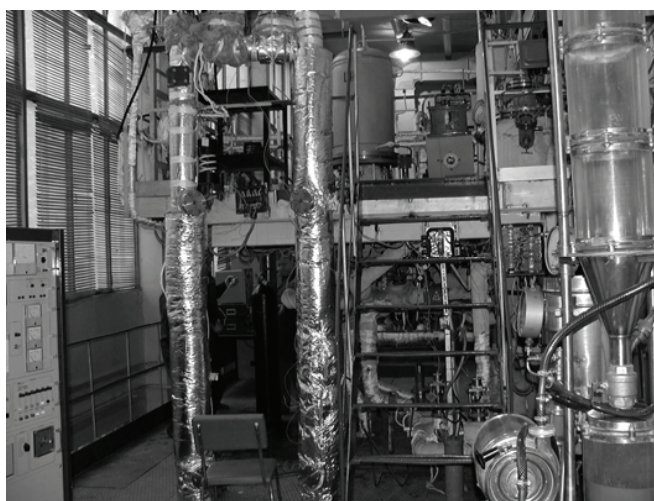


Рис. 4. Испытания датчика длиной 6 м на стенде ГНЦ РФ-ФЭИ



Рис. 5. Макетный образец датчика с тремя КЧЗ

собой методами измерения активности и термопары, расположенных в общем корпусе. Разрабатываемый датчик будет служить средством измерения активности кислорода в Pb-Bi и Pb в моноблочных РУ.

ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ ЯЭУ

Принцип измерения и реализованные на его основе конструкции позволили существенно расширить область применения в сфере ЯЭУ, а именно, разработать датчики контроля кислорода, водорода в защитном газе РУ с жидкометаллическим теплоносителем, в частности, свинец, свинец-висмут, натрий. Датчики измеряют концентрацию кислорода, водорода в защитном газе над поверхностью жидкометаллического теплоносителя, параметры которого пропорциональны активности кислорода в сплаве. Таким образом, датчики газовой фазы контура обеспечивают дополнительный контроль значений термодинамической активности кислорода контура и своевременное принятие мер к поддержанию этой величины в необходимом диапазоне с целью недопущения шлакообразования и выкристаллизации оксидных фаз в «холодных» частях контура и сохранения защитных оксидных покрытий на внутренних поверхностях конструкционных материалов на «горячих» участках.

Также датчики позволяют выявить на ранней стадии различные утечки (натечки) водорода (кислорода), связанные как с течами парогенератора, так и с разгерметизацией контура. Это особенно актуально, так как в настоящее время активно ведется разработка систем для контроля водорода в помещениях АЭС. Системы, разрабатываемые в ГНЦ РФ-ФЭИ, основанные на вышеописанных датчиках, способны контролировать метан и другие водородосодержащие газы в атмосфере производственных и бытовых помещений.

Таблица 2

Технические характеристики датчика контроля защитного газа ЯЭУ

Диапазон измерения парциального давления кислорода (водорода), % об	от 0 до 100
Давление исследуемой среды, МПа, не более	5
Верхний предел температуры анализируемой среды, °С	до 700
Предел допускаемого относительного отклонения от номинальной статической характеристики (НСХ), %	±10
Время выхода на рабочий режим при первичной установке датчика в исследуемую среду, ч, не более	10
Габаритные размеры датчика	
длина, мм, не более	500
масса, г, не более	400

ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ПРИМЕСЕЙ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В НАТРИЕВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ И ПАРОГАЗОВОЙ ФАЗЕ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Для повышения надежности и безопасности работы реакторов на быстрых нейтронах ведется разработка и совершенствование системы, способной вести высокоточный и непрерывный контроль примесей кислорода и водорода в натриевом теплоносителе и парогазовой фазе реакторов на быстрых нейтронах.

Наиболее эффективным решением этой проблемы, с точки зрения практического внедрения, является создание прибора на принципе сочетания датчика кислорода и селективной (по водороду) мембраны, органически связанных между собой газообразным окислом контролируемой примеси, в данном случае – это пары воды (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные датчики являются либо уникальными, не имеющими аналогов в России и мире, например, датчик контроля защитного газа ЯЭУ, либо значительно опережают существующие аналоги по эксплуатационным характеристикам. В частности, позволя-

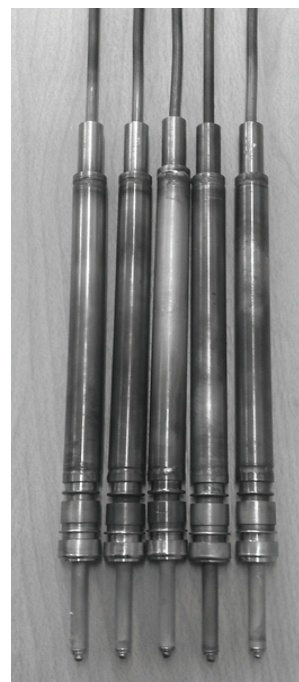


Рис. 6. Датчик контроля водорода в натриевом теплоносителе

Таблица 3

Технические характеристики датчика контроля водорода в натриевом теплоносителе и парогазовой фазе реакторов на быстрых нейтронах

Диапазон измерения парциального давления водорода, ррт	от 0,01 до насыщения
Допустимое давление, МПа, не более	0,7
Диапазон допустимых температур, °С	300 - 600
Инерционность, с, не более	15

ют сохранять длительную работоспособность в экстремальных условиях повышенных температур, давлений, влажности и т.д., не уступают конкурентам, а порой опережают их по чувствительности и скорости реакции.

Разработанные приборы доступны по цене, работоспособны в условиях российских предприятий, не требуют больших затрат на обслуживание, интегрируемы в автоматические системы управления технологических процессов и систем безопасности.

Литература

1. Субботин В.И., Ивановский М.Н., Арнольдов М.Н. Физико-химические основы применения жидкометаллических теплоносителей – М.: Атомиздат, 1970.
2. Шматко Б.А., Шимкевич А.Л., Блохин В.А. Диагностика коррозии и контроль технологических процессов методами активометрии в теплоносителе свинец-висмут/Сб. докл. конф. «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерной технологии». – Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ. – Т.2 – 1999. – С. 741.

3. Чернов М.Е. Автореферат диссертации «Датчик капсульного типа для контроля кислорода в контурах ЯЭУ с теплоносителями свинец и свинец-висмут». – Обнинск, 2005.
4. Викулин В.В., Мартынов П.Н., Чернов М.Е. и др. Исследование зависимости кислородоионной проводимости твердых электролитов из $ZrO_2-Y_2O_3$, работающих в жидкометаллических теплоносителях от фазового состава и структуры керамики/Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Вып. 4. – Калуга: Издательский дом «Эйдос», 2003. – С. 154.
5. Мартынов П.Н., Гулевский В.А. Чернов М.Е. Опыт использования лабораторных датчиков активности кислорода в экспериментах по теме «БРЕСТ»/Сб. тезисов докладов отраслевого научно-технического семинара «Исследования теплогидравлики и технологии свинца применительно к проекту установки с реактором БРЕСТ-ОД-300». – Обнинск, 2001.

Посупила в редакцию 29.08.2011

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.516.2.232

About the Xenon Oscillations Boundary in the Reactor with Nonhomogeneous Axial Load \A.M. Zagrebayev, V.A. Nasonova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles.

The results of modeling for estimation the xenon oscillations boundary in the reactor with nonhomogeneous axial load are given.

УДК 621.039.526: 621.039.59

One-group Fission Cross Sections for Plutonium and Minor Actinides in Neutron Spectra of Fast Reactor Cooled with Lead-208 or Lead-Bismuth \G.L. Khorasanov, A.I. Blokhin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages, 3 tables. – References, 8 titles.

One-group fission cross sections of isotopes of plutonium and minor actinides- Np-237, Am-241, 243 and Cm-246 – in neutron spectra of fast reactor RBEC-M cooled with Pb-Bi or Pb-208 are calculated on the basis of 28 group system ABBN. As a result of replacement of Pb-Bi coolant over Pb-208 coolant, the mean energy of neutrons increases on 6.4% and 6.1% in the core and lateral blanket, respectively. Under such neutron spectra hardening, the one-group fission cross section increases on 6% for Pu-240 and on 10% for Am-241.

УДК 621.039.526: 621.362

Space Nuclear Power System Based on SAFE Fast Reactor with Low-temperature Thermionic Converters \V.I. Yarygin, G.E. Lazarenko, M.K. Ovcharenko, A.P. Pyshko, D.G. Lazarenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 4 tables, 4 illustrations. – References, 18 titles.

The possibility of low-temperature thermionic converters (emitter temperature $T_e \leq 1700$ K) appliance for space nuclear power system (SNPS) based on fast SAFE (Safe Affordable Fission Engine) reactor with thermal power of 300 kW for long-term operation as a part of the lunar base have been discussed.

The results of systematic optimization for SNPS parts and equipment and the calculations for mass-dimensional characteristics are presented and also the life cycle of SNPS is specified.

УДК 621.039.534.3

Oxygen and Hydrogen Control Systems Used in Gas Circuits and NPP Containment Vessels \P.N. Martynov, M.E. Chernov, A.N. Storozhenko, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 3 tables, 6 illustrations. – References, 5 titles.

Increased reliability and safety of the operation of one-piece reactors and installations using Pb-Bi and Pb as coolant require the development and improvement of the systems able to diagnose the state of the coolant and detect at early stages the possibility of accident situations. The main controlled parameters are the oxygen activity in the coolant and the concentration of oxygen and hydrogen in the gas phase circuit. The most promising devices enabling control of these parameters are the solid electrolyte sensors made of ceramic oxide, which allow measurement to be taken in the continuous mode under conditions of high temperatures, pressures, velocities of the environment and thermal shocks.

УДК 621.039.534.6

The Combustible and Explosive Gases Control System Based on Solid-electrolyte Ceramic Sensors \P.N. Martynov, M.E. Chernov, A.N. Storozhenko, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, A.S. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 7 titles.

The most important task of ensuring the safe operation of production facilities related to the production, use, storage and processing of combustible gases and easily flammable liquids (oil and