

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКА КИСЛОРОДА В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ АЭС

С.В. Богданов, С.Н. Бережной, А.А. Лагутин, В.М. Шелеметьев

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



Приведены экспериментальные исследования режимов работы датчика кислорода, применяемого для измерения концентрации кислорода в системе контроля концентрации водорода гермооболочки АЭС. Полученные данные показывают возможность и способ использования датчика кислорода при сценарии быстрого развития запроектной аварии.

ВВЕДЕНИЕ

Газоанализаторы кислорода, используемые в системе контроля концентрации водорода на АЭС, предназначены, в первую очередь, для измерения концентраций кислорода в помещениях гермооболочки (контейнмента) в процессе запроектных аварий, которые относятся к категории тяжелых. Согласно расчетным данным, в процессе тяжелых аварий в герметичном объеме защитной оболочки будут происходить быстрый рост температуры, давления, образование высоких концентраций водорода с большой скоростью его выхода.

В режиме нормальной эксплуатации АЭС, а также в режиме проектной аварии, согласно расчетным данным, изменение объемной концентрации кислорода незначительно, и может быть принято равным концентрации кислорода в воздухе. В режиме запроектной аварии требуется непрерывное измерение концентрации водорода и кислорода [1].

За основу устройства по измерению концентраций кислорода в условиях запроектных аварий был взят комплекс, в котором для датчика кислорода применен специально разработанный для этих целей чувствительный элемент, представляющий собой гальваническую концентрационную ячейку. Ячейка состоит из кислородопроводящего керамического твердого электролита, разделяющего анализируемую среду и внутренний электрод сравнения [2]. Разработанная ячейка обладает важной особенностью – в качестве электрода сравнения используется жидкометаллический электрод самого датчика, который обеспечивает эталонный уровень кислорода в жидком металле, что позволяет работать без внешнего источника эталонного газа. Использование такого датчика обусловлено тем, что при изменяющейся концентрации кислорода в гермообъеме в качестве электрода сравнения может быть только внутренний электрод самого датчика. Структурная схема газоанализатора кислорода приведена на рис. 1.

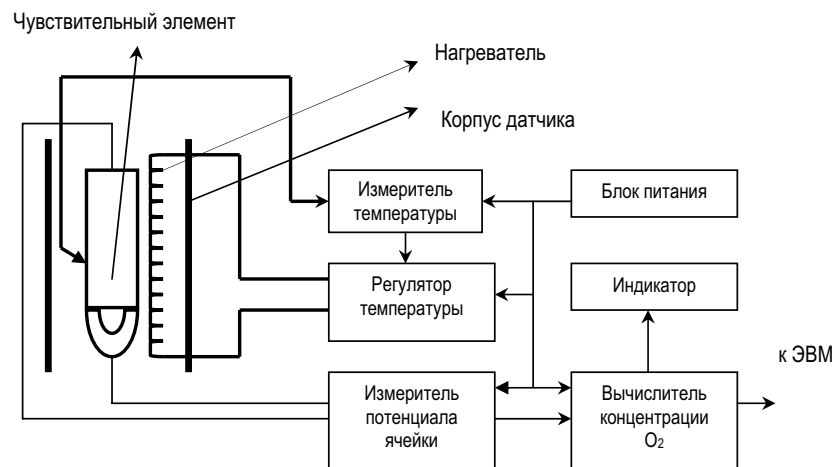


Рис. 1. Структурная схема газоанализатора кислорода

Диоксид циркония, стабилизированный оксидами иттрия, наилучшим образом подходит в качестве материала керамического чувствительного элемента сенсора, поскольку характеризуется достаточно высокой кислородно-ионной проводимостью, стабильностью свойств во времени, технологичностью.

Многофазная керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония, содержащего смешанную кристаллическую фазу (моноклинную, тетрагональную и кубическую) $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$, имеет высокую прочность и устойчивость к термоударам, что крайне важно при использовании ее в качестве чувствительных элементов сенсоров кислорода.

Данный датчик был установлен на Тяньваньской АЭС (Китай) в составе измерительного комплекса газоанализаторов водорода и кислорода [3] для контроля концентрации кислорода в случае возникновения запроектной аварии. В условиях нормальной эксплуатации датчик находится в состоянии ожидания (выключен), а при запроектной аварии, в соответствии с принятым для Тяньваньской АЭС критерием ее начала, обеспечивает выход на рабочий режим чувствительного элемента $500 \pm 2^\circ C$ в течение 30 минут с приведенной погрешностью измерений $\pm 12\%$ и инерционностью порядка 120 секунд, что является достаточным для контроля парогазовой среды при таком сценарии развития запроектной аварии.

Для сценария более быстрого развития запроектной аварии, когда датчик должен обладать малой инерционностью в определении концентрации кислорода (порядка 30–40 секунд) и необходимо, чтобы переход в режим измерения осуществлялся за время меньшее, чем 30 минут, применение его аналогичным образом, как на Тяньваньской АЭС, невозможно.

Уменьшение инерционности датчика достигается за счет увеличения температуры рабочего режима гальванической концентрационной ячейки, но в этом случае время выхода на рабочую температуру ячейки не может быть достигнуто менее, чем за 30 минут.

Решение данной проблемы может быть найдено в использовании датчика кислорода в так называемом «теплом» состоянии, когда температура концентрационной ячейки заранее приближена к рабочей температуре.

Критерием перехода датчика в «теплое» состояние является сигнальный уровень объемной концентрации водорода, равный половине нижнего концентрационного предела распространения пламени (дефлаграции), т.е. 2,0% или менее. В случае дальнейшего развития аварии и достижения концентрации водорода ниж-

него концентрационного предела распространения пламени (4,1%), газоанализатор из подготовленного состояния чувствительного элемента переводит его в рабочее.

При локализации аварии и достижении концентрации водорода до уровня безопасной газоанализатор может быть переведен из «теплого» состояния в выключенное.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Представляется целесообразным определить свойства датчика кислорода по зависимости

- инерционности датчика от рабочей температуры чувствительного элемента; это позволит путем экстраполяции имеющихся данных найти его необходимую рабочую температуру при выборе инерционности датчика;
- времени выхода чувствительного элемента на рабочую температуру от его начальной температуры, соответствующей «теплому» состоянию.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование зависимости инерционности датчика от рабочей температуры чувствительного элемента датчика проводилось как при уменьшении концентрации кислорода, так и при ее увеличении и осуществлялось следующим образом. На вход датчика подавалась поверочная газовая смесь с содержанием азота 99,9%. Подача азота производилась до установления показаний датчика, равных нулевому значению содержания кислорода в поверочной газовой смеси. Регистрировалось время, в течение которого показания датчика достигали значения в пределах погрешности измерений текущей концентрации кислорода. После установления нулевого показания на вход датчика подавалась поверочная газовая смесь с содержанием кислорода в азоте 20,3%. Затем регистрировалось время, в течение которого показания датчика достигали значения в пределах погрешности измерений данной концентрации кислорода.

Результаты эксперимента приведены на рис. 2 и 3.

Исследование зависимости инерционности датчика от рабочей температуры чувствительного элемента датчика осуществлялось следующим образом. Датчик

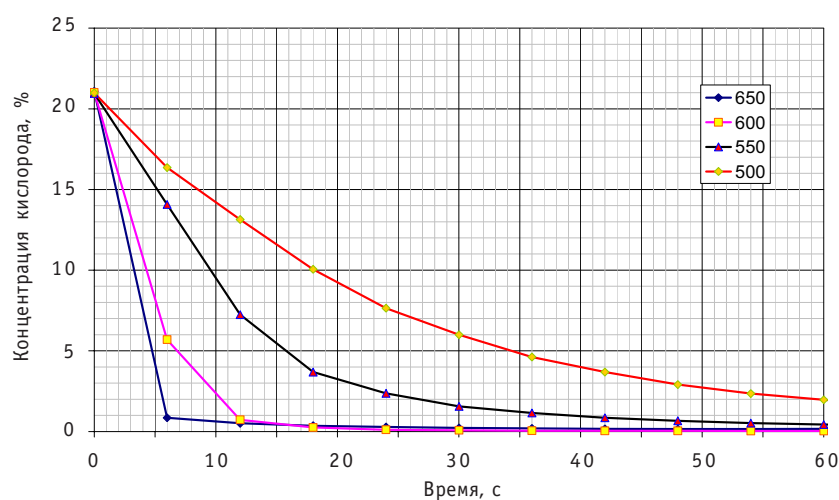


Рис. 2. Зависимость показателя инерции от температуры рабочего режима чувствительного элемента датчика при уменьшении концентрации кислорода

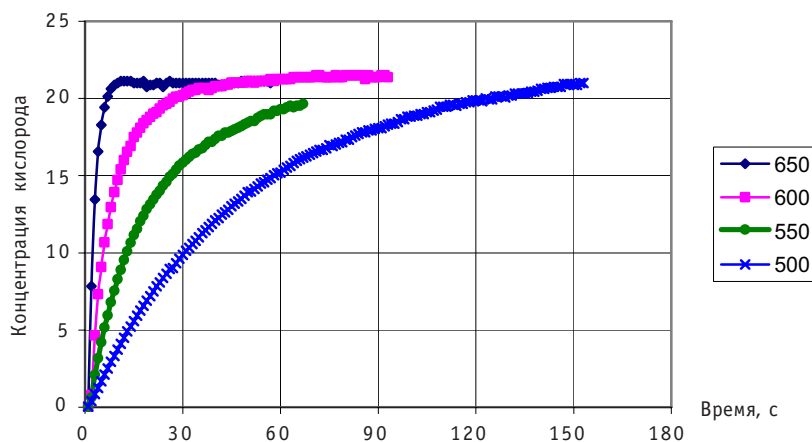


Рис.3. Зависимость показателя инерции от температуры рабочего режима чувствительного элемента датчика при увеличении концентрации кислорода

температуры чувствительного элемента отключался от входа схемы измерителя температуры. На вход измерителя температуры подключался калибратор-измеритель унифицированных сигналов ИКСУ-200Ех, с помощью которого имитировался сигнал, соответствующий начальной температуре нагревателя. После установления начальной температуры нагревателя калибратором-измерителем имитировался сигнал, соответствующий 500°С. Затем фиксировались показания температуры на индикаторе газоанализатора.

Результаты эксперимента приведены на рис. 4.

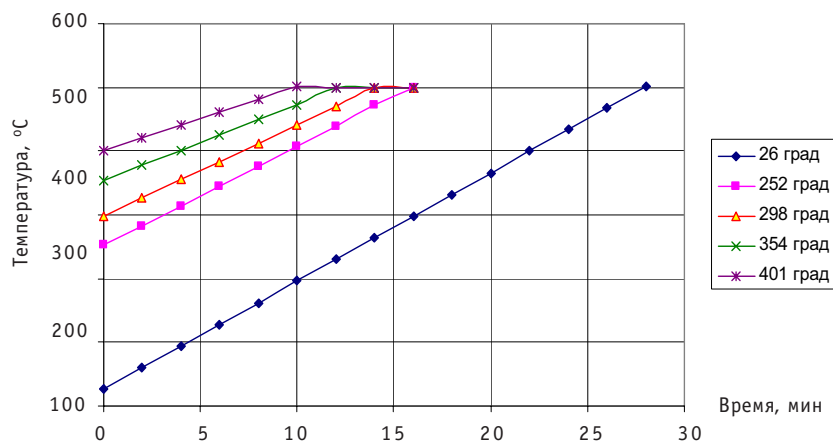


Рис. 4. Зависимость показателя инерции от начальной температуры чувствительного элемента датчика кислорода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании системы контроля концентрации водорода для АЭС появляется вариантность использования газоанализатора кислорода в составе измерительного комплекса газоанализаторов водорода и кислорода. Когда по сценарию развития запроектной аварии не требуется быстрого выхода газоанализатора кислорода в режим измерений, то газоанализатор кислорода может находиться в выключенном состоянии. Когда же требуется быстрый выход на режим измерений, то газоанализатор кислорода можно использовать в «теплом» состоянии, чтобы обеспечить быстрый переход в режим измерений.

Литература

1 НП-010-98. Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций. – Введ. 01.07.99. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 31.12.1998 г. № 6.

2. Мартынов П.Н., Чернов М.Е., Шелеметьев В.М. Капсульные твердоэлектrolитные датчики для контроля кислорода в жидкостях и газах/Новые промышленные технологии. - № 3. – 2004 г. – С. 26-29.

3 Пат. 42663 RU, МКИ G 01 N27/12. Газоанализатор/П.Н. Мартынов, А.Д. Ефанов, С.Г. Калякин, Е.И. Чернов, А.А. Лукьянов. – Заявитель и патентообладатель ФГУП ГНЦ РФ-ФЭИ, 2004122843/22. – Заявл. 26.07.2004, опубл.10.12.2004. – Бюл. № 34.

Поступила в редакцию 20.05.2009

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

System Analysis of Verbal Communication between NPP Main Control Room Operators during Abnormal Situations \ A.N. Anokhin, N.V. Pleshakova, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 12 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 11 titles.

Communication plays an important role in the joint mental activity of main control room team members at a Nuclear Power Plant (NPP). The communication which takes place when operators are dealing with an emergency scenario at the full scope simulator of VVER-1000 power unit has been analysed by the authors of the present paper. The experienced operators were interviewed and the series of four experimental trials were conducted. As a result of analysis of gathered data six types of communication were identified and described, and their relative proportions and other numeric characteristics were estimated. The main shaping factors influencing the communication were revealed and assessed. The most important of them are the noise caused by acoustic alarm signals and intensive talking, and the lack of time inducing the operators to cut out the wording of their verbal messages. The ways used by the operators in order to improve communication were revealed as well as additional recommendations of ways as to increase efficiency of communication were formulated.

УДК 621.039.564

single Module of Hydrogen Monitoring System within NPP Containment \ S.V. Bogdanov, S.N. Berezhnoy, S.G. Kalyakin, A.A. Lukyanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The operation principle and the configuration of the single module are described, which is used to measure oxygen concentration inside the containment compartments as a part of the hydrogen monitoring system. The measuring complex of hydrogen and oxygen gas analyzers based on a single module is presented, which is designed for operation under beyond-design-basis accident conditions.

УДК 621.039.586

Adaptation of Standard Emergency Analysis Approach for BN-Type Reactors \ Y.M. Volkov, A.I. Voropaev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

In article described the standard approach adaptation of nuclear power plants emergency analysis for NPP with BN-type reactor. Approach implementation is meant for minimizing of dangerous impact of radiation for plant personnel, inhabitants and environment by means of special technical measures and organizational activity.

УДК 519.7:519.22

Method of Reliability Indices of Systems of the Nuclear Power Station Assessment in a Non-Homogeneous Failure Flow \ K.A. Ivanova, M.A. Skiba, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 7 illustrations. – References, 12 titles.

The paper considers mathematical models and methods for calculating reliability indices of systems which probabilistic characteristics can vary in time. The equation for the availability function of a system in the up or failed state at any time is derived. New reliability indices of the joint event flows are derived and defined. Some their properties are presented. The relationship between new reliability indices and the failure and recovery distribution time using two-dimensional integral Volterra equation 2-nd sort is shown too. A new mathematical model allows the monotonous transformation of two independent recurrent failure and recovery flows arbitrarily. This, for example, allows to calculate the availability function of an ageing system. Equations for resource characteristics are deduced within the model and the practical example of their calculation is considered.

УДК 621.039.58

Passive system with steam-water injector for emergency supply of steam generators of the NPP \ A.G. Ilchenko, A.N. Strakhov, D.N. Magnitsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). –