

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ КИСЛОРОДА В СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

**П.Н. Мартынов, Р.Ш. Асхадуллин, А.А. Симаков, В.С. Ланских,
М.Е. Чернов, А.Ю. Легких, Р.П. Садовничий**
ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г.Обнинск



Статья посвящена созданию автоматической системы управления термодинамической активностью кислорода на циркуляционных стендах со свинцово-висмутовым теплоносителем.

Проанализированы основные предпосылки создания системы автоматического регулирования и состояние вопроса по изучению кислородного регламента применительно к РУ «СВБР 75/100».

Впервые применительно к условиям РУ «СВБР 75/100» экспериментально показана возможность использования системы автоматического регулирования термодинамической активности кислорода твердофазным методом в контуре с тяжелым теплоносителем свинец-висмут. Разработаны и испытаны методики определения динамических параметров системы автоматического регулирования, проведены эксперименты по обоснованию работоспособности системы в стационарных условиях неизотермического циркуляционного контура, а также в условиях различного рода «провокаций», выводящих контур стенда из равновесного состояния по окислительному потенциалу теплоносителя.

Расплав свинца и эвтектики 44,5% Pb– 55,5% Bi в качестве теплоносителей предпочтителен для реакторов со средним уровнем нагрузок (75–300 МВт) [1], т.к. в отличие от натриевого теплоносителя они не вступают во взаимодействие с водой и воздухом, негорючи, радиационно стойки, слабо активируемы. Сочетание природных свойств свинцово-висмутового и свинцового теплоносителей, монокридного топлива, физических характеристик быстрого реактора, конструкторских решений активной зоны и контуров охлаждения выводит ЯЭУ СВБР 75/100 и БРЕСТ-300 на качественно новый уровень безопасности и обеспечивает их устойчивость без срабатывания активных средств аварийной защиты даже в тяжелых авариях. Анализ возможных вариантов развития событий даже таких тяжелых как ввод полного запаса реактивности или отключение всех насосов при одновременном отказе органов защиты позволяет сделать вывод: энергоблок с реакторной установкой (РУ) СВБР 75/100 и БРЕСТ-300 обладают высоким уровнем безопасности.

© П.Н. Мартынов, Р.Ш. Асхадуллин, А.А. Симаков, В.С. Ланских, М.Е. Чернов, А.Ю. Легких, Р.П. Садовничий, 2009

Тем не менее использование расплавов свинца-висмута или свинца в качестве теплоносителя ЯЭУ создает ряд проблем, требующих решения на стадии проектирования и обоснования проектных работ. Одной из особенностей использования расплава свинца-висмута или свинца в качестве теплоносителя реакторной установки типа СВБР 75/100 или БРЕСТ-300 соответственно является их относительно высокая коррозионная агрессивность по отношению к конструкционным материалам технологического оборудования РУ.

Основным методом защиты конструкционных материалов, контактирующих с расплавом свинец-висмут (свинец), на сегодняшний день является кислородная пассивация (ингибирование) поверхностей конструкционных материалов, которая заключается в формировании и поддержании на их поверхностях достаточно тонких (до 1 мкм), хорошо сцепленных с основой, плотных оксидных пленок, препятствующих развитию коррозионных процессов. В силу оксидной природы защитных покрытий их состояние в процессе эксплуатации установки в циркуляционном контуре определяется величиной окислительного потенциала теплоносителя или других параметров, характеризующих кислородный режим в контуре (термодинамическая активность кислорода (ТДА), концентрация растворенного кислорода).

Анализ накопленных результатов экспериментальных исследований по технологии жидкометаллических теплоносителей Pb-Bi и Pb, а также по коррозионным испытаниям различных типов образцов конструкционных сталей в этих теплоносителях показал что для нормальной эксплуатации неизотермических циркуляционных контуров на основе использования указанных теплоносителей необходимо строго выдерживать оптимальный диапазон значений концентрации растворенного кислорода [1–3].

Вопросы разработки эффективных методов регулирования окислительного потенциала в тяжелых жидкометаллических теплоносителях на основе свинца изучаются в ГНЦ РФ-ФЭИ уже длительное время – более двадцати лет. В 80-х годах прошлого века был разработан метод регулирования ТДА кислорода, основанный на использовании процесса растворения твердофазных оксидов свинца, помещаемых в поток теплоносителя (твердофазный метод регулирования). К настоящему времени проведен большой объем экспериментальных стендовых испытаний различных конструкций массообменных аппаратов (МА), реализующих твердофазный метод регулирования ТДА кислорода в свинцовом и свинцово-висмутовом теплоносителях [1–3].

Но даже для такого вида регулирования ТДА требуется постоянное участие оперативного персонала, что не исключает возможности принятия им неправильных решений при управлении массообменным аппаратом. Такие решения могут привести как к нарушению заданного кислородного режима контура, так и к выходу из строя самого МА. В связи с этим логичным является исключение «человеческого» фактора из режима управления МА и переход к системе автоматического регулирования термодинамической активности (САР ТДА).

Система автоматического регулирования – достаточно сложная функциональная система, однако ее всегда можно упрощенно представить состоящей из основных элементов (рис. 1). Таким образом, в рамках САР ТДА выделяют следующие составляющие элементы.

- Управляющий (задающий) элемент 1 для выработки полезного входного сигнала (управляющей величины), с которым регулируемая величина должна находиться в требуемой функциональной связи. В качестве управляющего (задающего) воздействия, как указывалось выше, на данном этапе разработки используется фиксируемая оператором при настройке САР величина уставки (SP).

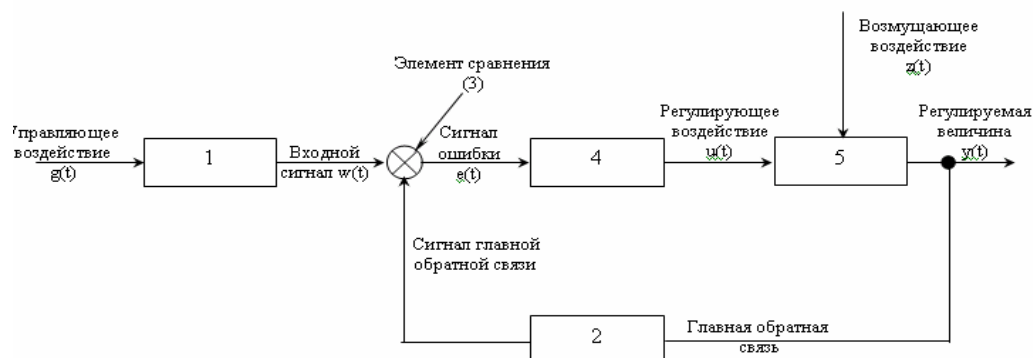


Рис. 1. Блок-схема системы автоматического регулирования САР ТДА

- Элемент главной обратной связи 2, вырабатывающий сигнал и находящийся в определенной функциональной зависимости от регулируемой величины. В качестве элемента главной обратной связи в прототипе САР ТДА использовались экспериментальные датчики активности кислорода, выполненные на основе гальванической концентрационной ячейки с твердым электролитом $ZrO_2+Y_2O_3$ и с электродом сравнения $Bi-Bi_2O_3$. Такие датчики характеризуются высоким быстродействием, высокой чувствительностью, получением выходного сигнала в виде напряжения, надежностью и стабильностью работы в широком интервале температур и парциальных давлений кислорода в условиях наличия влажности и радиации.

Технические характеристики датчика активности кислорода

Диапазон измерения активности кислорода	$a = 10^{-6} - 1$
Диапазон рабочих температур, °C	350 – 650
Рабочая среда	Pb, Pb-Bi
Рабочее давление, МПа	0 – 7
Глубина погружения, м	до 7
Скорость изменения температуры, °C/с	до 100
Ресурс работы, ч	до 10000

Сигнал главной обратной связи – величина э.д.с. датчика активности кислорода (*PV* – Process Variable). На этапе испытаний прототипа САР ТДА регулирование велось не по величине термодинамической активности кислорода, а непосредственно по величине э.д.с. датчика при постоянном контроле температурного режима работы контура циркуляции.

- Чувствительный элемент (элемент сравнения) 3, дающий на основании сравнения входного сигнала и сигнала главной обратной связи первичный сигнал управления или сигнал ошибки ($e = SP - PV$). Функции элемента сравнения выполнял программно-аппаратный комплекс системы САР (рис. 2).

- Исполнительный элемент 4, вырабатывающий регулирующее воздействие (*OUT*), прикладываемое к объекту регулирования. В качестве исполнительного элемента применялся аппаратный тракт регулирования частотой вращения лопаток насоса МА. Массообменное устройство в составе системы автоматического регулирования является частью объекта управления и предназначено для введения в теплоноситель растворенного кислорода с целью поддержания заданного значения концентрации ТДА растворенного кислорода. Конструктивно массообменный аппарат представляет собой реакционную емкость, заполненную твердофазным окислителем (сфероиды PbO). Расход через него осуществляется с помо-

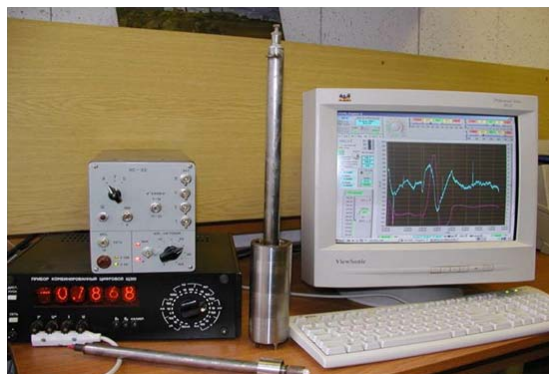


Рис. 2. Программно-аппаратный комплекс системы САР

стью специального персонального насоса. Принципиальная схема автоматического регулирования при помощи массообменного аппарата со встроенным насосом показана на рис. 3.

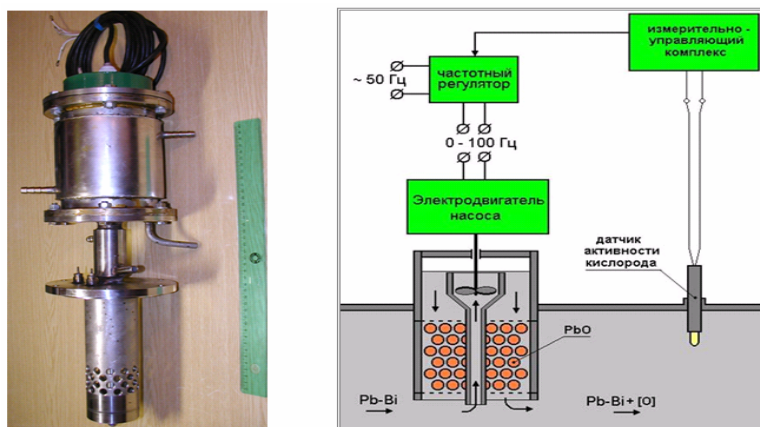


Рис. 3. Принципиальная схема автоматического регулирования при помощи МА

При разработке концепции САР ТДА была выбрана простейшая модель объекта регулирования, представляющая собой последовательное соединение апериодических звеньев первого порядка. Выбор закона регулирования является основным звеном в процессе проектирования САР. Для реализации прототипа САР ТДА и испытаний его на стенде «ТТ-2М» был выбран и реализован простейший и наиболее распространенный тип линейного регулятора – ПИД-регулятор (ПИД-контроллер).

Напомним, что в ПИД-законе регулирования величина уставки SP сравнивается с переменной процесса PV для оценки ошибки «невязки» $e = SP - PV$. Тогда выход ПИД-контроллера, управляющий насосом массообменного аппарата, изменяется в соответствии со следующим выражением [4]:

$$OUT(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e d\tau + T_D \frac{de}{dt} \right), \quad (1)$$

где K_c – коэффициент передачи (усиление контроллера); T_i – постоянная интегрирования (время восстановления); T_D – постоянная дифференцирования (время воздействия по производной).

Эти три параметра подбираются в процессе настройки регулятора таким образом, чтобы максимально приблизить алгоритм функционирования системы к желаемому виду. Существует достаточное количество методик, определяющих порядок определения этих коэффициентов как из априорного представления об объекте регулирования, так и экспериментального определения его динамических характеристик.

Тогда пропорциональное воздействие можно выразить в виде

$$OUT_P(t) = K_c e, \quad (2)$$

интегральное воздействие –

$$OUT_I(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e d\tau \quad (3)$$

и соответственно дифференциальное воздействие –

$$OUT_D(t) = K_c T_d \frac{de}{dt}. \quad (4)$$

На начальном этапе испытаний, после проверки работоспособности аппаратной и программной составляющих системы, были проведены эксперименты по определению параметров регулятора, соответствующих заданному режиму работы стенда [5, 6].

Первый этап экспериментов заключался в определении параметров САР по границе устойчивости системы.

Для определения предельных параметров системы на границе устойчивости необходимо было добиться однородных во времени (по амплитуде и частоте) колебаний системы. Для этого нужно было выдержать несколько периодов осцилляций. Таким образом были установлены рабочие параметры автоматического регулятора.

На втором этапе испытаний прототипа системы САР ТДА определялся конкретный вид ПИД-регулятора, обеспечивающий требуемые условия качества регулирования.

Анализ предварительных результатов, полученных в процессе настройки и определения параметров регулятора, а также при пробных запусках системы САР ТДА в автоматическом режиме, показал, что система обрабатывает требуемые действия для выработки управляющего воздействия. Но тем не менее, анализируя форму и характер управляющего сигнала, можно сделать вывод, что подобранные параметры регулятора не отвечают требуемым параметрам качества регулирования.

Проведенные тестовые измерения показаний датчиков активности кислорода в режиме мониторинга системы САР ТДА с предельно возможной частотой работы $f=1,0$ Гц показали, что в выборках сигналов ДАК кроме низкочастотной составляющей, отражающей общую тенденцию изменения активности кислорода в контуре, в составе сигнала присутствует характерная высокочастотная составляющая сигнала. Особенностью этой составляющей показаний ДАК является (за исключением относительно высокой частоты) характерный дискретный пороговый уровень сигнала. Эта составляющая сигнала близка к постоянной величине для всех датчиков активности (с амплитудой от пика до пика $\sim 0,5$ мВ). Анализ характера этого сигнала и все попытки связать его с возможными внешними источниками шума (пульсации расхода, температуры в контуре и других) результатов не дали. Можно сделать предположение, что такой вид (энергетически дискретный, пороговый) сигнала характерен для внутренних процессов, происходящих в гальванической концентрационной ячейке с твердым электролитом $ZrO_2+Y_2O_3$ и электродом сравнения $Bi-Bi_2O_3$.

Таким образом, учитывая постоянное присутствие в сигнале ДАК шумовой составляющей неизученного происхождения, было принято решение об отказе от дифференциального члена ПИД-регулятора и переходе на пропорционально-интегральный алгоритм автоматического регулятора (ПИ-алгоритм). Как правило, такое решение принимается, если соотношение шум/полезный сигнал для регулятора составляет величину, равную или большую 0,20–0,25%. Для компенсации дифференциального члена автоматического регулятора, роль которого проявляется в переходных процессах при увеличении мгновенных значений производной PV от времени, в алгоритм работы САР ТДА был введен алгоритм так называемого «gain schedule» – «графика усиления». Суть этого алгоритма заключается в том, что в зависимости от величины невязки $e = SP - PV$ автоматический регулятор использует различные наборы ПИ-коэффициентов. Логика работы регулятора заключалась в том, чтобы обеспечить более «жесткое» регулирование за пределами некоторого диапазона около величины уставки ($SP \pm \Delta SP$) с целью достижения более высокой скорости выхода величины PV (термодинамической активности кислорода) на уставку и более плавного регулирования в пределах этого диапазона. Такой подход обеспечил удовлетворительные динамические параметры САР ТДА при работе в переходных режимах.

Рассмотрим результаты работы системы автоматического регулирования на стенде «ТТ-2М» в процессе ресурсных испытаний.

На рис. 4–6 представлены результаты сквозного эксперимента по непрерывному регулированию в течение 7 сут при различных режимах работы САР ТДА – стационарном, режиме провокации по выбросу железа специальным источником металлических примесей (ИМП), режимах перехода с уставки на уставку в обоих направлениях.

На рис. 4 приведен график перехода системы с уставки 210 мВ на уставку 180 мВ с дальнейшим удержанием такой уставки в течение длительного времени. Из характера переходного процесса видно, что система регулирования достаточно быстро переводит объект регулирования в новое состояние, причем практически без перерегулирования. Данный эксперимент интересен тем, что переход осуществлен достаточно за короткий промежуток времени (1/4 ч) практически за счет

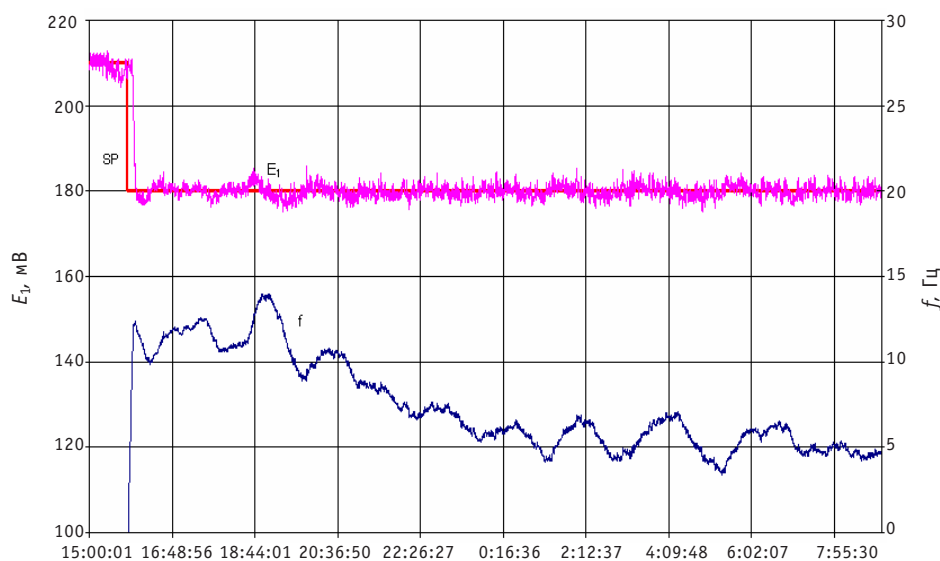


Рис. 4. Регулирование по ДАК, переход с уставки 210 на уставку 180 мВ

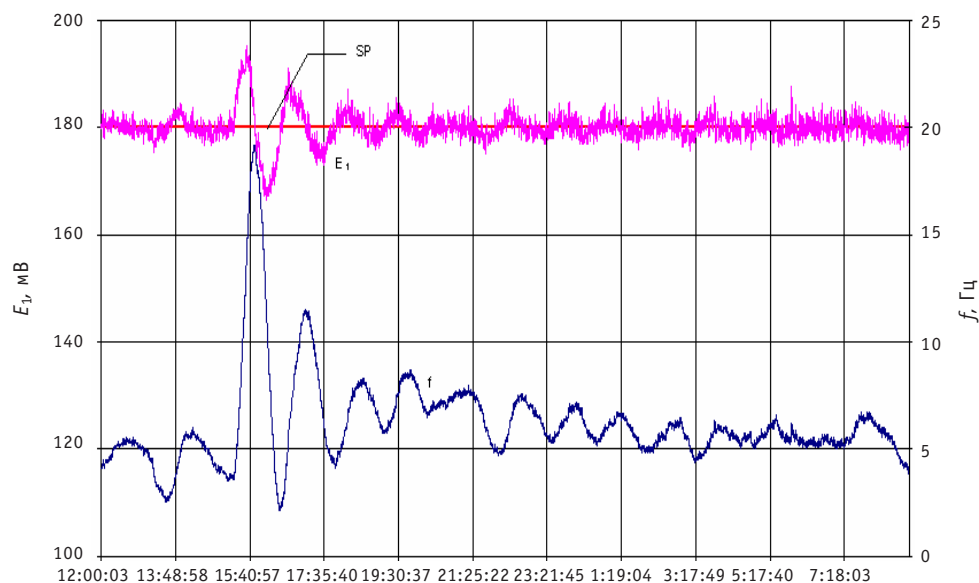


Рис. 5. Регулирование по ДАК, Fe-провокация на уставке 180 мВ

действия участка «мгновенного» выброса накопленного кислорода в характеристике испытываемого МА со встроенным насосом.

На рис. 5 представлен график работы системы САР ТДА в условиях Fe-провокации, осуществленной путем открытия ИМП на проток. График показывает, что система регулирования достаточно качественно справилась с осуществленным воздействием и привела объект регулирования в равновесное состояние при той же величине уставки $SP = 180$ мВ. Далее объект регулирования был переведен в новое состояние путем изменения уставки со 180 до 300 мВ с последующей стабилизацией и удержанием указанной уставки. На рис. 6 показан дальнейший перевод объекта регулирования на уставку 330 мВ. После стабилизации режима работы системы на этой уставке был осуществлен перевод объекта регулирования с

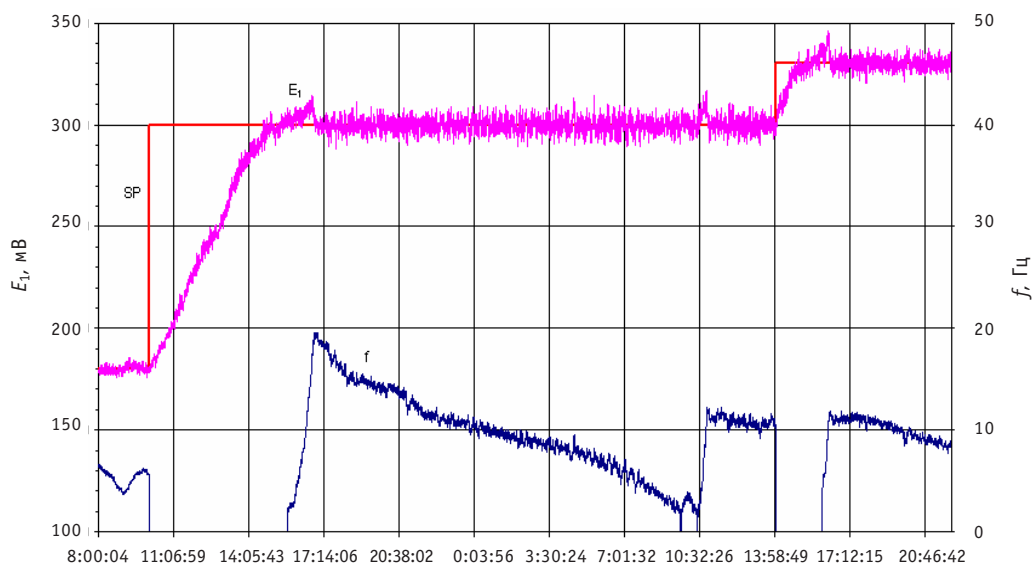


Рис. 6. Регулирование по ДАК, переход с уставки 180 на уставку 300 мВ и 330 мВ

уставки 330 на уставку 180 мВ, что в терминах концентрации означает изменение концентрации кислорода в теплоносителе для данной температуры почти на три порядка в сторону увеличения. Приведенный график достаточно ярко характеризует параметры МА по производительности и своим динамическим характеристикам. Причем необходимо отметить, что сам переходный процесс длился не более 2ч (до точки пересечения нового значения уставки), а также достаточно высокую эффективность в работе МА при подавлении последствий выброса железа в контур даже в области значительной насыщенности теплоносителя кислородом, что можно связать с достаточно высокой производительностью испытываемого варианта МА.

В заключение хотелось бы отметить, что испытания показали правильность основных технических решений, заложенных в архитектуру САР ТДА, позволили говорить о необходимости продолжения разработки и испытаний автоматической системы управления тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в целом и отдельных ее компонентов в частности.

Литература

1. Концептуальный проект АЭС с РУСВБР 75/100. Книга 1. – 2004.
2. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Твердофазная технология регулирования кислорода в тяжелых жидкометаллических теплоносителях. ЦНИЛЮТ//Новые промышленные технологии. – 2004. – №3. – С. 30-34.
3. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Способ поддержания коррозионной стойкости стального циркуляционного контура со свинецсодержащим теплоносителем и массообменное устройство для его реализации (варианты)/Патент РФ № 2246561 от 20.02.2005 г. на изобретение.
4. Бесекерский В.А., Попов П.Е. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.
5. PID Control Toolkit for G Reference Manual. National Instruments Corporation. USA. – 1998.
6. Ziegler J.G., Nichols N.B. 1942. Optimum settings for automatic controllers//ASME Transactions. – 1942. – V. 64. – №8. – P. 759-768.

Поступила в редакцию 26.03.2007

measurement data accordance was less than 10% under the short cooling times (< 100 days).

УДК 621.534.23

Modeling of Three-Dimensional Thermo-Hydraulic Processes in VVER-1000 Reactor's Core with Program Complex TRETON \N.N. Davidenko, A.S. Korsun, Y.A. Maslov, I.G. Merinov, V.S. Kharitonov, B.E. Shumsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 13 pages, 8 illustrations. – References, 8 titles.

The improvement of porous body model for the description of heat-hydraulic processes in VVER-1000 reactors core with non-cover fuel assemblies has been done. Program complex TRETON for 3D-modelling non-stationary thermal and hydrodynamic processes has been created. Heat-hydraulic module TRETON has been tested by comparison of calculation results to the analytical decision of model heat transfer problem. Comparison of calculation results coolant temperature and speed for a nominal operating mode VVER-1000 reactors core with independent calculations under certified program NOSTRA has been spent.

УДК 621.039.517.5

Superposition Method in Modeling of Temperature Field in Heat Exchange Devices by Means of Tracer Concentration Field \V.N. Delnov, Y.D. Levchenko, S.F. Shepelev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 7 titles.

The tracer is locally injected in turn into each characteristic area at the inlet of the flow part of the test section, while at the outlet the responses – tracer concentrations – are measured in the flow of working fluid. The local flow rate of tracer is proportional to the flux of thermal energy through the characteristic area. The sum of measured concentrations from each local tracer injection is proportional to local temperature at the outlet from the flow part of the test section. The application of response superposition method enables one to increase the accuracy in modeling the temperature field and simplify the design of test section for studying mixing processes in a heat exchange device.

УДК 621.039.564

Correlation Flowmeter for Measuring Low Coolant Velocities \B.V. Kebabze, A.N. Opanasenko, V.A. Shurupov, M.S. Timchenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 3 tables, 9 illustrations. – References, 2 titles.

When modeling the heat emergency removing system of fast reactor on water test rig, the natural circulation velocity is evaluated by the thermocorrelation method. The calibration of the measuring channel for internal and external gap of model subassembly is carried out on a small test facility with forced circulation. The frequency range of signal processing is defined and correction factors for true flowrate calculation are obtained. The design improvement of model subassembly is proposed, in order to eliminate the swirl effect.

УДК 621.039.52.034.3: 532.546

Hydrodynamics and Heat Exchange Features of the Pebble Bed in Radial Coolant Flow \V.A. Klimova, V.M. Pahaluyev, S.Ye. Sheklein; 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.

Regarded are the peculiarities of the radial flow in the pebble bed. The investigation shows that the spherical elements heat emission intensity is defined by the surface vortex generation as well as by gas flux laminarization connected with its accelerated flow. A rather simple formula for Nu number as a function of Re number in a range of $5 \cdot 10^2 - 10^4$ for the spherical elements diameter 7, 15 and 22 mm considering the geometrical parameter influence on the heat exchange is received.

УДК 681.51:621.039.534.6

Automatic Control System of Oxygen Thermodynamic Activity for Lead Bismuth Eutectic Coolant \P.N. Martynov, R.Sh. Askhadyllin, A.A. Simakov, V.S. Lanskix, M.E. Chernov, R.P. Sadovnichiy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 6 titles.

This article is devoted to develop of the oxygen thermodynamic activity automatic control system for circulating facilities with lead and lead-bismuth coolant. The basic preconditions for creation of the automatic control system and problem state of studying the oxygen rules with reference to the «SVBR-75/100» Reactor Installation are analyzed. For the first time, with reference to conditions of the «SVBR-75/100» Reactor Installation the opportunity of use of the oxygen thermodynamic activity automatic control system by a solid-

phase method in a contour with heavy lead-bismuth coolant is experimentally shown.

Techniques of definition of dynamic parameters of the automatic control system are developed and tested, tests for justification of system serviceability in steady-state conditions of nonisothermal circulating circuit, and also in conditions of a various types of the «provocations» deducing a circuit of the facility from an equilibrium condition on oxidizing potential of the coolant are carried out.

УДК 621.534: 519.7

Realization of the multiple-factor models of thermal conductivity in the multi-layer spherically symmetrical device with fuel element \ A.V. Saenko, A.V. Tikhonenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 19 titles.

Mathematical models of the thermal stationary conductivity in the multi-layer spherically symmetrical device with fuel element are realized for different physical and technological conditions. Boundary-value problems on the thermal field calculation are solved with program system and recommendations on composition of fuel element are formulated.

УДК 536.24: 621.039.534

Thermo-Hydraulic Calculation of the Sodium-Water Steam-Generator for the Case of Steam-Generating Tube Removal and Plugging \ V.V. Hudasko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 11 pages, 1 table, 6 illustrations. – References, 17 titles.

A procedure for the thermo-hydraulic calculation of the sodium-water steam-generator is presented for the case of stem-generator tube removal and plugging. A comparison is given of the calculated data with the experimental ones. Good agreement has been obtained between the calculated and experimental data

УДК 621.039.534.6: 536.24

About Required Determination Accuracy of the Liquid-Metal Coolant Properties in the Fast Reactors \ Y.S. Yuriev, I.T. Afanasieva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages. – References, 7 titles.

The formulas to calculate temperature deviation of the fuel elements as a result of coolant property uncertainty have been obtained. The dispersive method was used to estimate comparatively the contribution of different deviation components. The conclusion about significance of geometric fuel element tolerances, a reactor power deviation, a heat capacity and a coolant density has been drawn.

УДК 621.311.25: 621.039

Model of the Turbine Stage \ A.A. Kazantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 7 titles.

For calculations in real time the dynamics of NPP turbine department it is necessary to have model of the turbine stage. Due to permanent growth of the requirements to improve the accuracy of NPP simulator the problem arises to create model with accuracy 1% for the description of parameters of turbine stage. The present model is valid for all mode of operation for real time simulation. Results of calculations were compared with known data for some NPP turbines. It proves that the presented model of the turbine meets the requirements on the accuracy if there are data available about the turbine blade's angle for all turbine stages.

УДК 621.039.534

Mathematical Model of Processes in the Cut not Tight Steam Generator as a Part of the Operating Ship Reactor's Installation \ V.I. Korolev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 2 illustrations. – References, 1 title.

While in service reactor's installation of a nuclear vessel regular depressurization of trumpet system of direct-flow steam generators is observed. For a non-admission of hit of the active heat-carrier in a steam-and-water cycle, a current steam and gas generator it is reliably cut on the second contour. Further the heat-carrier arrives in trumpet system of the cut steam and gas generator and at a given time completely fills its internal volume. After that moment restrictions on maneuvering are entered into avoidance неоперессовки a steam and gas generator because of water expansion in the closed space. It is necessary to define the beginning of this moment. In article the mathematical model of process of growth of pressure in trumpet system of the cut not tight steam generator is developed at work reactor's installation at power levels of capacity.