

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МАССООБМЕННОГО АППАРАТА С ТВЕРДОФАЗНЫМ ИСТОЧНИКОМ КИСЛОРОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 44,5%Рb-55,5%Вi

П.Н. Мартынов, Р.Ш. Асхадуллин, А.Ю. Легких, А.А. Симаков
ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Техническая реализация твердофазного метода регулирования содержания кислорода в свинецсодержащих теплоносителях, разработанного в ГНЦ РФ-ФЭИ, осуществляется с помощью специально разрабатываемых устройств – массообменных аппаратов, которые являются важной составной частью комплекса средств технологии тяжелых жидкометаллических теплоносителей. К настоящему времени специалистами ГНЦ РФ-ФЭИ разработаны и испытаны различные виды конструкций данных устройств.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований усовершенствованного массообменного аппарата, устройства пневмодозаторного типа, для регулирования содержания примеси кислорода в теплоносителе свинец-висмут. Массообменный аппарат испытывался в составе автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления состоянием свинцово-висмутного теплоносителя. Испытания проводились на циркуляционном неизотермическом стенде «ТТ-2М» (ГНЦ РФ-ФЭИ). Целью экспериментов было определение работоспособности и основных характеристик разработанного массообменника.

Ключевые слова: термодинамическая активность кислорода, свинец, свинец-висмут, теплоноситель, массообменный аппарат, датчик активности кислорода, твердофазный метод.

Key words: oxygen thermodynamic activity, lead, lead-bismuth, coolant, mass exchanger, oxygen sensor, solid-phase method.

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью расплавов свинца и свинца-висмута является их сравнительно высокая коррозионная активность по отношению к конструкционным материалам. В связи с этим одной из важнейших проблем, возникающих при использовании данных теплоносителей, является обеспечение коррозионной стойкости контак-

тирующих с ними материалов. В настоящее время основным методом, применяемым для защиты конструкционных сталей от коррозии в среде расплавов свинца и свинца-висмута, является кислородная пассивация конструкционных материалов. Пассивация заключается в формировании и поддержании на их поверхностях тонких (1–10 мкм), хорошо сцепленных с основой, плотных оксидных пленок, препятствующих развитию коррозионных процессов. При наличии таких пленок коррозионная стойкость конструкционных материалов многократно возрастает [1, 5]. Поскольку в этом методе пассивации основу защитных покрытий составляют оксидные соединения компонентов сталей, то их стабильность определяется термодинамической активностью кислорода в теплоносителе. Основу защитных покрытий составляет смешанный оксид железа – магнетит Fe_3O_4 . При эксплуатации установок возможно снижение концентрации растворенного кислорода в расплаве до значений, равных или меньших равновесных с Fe_3O_4 , что приводит к разрушению пассивационных покрытий. С другой стороны, присутствие в контуре значительного количества кислорода нежелательно, так как это может привести к накоплению недопустимого количества оксидов теплоносителя, таким образом,

- при слишком низкой термодинамической активности кислорода ($a_{[\text{O}]} < 10^{-4}$) в расплаве свинца-висмута или свинца не обеспечивается надежная антикоррозионная защита конструкционных сталей;

- при перенасыщении теплоносителя кислородом образуются шлаковые «блоки» на теплообменных участках контура, происходит нарушение проектных тепло-гидравлических характеристик циркуляционного контура, отклонение от штатных режимов эксплуатации, снижение ресурса работы оборудования.

Поэтому в процессе эксплуатации установок необходимо контролировать качество теплоносителя, поддерживая содержание растворенного кислорода на определенном уровне.

В ГНЦ РФ-ФЭИ были разработаны метод и средство регулирования окислительного потенциала свинецсодержащих теплоносителей, основанные на использовании процесса растворения твердофазных оксидов свинца, помещаемых в поток теплоносителя (твердофазный метод) [6].

Существует несколько основных видов конструкций устройств кислородного массообмена:

- массообменные аппараты со встроенным насосом, где расход через реакционную емкость создается при той же температуре, что и в окружающем аппарат сплаве;

- массообменные аппараты с одним или несколькими внутренними нагревателями, где реализуется создание конвективного расхода теплоносителя за счет его подогрева, т.е. расход регулируется температурой;

- исследуемый массообменный аппарат пневмодозаторного типа, работа которого основана на принципе газового поршня.

Вышеперечисленные типы аппаратов кислородного массообмена схематично представлены на рис. 1. Тип аппарата выбирается исходя из технических требований объекта регулирования.

Разработанный массообменный аппарат пневмодозаторного типа обладает рядом преимуществ по сравнению с его аналогами. Основным преимуществом является высокая надежность, т.к. отсутствуют какие-либо составляющие конструкции, находящиеся под уровнем расплава, которые могут выйти из строя (нагреватель, насос), что приведет к необходимости их замены, а соответственно, к остановке и разгерметизации установки. Данная конструкция аппарата гарантирует исключение выноса твердой фазы и обеспечивает отсутствие воздействия

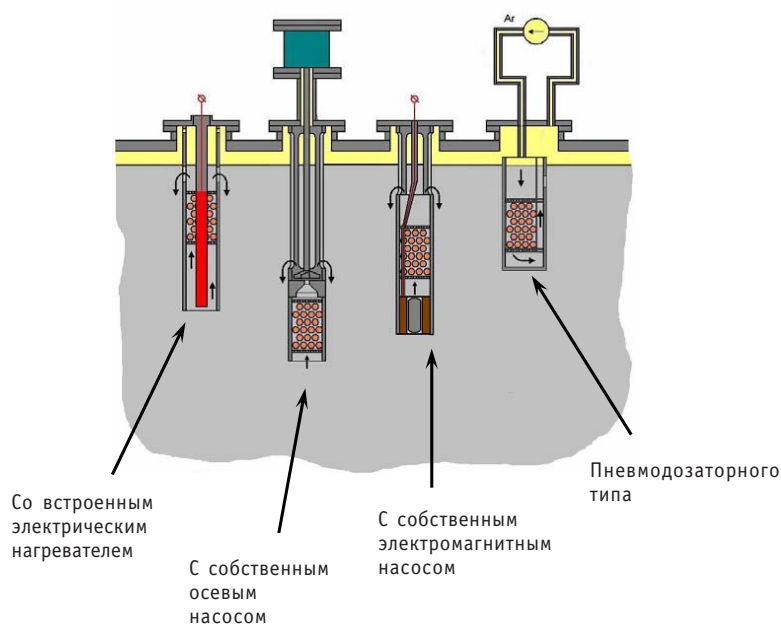


Рис. 1. Типы массообменных аппаратов

водорода на оксид свинца при водородной очистке контура. Управление аппаратом пневмодозаторного типа не требует ни ПИД, ни ПИ-регулирования, а осуществляется дискретно.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Были проведены эксперименты с каждым из двух экспериментальных образцов массообменных аппаратов пневмодозаторного типа, один из которых был смонтирован на «холодном» байпасе стенда ТТ-2М, другой – в буферной емкости этого стенда.

Схема монтажа аппарата на байпасе стенда представлена на рис. 2. На входной линии рабочего участка перед массообменным аппаратом были расположены датчик активности кислорода (ДАК) капсульного типа Е3 для определения термодинамической активности кислорода на входе в рабочий участок стенда и электромагнитный расходомер G4, служащий для определения расхода теплоносителя через массообменный аппарат. Электромагнитный расходомер G3 предназначен для определения расхода теплоносителя через байпас. На выходном трубопроводе расположен датчик активности кислорода Е8 капсульного типа для определения содержания кислорода после прохождения расплава через аппарат. Таким образом, при помощи указанных датчиков определялась концентрация растворенного кислорода на входе в рабочий участок и на выходе из него.

Схема монтажа аппарата в буферной емкости стенда ТТ-2М представлена на рис. 3. Газовая труба приварена к фланцевому соединению на крышке буферной емкости на таком расстоянии от нее, чтобы весь корпус массообменного аппарата находился под уровнем сплава. Датчики активности кислорода располагаются в самой буферной емкости и на выходе из коллектора массообменного аппарата, поэтому можно контролировать содержание кислорода внутри массообменного аппарата. Индивидуальный газовый контур массообменного аппарата состоит из двух запорных вентилей, микрокомпрессора, измерителя разности давления «Сапфир-22ДД», вентиля тонкой регулировки, электромагнитного клапана.

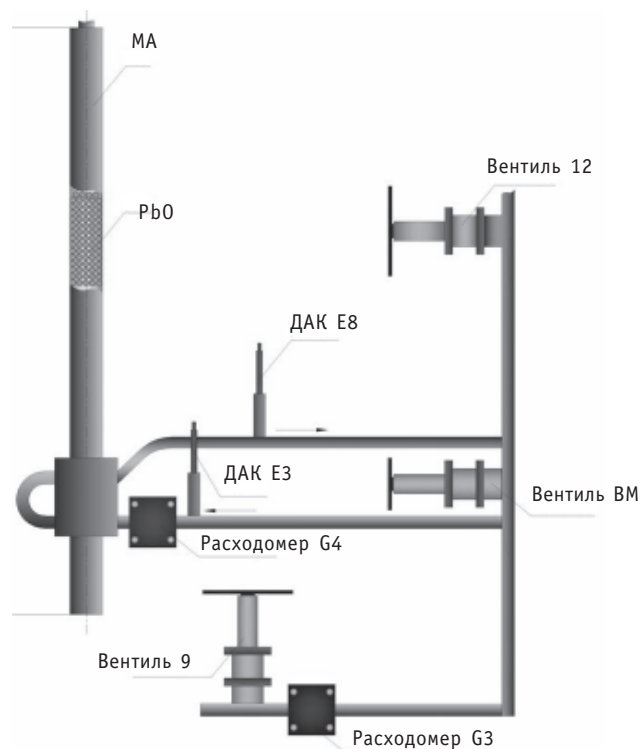


Рис. 2. Схема монтажа образца массообменного аппарата на байпасе стенда 11-2М

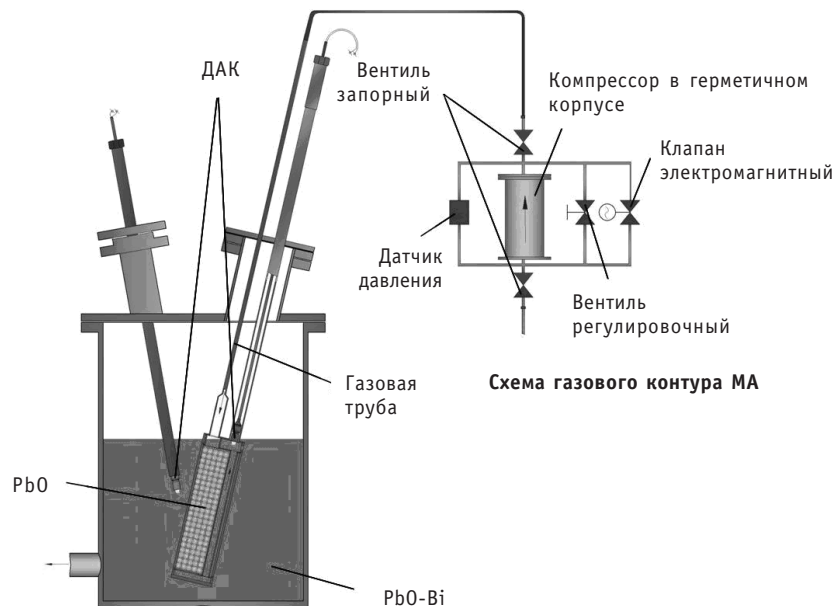


Рис. 3. Схема монтажа образца массообменного аппарата в буферной емкости стенда ТТ-2М

Программа испытаний включала в себя следующие основные этапы:

- подбор оптимальных параметров работы автоматизированной системы управления в изотермическом и неизотермическом режимах с помощью алгоритмов с обратной связью и без нее;

- испытание аппаратов кислородного массообмена при различных уставках по величине активности кислорода автоматизированной системы управления;
- испытание аппаратов при санкционированных оператором изменениях текущей уставки по величине активности кислорода (как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения) автоматизированной системы управления;
- испытание массообменного аппарата в условиях имитации развития коррозионных процессов в контуре (при работе источника металлических примесей);
- экспериментальное определение производительности массообменных аппаратов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные испытания образцов массообменных аппаратов пневмодозаторного типа показали, что эти аппараты как исполнительный элемент автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления содержанием кислорода способны достаточно оперативно удовлетворять потребность контура в растворенном кислороде, обеспечивать с высокой точностью $\pm(1-3)\%$ поддержание заданного кислородного режима во всем рабочем диапазоне концентраций ($10^{-10} - 10^{-4} \%$ масс). На рисунке 4 показаны изменения концентрации кислорода при работе автоматизированной системы управления содержанием кислорода в автоматическом режиме при заданном значении кислородного потенциала (уставке). Из рисунка видно, что флуктуации концентрации кислорода происходят в очень узком диапазоне около требуемого уровня, соответствующего «уставке».

Реализация перехода на другой уровень кислородного потенциала осуществляется стабильно (рис. 5), и система с хорошей точностью обеспечивает поддержание нового уровня.

При испытании в условиях имитации развития коррозионных процессов была также достигнута стабильная работа массообменного аппарата исследуемого типа в составе автоматизированной системы управления (рис. 6). В экспериментах была достигнута высокая точность регулирования концентрации кислорода (не более $\pm 1-3 \text{ мВ}$).

В ходе проведения экспериментов было получено, что максимальная концентрация на выходе из исследуемых образцов массообменных аппаратов приблизительно в 2 раза меньше концентрации насыщения, что гарантирует исключение



Рис. 4. Поддержание заданного уровня концентрации кислорода

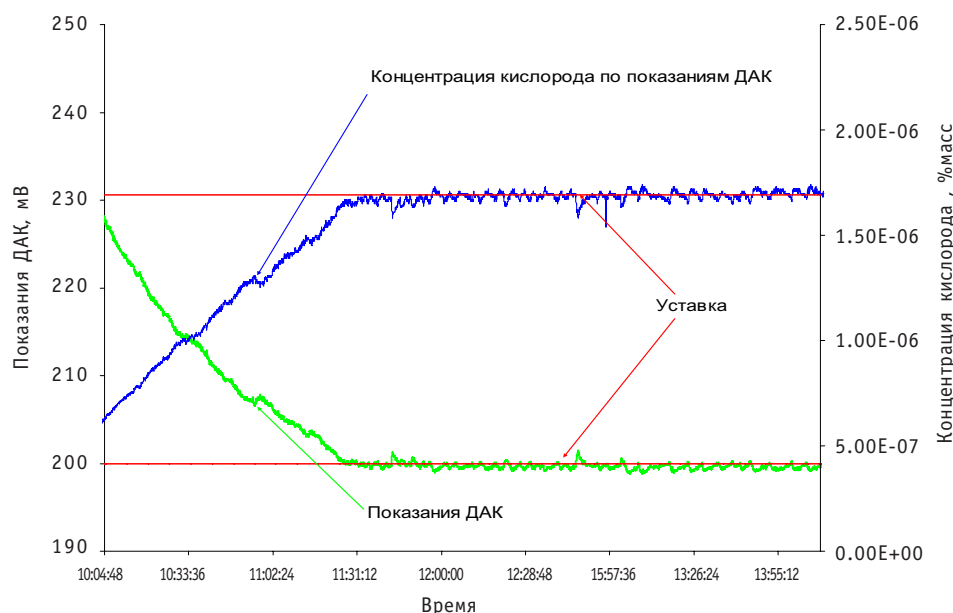


Рис. 5. Реализация перехода на другой уровень кислородного потенциала

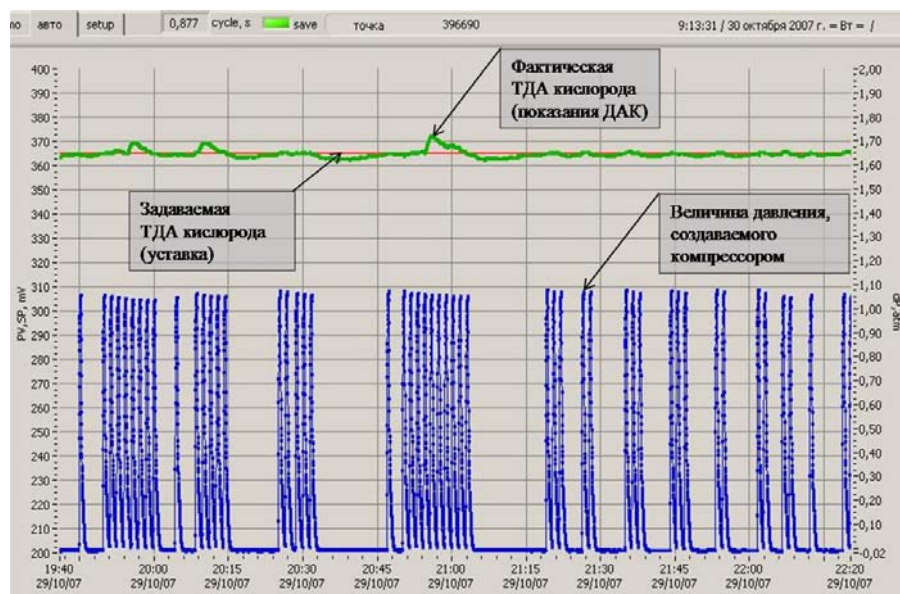


Рис. 6. Имитация развития коррозионных процессов на циркуляционном стенде ТТ-2М

выноса твердой фазы из аппарата. Массообменный аппарат пневмодозаторного типа, в отличие от его аналогов, позволяет оценить массу растворенного кислорода в каждой дозе и суммарное количество кислорода, поданного в теплоноситель, что является особенно важным, так как может лежать в основе новой методики диагностики состояния контура. На рис. 7 представлены графики, построенные по экспериментальным данным, из которых видно, что при почти постоянном значении кислородного потенциала скорость изменения суммарной массы подаваемого кислорода меняется. Методика диагностики контура заключается в том, что при поддержании заданной неизменной концентрации кислорода по скорос-

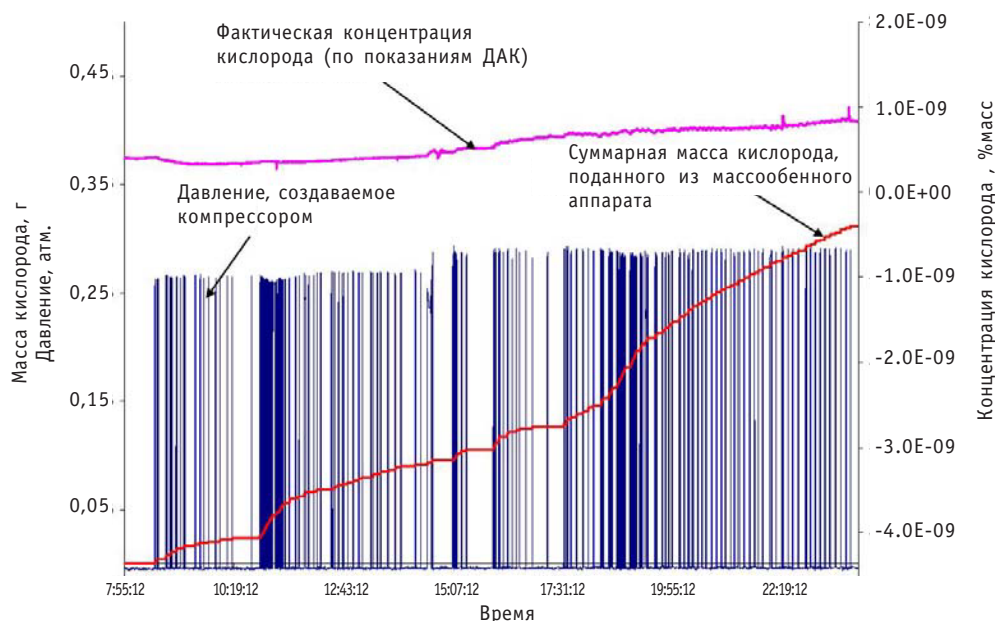


Рис. 7. Графики изменения давления, концентрации и массы кислорода, поданной в теплоноситель

ти изменения массы кислорода, поданной из массообменного аппарата, можно определить начало коррозионных, эрозионных процессов, а также разгерметизацию контура.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены экспериментальные исследования усовершенствованной конструкции массообменного аппарата с твердофазным источником кислорода, устройства пневмодозаторного типа. Испытания проводились в различных режимах работы: при поддержании заданного уровня кислорода в контуре, при изменении уставок по величине активности кислорода автоматизированной системы управления, в условиях имитации развития коррозионных процессов в контуре. На основании исследований можно сделать вывод о том, что данная конструкция работоспособна; позволяет варьировать количество подаваемого расплава свинца-висмута, обогащенного кислородом в основной контур; стабильно работает в составе автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления состоянием свинцово-висмутного теплоносителя. Является целесообразным продолжение работ по созданию и обоснованию конструкций массообменных аппаратов уже применительно к конкретным ядерным энергетическим установкам.

Литература

1. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Твердофазная технология регулирования кислорода в тяжелых жидкометаллических теплоносителях // Новые промышленные технологии. ЦНИЛОТ. — 2004. — № 3. — С. 30-34.
2. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Разработка конструкций массообменных аппаратов для регулирования концентрации кислорода в теплоносителе Pb-Bi (Pb) для различных исследовательских петель и установок // Материалы конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях». — Обнинск, 2008.
3. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Разработка и экспериментальная эксплуатация массообменных аппаратов для обеспечения заданного кислородного режима в теплоносителях на основе свинца / Ядерные реакторы на быстрых нейтронах. Российский научно-

технический форум. Материалы конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях». – Обнинск, 2003.

4. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Твердофазная технология регулирования кислорода в тяжелых жидкометаллических теплоносителях//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2007. – № 1. – С. 145-151.

5. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. и др. Создание автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления состоянием свинцово-висмутового (свинцового) теплоносителя и поверхностей контура ЯЭУ//Новые промышленные технологии. – 2008. – № 4. – С. 43-48.

6. Сысоев Ю.М., Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Симаков А.А. Патент РФ №2246561 от 20.02.2005 г. на изобретение «Способ поддержания коррозионной стойкости стального циркуляционного контура со свинецсодержащим теплоносителем и массообменное устройство для его реализации (варианты)».

Поступила в редакцию 10.06.2009

УДК 621.039.534.6:536.24

Experimental Researches of Advanced Mass Exchanger with Solid-Phase Oxygen Source in RESPECT to Tecnology of 44,5%Pb-55,5%Bi \ P.N. Martynov, R.Sh. Askhadyllin, A.Yu. Legkikh, A.A. Simakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 7 illustrations. – References, 6 titles.

Technical implementation of solid-phase method for adjustment of oxygen content in lead alloys coolants, developed by IPPE, is realized by means of specially designed devices – mass exchangers which are a significant component of heavy liquid-metal coolant technology. To date different kinds of the devices had been developed and tested by specialists of SSC RF- IPPE. The paper presents results of experimental researches of advanced mass exchanger, an air-operated device, for adjustment of oxygen content in lead-bismuth coolant. Mass exchanger was tested as part of automatic forecast and control system of lead-bismuth coolant state. Tests were carried out on circulating isothermal facility TT-2M (SSC RF-IPPE). The aim of the experiments was to define working efficiency and major features of the developed mass exchanger.

УДК 519.7:621.039

The Dynamic Programming Method Use for the Decommissioning NPP Equipment Dismantling for the Purpose of Irradiation Minimization \ F.A. Balushkin, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov, I.B. Tcheklov, S.Ye. Sheklein, A.G. Chentsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 1 table, 4 illustrations. – References, 17 titles.

The relevance of solving the problem of radioactive equipment dismantling optimization when NPP decommissioning is substantiated. The mathematical analysis of the opportunity to use the dynamic programming method and its advantages for the given problem solving is carried out. The evaluating calculations of the radioactive equipment dismantling optimal sequence, under the precedence conditions too, and the stuff irradiation decrease in comparison with the initial variant are carried out.

УДК 621.039.51

The Macro-Subgroup Simulation of the Fast Reactor Plant \ A.A. Bezborodov, D.A. Klinov, V.V. Kolesov, V.Yu. Stogov, I.R. Suslov, V.I. Folomeev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 3 illustrations. – References, 16 titles.

The aim of the paper is considering of the application of the macro-subgroup method for description of neutron cross-sections interactions with media nuclides nuclei in resonance part of energy for physical simulation of the fast reactor plants with non-fertile reflectors.

УДК 621.039.51

Vessel Model with Incondensable Gas \ A.A. Kazantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 illustrations. – References, 12 titles.

For calculations in real time the dynamics of NPP it is necessary to have the point vessel model. The model is executed without use of derivative thermodynamic properties. The presented model describes all operating modes, possesses the raised stability and meets the requirements for calculations as model of real time.

УДК 621.039

Training on fundamentals of protection of the public from threats of radiological emergency \ V.A. Kutkov, I.A. Saksaganskiy, V.V. Tkachenko, T.B. Melnitskaya, E.K. Ochkin, V.S. Pirskiy, V.I. Vaiser, M.Yu. Orlov, N.P. Tkachenko, Yu.S. Trafimov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 2 tables. – References, 35 titles.

Department of Emercom of Russia in Kaluga region and Obninsk University of nuclear power engineering provided training course «Fundamentals of protection of the public from threats of radiological emergency» in 2008. It was the first training course for Russian professionals who are first responders for radiological emergency. The course was conducted with support of International Atomic Energy Agency and uses materials of the Agency in area of emergency preparedness and response for radiological emergencies. This course gives the up-to-date information for organization