

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАРОГАЗОВОГО ФРОНТА В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

П.А. Дворников\*, С.Н. Ковтун\*, А.А. Бударин\*, В.П. Полионов\*,  
Н.Н. Титаренко\*, Н.Г. Роцин\*\*, А.Л. Матвеев\*\*, Е.Л. Матвеев\*\*

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

\*\*Общество с ограниченной ответственностью «Инженерно-сервисный центр  
диагностики оборудования АЭС НИКИЭТ», г. Москва



Объектом исследования являются динамические процессы, происходящие в теплоизоляции при разгерметизации трубопровода энергетических установок. Моделирование всевозможных вариантов течи проводилось с помощью адаптированного расчетного кода «КУПОЛМ», разработанного в ГНЦ РФ-ФЭИ.

**Ключевые слова:** контроль течи теплоносителя, влажность, датчик влажности, температура, трубопровод, теплоизоляция, энергетические установки.

**Key words:** coolant leakage control, humidity, humidity sensor, temperature, pipeline, thermal insulation, power plants.

### ВВЕДЕНИЕ

Безопасность и эффективность всегда являлись фундаментальными требованиями эксплуатации АЭС. Общеизвестно, что одним из факторов, существенно влияющим на выполнение этих требований, является применение методов технической диагностики во время эксплуатации реакторной установки [1].

Решение задачи своевременного обнаружения течей трубопроводов и оборудования контуров, находящихся под давлением, является одной из серьезных проблем эксплуатации АЭС с водяным охлаждением. Внедрение систем контроля течи повысит безопасность эксплуатации энергоблоков с РУ ВВЭР-1000 в аспекте предотвращения аварий с потерей рабочего тела и разрушением трубопроводов большого диаметра. Кроме этого, наличие надежных средств контроля течей будет оказывать существенное влияние при решении вопросов о возможности допуска трубопроводов и оборудования к дальнейшей эксплуатации по результатам очередного инспекционного контроля. Это влияние будет увеличиваться по мере старения энергоблоков, выработки ресурса трубопроводов и оборудования, увеличения числа дефектов металла. Исключение необоснованных ремонтных работ повысит экономическую эффективность эксплуатации энергоблока. Рекоменду-

© П.А. Дворников, С.Н. Ковтун, А.А. Бударин, В.П. Полионов, Н.Н. Титаренко, Н.Г. Роцин, А.Л. Матвеев, Е.Л. Матвеев, 2012

ющими документами МАГАТЭ для стран-участниц [2] системы контроля течей выделены в приоритетный класс систем диагностики.

Внедрение автоматизированной системы контроля течи является необходимым условием применения концепции «течь перед разрушением» (ТПР) для трубопроводов большого диаметра [3]. Методология концепции ТПР используется для доказательства того факта, что в системах трубопроводов с высокой запасенной энергией жидкости или пара течь появится задолго до того, как гильотинное разрушение (или его эквивалент при продольном разрушении) может произойти.

Система контроля течи (СКТ) должна обеспечивать выдачу предупредительного и аварийного сигналов на пульт управления реактором в случае обнаружения течи выше установленного предела для рассматриваемого энергоблока АЭС, после которого установка должна переводиться в режим расхолаживания и останова. Инструкции по эксплуатации должны определять время между обнаружением предельной течи и началом останова реактора. В настоящее время нет единственного метода обнаружения течи, который бы сочетал в себе оптимальную чувствительность, способность определить местоположение и расход теплоносителя. Для применения концепции ТПР рекомендуются использовать, по крайней мере, три дополняющие друг друга и независимые системы контроля течи.

Международной электротехнической комиссией (IEC) рекомендован МАГАТЭ странам-участникам как руководящий документ стандарт 1250-IEC 1994 «Контрольно-измерительные приборы и системы контроля, важные для безопасности. Системы обнаружения течей контуров циркуляции», если он не находится в противоречии с национальным стандартом. Основные требования этого стандарта нашли отражение в документе «Руководство по применению концепции безопасности «течь перед разрушением» к трубопроводам АЭУ, Р-ТПР-01-99», РД 95 10547-99 Москва, 1999 [3].

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТЕЧИ ПО ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

Международные регламентирующие документы (в частности US NRC 83) рекомендуют обеспечивать чувствительность системы контроля течей теплоносителя для контуров охлаждения АЭС не хуже 1,9 л/мин, период отклика и временной интервал обнаружения течи теплоносителя – не более одного часа и точность определения места течи не более двух метров. Однако реальные и критические характеристики СКТ в большой степени определяются конструктивными особенностями реакторных установок, материалами трубопроводов, параметрами эксплуатации контролируемых систем и окружающей среды, а также количеством первичных преобразователей и характеристиками технических средств СКТ.

Контроль влажности воздуха является наиболее апробированным и отработанным в методическом плане способом для обнаружения течей теплоносителя. Метод сравнительно прост и надежен, есть опыт эксплуатации многочисленных вариантов систем и серийно выпускаемых типов первичных преобразователей. Системы имеют удовлетворительные характеристики течеискания и хорошие стоимостные характеристики по всем составляющим оборудования.

Однако эффективность применения ограничивается

- зависимостью чувствительности от характеристик перемешивания атмосферы в контролируемых помещениях и изменений влажности в течение эксплуатации;
- зависимостью результатов от температуры окружающей среды в помещении и соответственно неизвестной пропорции жидкость-пар при истечении теплоносителя для некоторых помещений контура;

- определением только района местоположения течи;
- неопределенностью в идентификации множественных малых течей в различных местах одного помещения от одной большего размера.

В соответствии с приведенными в стандарте 1250-IEC 1994 данными ранжирования влажностный метод контроля отнесен

- по чувствительности к обнаружению течи к высшей категории А, т.е. в целом может быть применен для выполнения намерения этого стандарта, если правильно разработан и применяется;
- по определению места течи к категории В, т.е. может быть приемлемым, запасным или не способным выполнить задачу мониторинга в зависимости от условий применения и числа местоположений измерительных точек;
- по точности измерения величины течи к категории С (низшей) как в целом не рекомендуемый но может использоваться для контроля специфических расположений.

В рассматриваемой системе контроля течи по влажности воздуха (СКТВ) [4–7] ряд характерных недостатков данного типа систем удалось уменьшить, в первую очередь, выбором мест размещения датчиков (рис. 1) и пассивного принципа транспортировки парогазовой смеси от места течи к датчику.

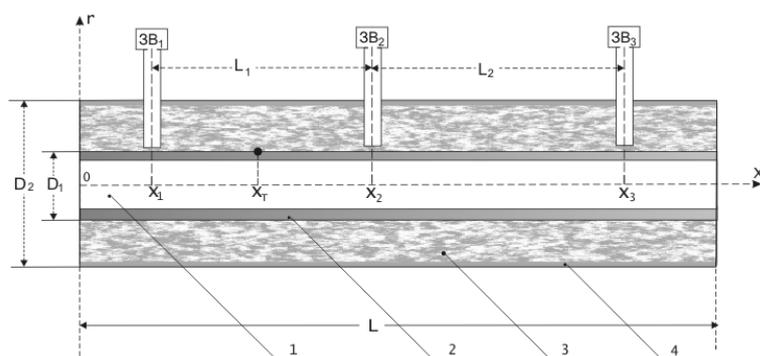


Рис. 1. Упрощенная схема установки выносных зондов на участке трубопровода: 1 – водяной теплоноситель; 2 – труба; 3 – теплоизоляция; 4 – металлический кожух теплоизоляции; ЗВ<sub>1</sub>, ЗВ<sub>2</sub>, ЗВ<sub>3</sub> – датчики температуры и влажности (зонды выносные)

На рисунке 1 приведено схематическое изображение имитационной модели участка трубопровода с зондами влажности (ЗВ) относительно места течи (контрольные точки, фиксирующие изменение параметров воздуха).

СКТВ содержит устройства отбора и транспортировки воздуха из воздухопроницаемой теплоизоляции трубопровода и измерения его влажности. Основные технические решения предлагаемой системы защищены патентом. Устройство отбора и транспортировки воздуха состоит из патрубка, сочлененного нижним торцом с отверстием в кожухе воздухопроницаемой теплоизоляции трубопровода. Устройство измерения влажности воздуха содержит зонды влажности, включающие в себя сенсоры относительной влажности и температуры, электрические линии связи, электрические проходки и размещенный вне защитной оболочки измерительно-вычислительный комплекс.

Система постоянно измеряет относительную влажность, температуру и вычисляет абсолютную влажность воздуха в местах установки зондов. При наличии течи трубопровода образовавшийся пар в силу избыточного давления распространяется от места течи в обе стороны по воздухопроницаемой теплоизоляции трубопровода. Некоторая часть пара через патрубки выходит в окружающую среду (в

герметичную оболочку АЭС), что приводит к повышению влажности и температуры воздуха в патрубках.

Параметры воздуха в патрубках регистрируют датчики относительной влажности и температуры, сигналы с которых по электрическим линиям связи через электрические проходки поступают в измерительно-вычислительный комплекс, где определяется абсолютная влажность. По параметрам воздуха определяется факт наличия течи трубопровода. При установке двух и более разнесенных на контролируемом участке трубопровода патрубков с датчиками и известных координатах их расположения в измерительно-вычислительном комплексе по характеру распространения пара по длине воздухопроницаемой теплоизоляции находят место и размер течи.

### **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ**

Поверхность каждого из трубопроводов ЭУ покрывается теплоизоляцией, внешняя поверхность которой «защищается» достаточно герметичными металлическими кожухами. Причем теплоизоляция бывает двух типов – блочной, металлизированной, устанавливаемой на трубопроводы с зазором 20–40 мм, и в виде матов, укладываемых непосредственно (без зазоров) на трубопроводы энергетической установки (ЭУ). В результате образуются так называемые подызоляционное (в первом варианте) и изоляционное (во втором) пространства с существенно меньшим объемом воздуха по сравнению с объемом воздуха в помещениях.

В обоснование характеристик влажностной системы контроля течи проведены расчетные и экспериментальные исследования на моделях трубопроводов с различными типами теплоизоляции – в виде отдельных блоков теплоизоляции с зазором между трубопроводом и блоками на Тяньваньской АЭС (Китай) и традиционной из базальтовых матов на третьем блоке Калининской АЭС. Экспериментальные исследования влагосодержания в воздухе выходных патрубков при течах проводили на специальных стендах: в ФЭИ на стенде СКТВ-2М с матовой базальтовой и ОКБ «Гидропресс» – блочной теплоизоляцией.

Для исследования влагопереноса в наиболее распространенной матовой базальтовой теплоизоляции в ФЭИ был создан стенд СКТВ-2М. Стенд включает в себя 5-метровую модель участка трубопровода с теплоизоляцией толщиной 200 мм, заключенной в металлический экран, нагреватель для поддержания нужного температурного режима и генератор пара с регулируемым расходом. Течь трубопровода моделируется струей пара с известным массовым расходом, вводимой под теплоизоляцию.

Расчетные исследования проводили с использованием кода «Купол-М» [8,9], который позволял получить пространственно-временное распределение температуры, абсолютной и относительной влажности воздуха в теплоизоляции трубопроводов.

Математическая модель тепломассопереноса в помещениях защитной оболочки представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений сохранения импульса, энергии и компонент газовой смеси, записанных для каждого выделенного контрольного объема. При существенном влиянии сжимаемости на характеристики газового потока вместо уравнения сохранения импульса используются зависимости, полученные для адиабатического истечения газа из сосудов под давлением. В качестве уравнения состояния принят универсальный газовый закон.

Модель теплообмена со стенами и различным оборудованием включает в себя одномерное уравнение теплопроводности для стенки, гипотезу аналогии тепло- и

массообмена для расчета поверхностной конденсации пара и эмпирические зависимости для коэффициентов теплоотдачи. Процесс объемной конденсации пара описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений для счетной концентрации капель и их радиуса в каждом контрольном объеме и уравнением переноса водности.

Объем теплоизоляции представляется рядом взаимосвязанных боксов (контрольных объемов), каждый из которых может иметь несколько связей с другими боксами или с окружающей средой. Топология связанных боксов произвольна. Считается, что парогазовая среда в боксе идеально перемешана, т.е. определяют средние термодинамические характеристики атмосферы в каждом боксе. Через связи боксов осуществляется перенос парогазовой среды. Между собой боксы могут быть разграничены стенками. Код использует математическую модель в сосредоточенных параметрах и позволяет рассчитать следующие основные характеристики:

- температуру и давление газа в боксах;
- концентрационный состав парогазовой смеси (плотность пара и воздуха);
- количество образующегося конденсата и его температуру в каждом боксе (модель поверхностной конденсации основана на аналогии процессов тепло- и массопереноса);
- скорость перемещения парогазовой смеси в боксах.

При расчете учитываются процессы дросселирования пара из отверстия в трубе, тепломассоперенос компонент парогазовой смеси, коэффициенты гидравлического сопротивления и перепад гидростатического давления между боксами, естественная конвекция парогазовой смеси. Для пара учитываются

- сток или источник пара в объеме бокса за счет конденсации на каплях или их испарении соответственно;
- объемная конденсация пара;
- сток за счет конденсации на стенках бокса;
- источник пара за счет химической реакции водорода с кислородом.

Характерное изменение отдельных параметров процесса при возникновении течи представлено на рис. 2–5. В расчетах предполагается, что течь возникает мгновенно (на сороковой секунде по шкале времени на приведенных рисунках) и далее остается постоянной.

На основании анализа расчетно-экспериментальных данных, полученных на лабораторных установках и по программе КУПОЛ-М, установлено, что в качестве информативных параметров алгоритма контроля течи могут быть следующие измеряемые величины: относительная влажность воздуха, температура воздуха, совокупность этих параметров.

Однако, поскольку относительная влажность зависит от температуры, целесообразно использовать более консервативную величину – абсолютную влажность  $\rho$ . Этот параметр определяется через измеряемую относительную влажность и температуру воздуха.

На рисунке 2 показана динамика температуры, абсолютной и относительной влажности воздуха под вторым зондом при течи 1.5 кг/мин. Сплошной кривой показан результат расчета одного из наиболее инерционных вариантов из ситуаций возникновения течи ( $x_T = x_1$ ;  $\vartheta = 180^\circ$ ).

Как видно из рисунков 2–3, даже течь 1.5 кг/мин приводит к существенным изменениям параметров воздуха, выходящего из патрубков. При этом отчетливо наблюдается эффект запаздывания изменения параметров в зависимости от места расположения патрубка по отношению к месту течи. Это запаздывание в первом

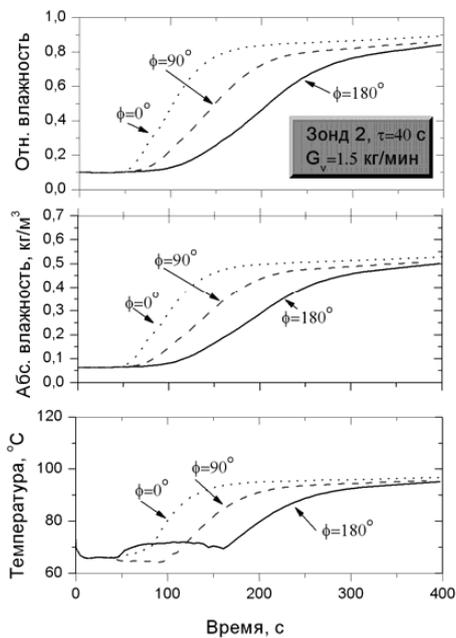


Рис. 2. Изменение температуры, абсолютной и относительной влажности воздуха во втором выносном зонде при течи 1.5 кг/мин:  
 — место утечки находится в точке  $x_T = x_1$ ;  $\vartheta = 180^\circ$  (см. рис.1); - - - место утечки в точке  $x_T = x_1$ ;  $\vartheta = 90^\circ$ ; · · · место утечки в точке  $x_T = x_1$ ;  $\vartheta = 0^\circ$

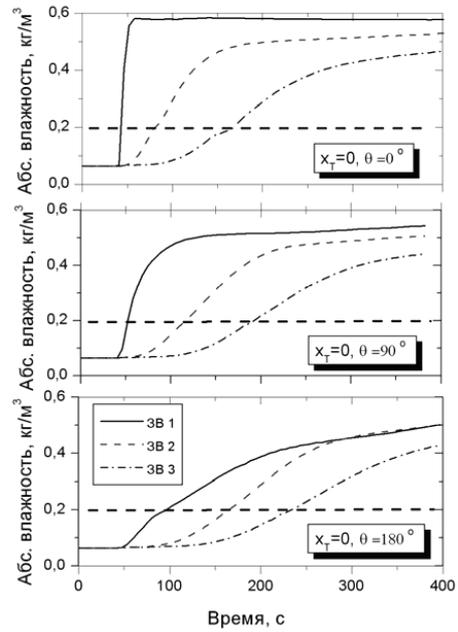


Рис. 3. Динамика абсолютной влажности воздуха в выносных зондах при течи 1.5 кг/мин в зависимости от положения течи

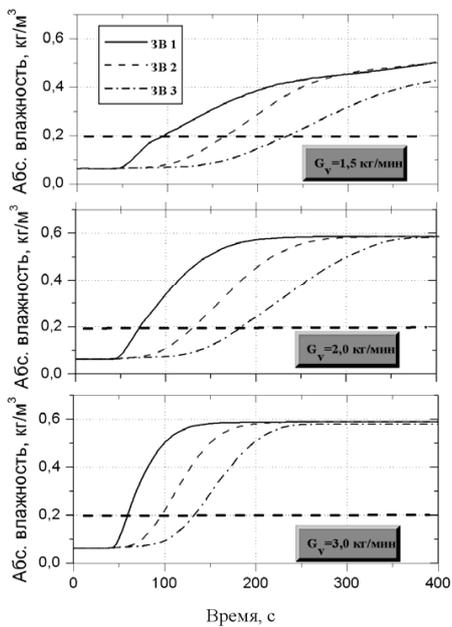


Рис. 4. Динамика абсолютной влажности воздуха в выносных зондах в зависимости от величины течи в точке  $x_T = x_1$ ;  $\vartheta = 180^\circ$

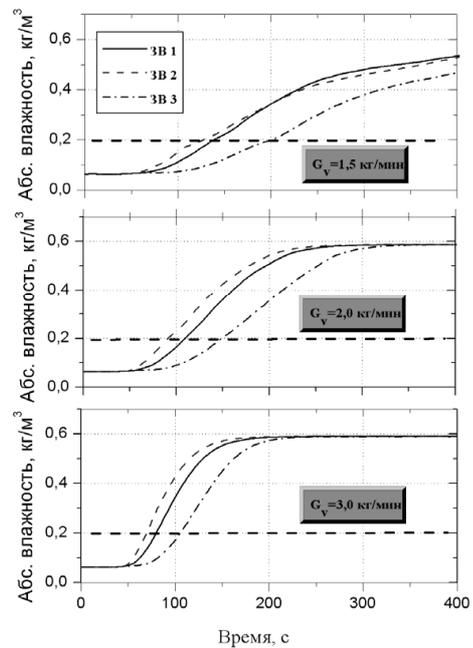


Рис. 5. Динамика абсолютной влажности воздуха в выносных зондах в зависимости от величины течи в точке  $x_T = 3,5$ ;  $\vartheta = 180^\circ$

приближении можно связать с временем прохождения парогазовым фронтом продольного участка теплоизоляции между местом течи и патрубками, т.е. со скоростью фронта. Данная величина представляет интерес с точки зрения определения размера течи. Расчеты, выполненные для различных значений (1,5–4 кг/мин), показали, что функциональная связь между этими параметрами близка к линейной.

Приведенные на рис. 2–5 данные не противоречат выбранной модели линейной связи между скоростью парогазового фронта и размером течи. Этот результат является важным с точки зрения обоснования диагностической модели расчета размера и места течи по переходным процессам, фиксируемым системой.

На основании расчетов и экспериментов можно сделать следующие выводы:

- пассивная система транспортировки воздуха к зондам влажности является эффективной;
- течь теплоносителя (от 1,5 кг/мин и более) вызывает существенные и быстрые изменения регистрируемых параметров в местах размещения зондов влажности;
- наиболее информативным диагностическим параметром является вычисляемая по измеренным относительной влажности и температуре абсолютная влажность воздуха.

Проведенные расчеты показывают, что выносные зонды, размещенные вдоль образующей трубопровода, однозначно отслеживают повышение абсолютной влажности воздуха в теплоизоляции в соответствии со временем подхода парогазового фронта. Рассчитанные кривые имеют практически одинаковый наклон в широком динамическом диапазоне изменения абсолютной влажности, что позволяет при заданном пороговом значении определить время запаздывания парогазового фронта и, как следствие, его скорость, координату и величину течи.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В обоснование основных закономерностей процессов, протекающих в теплоизоляции и в местах размещения сенсоров относительной влажности и температуры воздуха, были проведены расчеты динамики изменения параметров парогазовой смеси при течи теплоносителя в диапазоне от 1,5 до 4 кг/мин. Расчеты выполнены по разработанному в ГНЦ РФ-ФЭИ модернизированному коду «КУПОЛ-М». Проведенные расчеты показали, что течь теплоносителя сопровождается целым рядом теплофизических и аэродинамических процессов, оказывающих заметное влияние на характер распространения парогазовой смеси в теплоизоляции трубопровода. В частности, в теплоизоляции наблюдается сильный градиент температурного поля, оказывающий существенное влияние на процессы тепломассопереноса.

Факт течи фиксируется по значительному росту измеряемых температуры и относительной влажности, а также по повышению вычисленной на их основе абсолютной влажности. Наиболее информативным параметром для определения величины течи и места течи является вычисленное значение абсолютной влажности. Проведенные исследования показали, что кривые абсолютной влажности в заданном диапазоне течей имеют практически одинаковый наклон в широком диапазоне изменения абсолютной влажности, что позволяет при заданном пороговом ее значении определить время прихода парогазового фронта, т.е. его эффективную скорость, а также координату и величину течи.

**Статья подготовлена при выполнении Государственного контракта от 05.08.2011 №16.526.11.6006 в рамках федеральной целевой программы.**

### **Литература**

1. ПН АЭ Г 01-011-97 (ОПБ-88/97). «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций». 1997.
2. «Nuclear power plant diagnostics», final report. IAEA. Vienna, 1999.
3. «Руководство по применению концепции безопасности течь перед разрушением к трубопроводам АЭУ, Р-ТПР-01-99», Москва, 1999.
4. Морозов С.А., Ковтун С.Н., Дворников П.А., Бударин А.А., Кудряев А.А., Кондратович Ф.В., Полионов В.П. Система влажностного контроля течи (СКТВ) водяного теплоносителя/Препринт ФЭИ-3080. – Обнинск, 2006.
5. Морозов С.А., Ковтун С.Н., Дворников П.А., Бударин А.А., Кудряев А.А., Кондратович Ф.В., Полионов В.П. Разработка влажностной системы контроля течи трубопроводов ВВЭР//Атомная энергия. – 2007. – Т.103. – Вып. 5. – С. 291-294.
6. Морозов С.А., Ковтун С.Н., Дворников П.А., и др. Разработка системы влажностного контроля течи водяного теплоносителя//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – №2. – С. 30-35.
7. Дворников П.А., Ковтун С.Н., Бударин А.А., Шутов С.С., Шутов П.С., Кудряев А.А., Кондратович Ф.В. Средства технического диагностирования течей теплоносителя для АЭС с РУ ВВЭР-1000 Модернизация оборудования и арматуры АЭС, ТОиР, продление продолжительности эксплуатации (Варна, Болгария, 17-24 июня, 2011 г.).
8. Ефанов А.Д., Лукьянов А.А., Шаньгин Н.Н., Зайцев А.А., Юрьев Ю.С., Безлепкин В.В. Верификация контейментного кода КУПОЛ-М/Препринт ФЭИ-2628. – Обнинск, 1997.
9. Ефанов А.Д. и др. Расчеты нестационарного тепломассопереноса в защитных оболочках с использованием кода КУПОЛ-М//Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. – 1999. – 2. – 96.

Поступила в редакцию 28.06.2012

**ABSTRACTS OF THE PAPERS****УДК 621.039.51**

*Application of the Undetermined Lagrangian Coefficients Method in the Analysis on Consistency of Experiments on the Example of Systems with High Enriched Uranium from ICSBEP Handbook \ Yu. E. Golovko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 13 pages, 13 tables, 3 illustrations. – References, 12 titles.*

There are results of application of undetermined Lagrangian coefficients method in the analysis of consistency of experiments from ICSBEP Handbook in the current paper. It has been obtained biases to initial conditions of experiments (dimensions and concentrations) and to cross-sections based on the fact that criticality conditions in the real experiments have been strictly reached. Taking into account of these biases allows removing observed contradictions between calculation and experiment data which was not possible to remove using traditional Generalized list square method. Calculations have been made for experiments performed in SSC RF IPPE.

**УДК 621.039.526: 621.039.59**

*Some Macroscopic Characteristics of Fast Reactor Cores of Intermediate Capacity \ G. L. Khorasanov, A. I. Blokhin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 5 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 13 titles.*

Mean neutron energies, one-group cross sections of neutron capture by uranium-238 and fission of americium-241 for the Russian reactors BN-600, BREST-300 and RBEC-340 (RBEC-M) are calculated using MCNP5 code. For RBEC-340 these characteristics are calculated for the reactor with its standard lead-bismuth coolant as well as for this reactor cooled with Pb-208, as it was proposed by the authors of the paper.

**УДК 621.039.58**

*Nuclear Safety of Melt Localisator Device for NPP with WWER Reactor Model \ N. V. Artamonov, A. S. Sidorov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 tables, 9 illustrations. – References, 19 titles.*

Calculations of nuclear safety of melt localisator device for different types of NPP are presented. Basing on results analysis, recommendations regarding choice of sacrifice material for perspective melt localisator devices are given.

**УДК 621.039.53**

*The Technique of Ultrasonic Testing of Two-Component Metal-Reflex Reaction Setup VC-50 \ R. A. Globa, M. A. Trofimov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 4 pages, 4 illustrations. – References, 4 titles.*

In JSC «NIIAR» operated research single-circuit reactor setup made the VK-50 boiling like. Feature of the setup made the VC-50 is that the reactor vessel consists of a two-component metal (the metal core thickness of 100 mm and a cladding corrosion thickness of 20 mm). During the ultrasound control the body was found several problems: control of deposition and to identify areas of fusion, control of the base metal, bred for the welding. In the developed technique provides a solution to these problems, which has found practical application

**УДК 621.039.524.44:697.93**

*Simulation of Dynamics of Steam-Gas Front Distribution in Thermal Insulation of Power Plants Pipelines \ P. A. Dvornikov, S. N. Kovtun, A. A. Budarin, V. P. Polionov, N. N. Titarenko, N. G. Roshchin, A. L. Matveev, E. L. Matveev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica»*

*(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 9 titles.*

Dynamic processes in thermal insulation of power plants pipelines caused by depressurization are the goal of the research. Simulation of various leaks was realized by using adapted computer code «KUPOL-M» developed in SSC RF IPPE.

#### **УДК 621.039.7**

*Assessment and prognosis of radioecological impact of the radioactive wastes storage sites of the «North-West Territorial District» Leningrad branch of FGUP «RosRAO» | I.I. Kryshev, A.Y. Pahomov, S.N. Brykin, V.G. Boulgakov, T.G. Sazykina, I.A. Pahomova, I.S. Serebryakov, N.S. Roznova, A.I. Kryshev, I.Y. Gaziev, K.V. Lunyova, M.A. Dmitrieva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 7 tables, 2 illustrations. – References, 11 titles.*

Analysis of radioecological situation was performed for the territories located near the radioactive waste storage sites of the «North-West Territorial District» Leningrad branch of FGUP «RosRAO». The planned annual dose from the regular releases is estimated to be  $1,1 \cdot 10^{-4}$  mSv/year, which is two orders of magnitude lower than the level of negligible radiation risk. At present, annual doses are considerably lower than the permissible dose limits; they do not exceed 1-2% of the natural radiation background. Hypothetical scenario of radiation accident was developed; it was shown the absence of territories where obligatory measures of radiation protection of population should be applied in the case of such scenario. Outside the working areas dose rates to biota do not exceed the natural background levels.

#### **УДК 621.039.003**

*Assessment of Russia Nuclear Power Development Model Sensitivity Analysis to Possible Changes of Selected Economic Parameters | A.F. Egorov, V.V. Korobeynikov, E.V. Poplavskaya, G.A. Fesenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.*

Different variants of Russia nuclear power development scenarios are compared. The major technical and economic indicators are taken into account. In scenarios at price change for separate components of the system balance between thermal and fast reactors is changing, quantity of plutonium, quantity of demanded natural uranium, spent fuel volumes and a radioactive waste are estimated.

#### **УДК 621.039.534**

*Iron Oxide Reference Electrodes in Solid Electrolyte Sensors Designed to Control the Thermodynamic Activity of Oxygen | P.N. Martynov, R.Sh. Askhadullin, K.D. Ivanov, M.E. Chernov, V.V. Ylyanov, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, R.Yu. Cheporov, S.-A.S. Niyazov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 5 titles.*

The paper presents results on the use of iron oxide reference electrode in the oxygen activity sensors used to measure the oxygen activity in heavy liquid metal coolants. The specific features of the operation of the sensor with iron oxide reference electrode are established and comparative characteristics with respect to other applicable reference electrodes are presented. Conclusions on the reasonability of its use for measurement of oxygen activity in liquid metal media are drawn.

#### **УДК 621.039.534**

*Peculiarities of Metrological Calibration of Oxygen Activity Sensors in Liquid Metal Coolants | P.N. Martynov, R.Sh. Askhadullin, A.N. Storozhenko, M.E. Chernov, V.V. Ylyanov, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, P.V. Kuzin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 5 titles.*