

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБИННО-НЕЙТРОННЫХ РАСХОДОМЕРОВ В КОРПУСНОМ КИПЯЩЕМ РЕАКТОРЕ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ

В.П. Садулин

ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», г. Димитровград



Дано расчетно-экспериментальное обоснование возможности применения усовершенствованного турбинного расходомера (турбинно-нейтронного расходомера) для измерения расхода теплоносителя в тепловыделяющих сборках корпусного кипящего реактора ВК-50. Отличительной особенностью расходомера является съём сигнала о частоте оборотов турбинки с помощью детектора нейтронов системы внутризонного контроля энерговыделения. Срок службы расходомера в реакторе ВК-50 составляет около 8 месяцев непрерывной работы. Выполнен расчетный анализ изменения его градуировочной рабочей характеристики, полученной на стенде при нормальных условиях, при увеличении температуры воды в реакторе до 280°C. Расчетный поправочный коэффициент к частоте оборотов турбинки обратно пропорционален величине расхода воды и равен 1,006–1,01. Экспериментально показано сохранение рабочей характеристики расходомера в течение указанного срока службы в реакторе.

Одним из перспективных энергоисточников для атомных станций небольшой и средней мощности является корпусной кипящий реактор (ККР) с естественной циркуляцией теплоносителя (ЕЦТ) в активной зоне. Многие вопросы безопасности, технические решения по различным системам, расчетные методики, методы и средства контроля внутриреакторных параметров такого типа реактора в нашей стране испытывают и проверяют на прототипном кипящем реакторе ВК-50. В проектах отечественных ККР с ЕЦТ [1] может найти применение разработанный в НИИ атомных реакторов турбинно-нейтронный расходомер (ТНР) для измерения расхода теплоносителя в тепловыделяющих сборках (ТВС) этого реактора.

Необходимость разработки ТНР была вызвана следующими причинами.

Расходомеры переменного перепада давления (РППД), установленные в соответствии с проектом в водоподводящие каналы отдельных ТВС реактора ВК-50 [2], оказались мало пригодными из-за большого гидравлического сопротивления их первичных преобразователей, сравнимого с движущим напором естественной циркуляции теплоносителя. Они существенно снижают расход теплоносителя че-

рез ТВС, на входе которых установлены, и искажают его радиальное распределение по активной зоне. Их использование может иметь узко ограниченный характер относительных измерений.

Турбинные расходомеры магнитоиндукционного типа, которые начали применять в реакторе ВК-50 для измерений расхода теплоносителя через ТВС с начала семидесятых годов прошлого столетия, как и в зарубежных ККР, по своим характеристикам (высокая точность, незначительное гидравлическое сопротивление, малая инерционность, возможность автоматизации измерений) являются наиболее подходящими для измерений малых расходов естественной циркуляции [3, 4]. Они в наибольшей степени соответствуют экспериментальному характеру реактора ВК-50. Однако такие их недостатки как малый срок службы (от нескольких суток до месяца) из-за отказа магнитоиндукционного узла съема сигнала (под воздействием радиационного излучения и высокой температуры) и износа подшипниковых опор турбинки, сложность вывода сигнальных кабелей через активную зону и из реактора наружу и невозможность в этой связи оснастить ими частично выгоревшие (облученные) ТВС ограничивают их внутриреакторное применение. Поэтому потребовалось принципиальное усовершенствование турбинных расходомеров в целях увеличения их срока службы в реакторе и устранения других вышеназванных недостатков.

Известной особенностью турбинных расходомеров является влияние вязкости жидкости на их показания [4, 6, 7]. Поэтому градуировочная зависимость между расходом и частотой оборотов турбинки (рабочая характеристика) турбинного расходомера, полученная при нормальных условиях на стенде с холодной водой, должна быть уточнена для рабочих внутриреакторных условий с изменившимися параметрами воды. В имеющихся публикациях этому вопросу должного внимания не уделено, но отмечается, что до сих пор нет методики пересчета характеристик турбинных расходомеров, полученных при нормальных условиях, на требуемые [4]. Важно также знать как изменяется рабочая характеристика турбинного расходомера конкретной конструкции в процессе длительной работы в реакторе. Для решения этих проблем необходимы исследования.

ТУРБИННО-НЕЙТРОННЫЙ РАСХОДОМЕР

Турбинно-нейтронный расходомер является результатом усовершенствования ранее применяемых на реакторе ВК-50 турбинных расходомеров. При его созда-

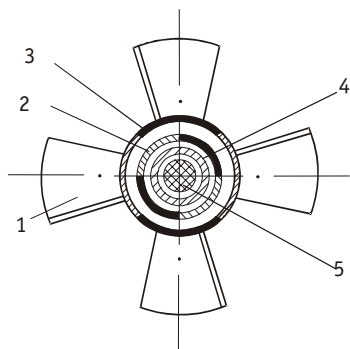


Рис. 1. Турбинно-нейтронный преобразователь: 1 – турбинка; 2, 3 – внутренний и внешний экраны; 4 – сухой канал; 5 – детектор нейтронов

нии решалась задача по построению системы регистрации частоты оборотов турбинки расходомера на основе метода модуляций нейтронного поля вращающейся турбинкой с регистрацией этих модуляций детектором нейтронов из состава системы внутризонного контроля энерговыделения. Такой метод представляется наиболее естественным для реакторных условий, чем магнитоиндукционный метод, поскольку детекторы нейтронов имеют, как правило, большой срок службы в реакторе. При таком подходе упрощается система внутризонного контроля реактора в целом.

ТНР имеет турбинно-нейтронный преобразователь (ТНП), помещенный в корпус с внутренним диаметром 110 мм. ТНП (рис. 1) состоит из четырехлопастной турбинки с крыльчаткой диаметром 55 мм

и углом наклона лопастей к оси 45° , вращающейся в подшипниках скольжения, и узла модуляций нейтронного поля. Последний состоит из двух коаксиально расположенных цилиндрических экранов, имеющих на боковой поверхности каждого из них по два диаметрально противоположных поглощающих нейтроны участка. Внешний экран закреплен на оси турбинки и вращается вместе с ней. Внутренний экран жестко прикреплен к корпусу ТНР. Во внутренний экран введена нижняя часть сухого канала с подвижным детектором нейтронов из состава системы внутризонного контроля энерговыделения.

При вращении турбинки под воздействием потока теплоносителя внутри узла модуляций создаются периодические изменения (модуляции) плотности нейтронного потока синусоидальной формы, кратные частоте оборотов турбинки, регистрируемые детектором нейтронов и измерительно-регистрирующей аппаратурой.

В качестве детекторов нейтронов в системе внутризонного контроля энерговыделения в реакторе ВК-50 применяются подвижные родиевые детекторы прямого заряда (ДПЗ), имеющие миниатюрную чувствительную часть диаметром 4 мм и длиной около 50 мм [5]. Использование родиевого ДПЗ в качестве датчика частоты оборотов турбинки возможно потому, что токовый сигнал этого детектора имеет мгновенную составляющую $\sim 10\%$, вполне достаточную по величине для реализации указанной функции. Детекторы нейтронов перемещаются вверх и вниз в сухих каналах, которые устанавливаются в центральную трубку ТВС.

Подвижные детекторы нейтронов в реакторе ВК-50 с внедрением ТНР исполняют две функции: в их нижнем положении ими регистрируют частоту оборотов турбинки ТНР и, соответственно, расход теплоносителя через ТВС, а при перемещении с постоянной скоростью снизу вверх в сухом канале распределение плотности потока нейтронов по высоте ТВС.

Поглощающие участки экранов выполняют из кадмиевой фольги (возможен другой поглотитель) и плакируют их снаружи металлической фольгой. Цапфы турбинки изготавливают из износостойчивой наплавки на ось турбинки.

Подшипники скольжения состоят из двух частей – цилиндрической втулки и подпятника со сферическим углублением, изготавливаемых соответственно по ГОСТ 8896-76 и ГОСТ 8898-78 из лейкосапфира (ГОСТ 22028-76).

Параметры крыльчатки ТНР выбраны из условий обеспечения прямолинейной зависимости между объемным расходом воды и частотой оборотов турбинки при ее нормальной работе и мало заметного влияния на расход теплоносителя при заклинивании турбинки.

Турбинка выбранной конструкции безынерционна относительно гидродинамических процессов реактора. Ее постоянная времени имеет обычные для турбинных расходомеров значения в несколько миллисекунд.

ТНР устанавливают на входе в ТВС в съемный хвостовик, который можно присоединить как к свежей, так и к облученной ТВС в период перегрузки топлива реактора. Монтаж сухих каналов и установку в них подвижных ДПЗ осуществляют после перегрузки реактора до его пуска.

Срок непрерывной работы ТНР в реакторе ВК-50 составляет около 8 месяцев (при работе реактора на номинальной мощности в течение 10 месяцев в одногодичной кампании). Срок службы ТНР является достаточным для постоянного применения этих расходомеров в системе внутриреакторного контроля реактора.

ИЗМЕНЕНИЕ РАБОЧЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБИННОГО РАСХОДОМЕРА В РЕАКТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

До установки в реактор ВК-50 турбинные расходомеры, в том числе и ТНР, градуируют на стенде с холодной водой с целью получения зависимости между объем-

ным расходом воды через расходомер и частотой вращения турбинки. При градуировке ТНР используют традиционный магнитоиндукционный метод измерения частоты оборотов турбинки, с применением постоянного миниатюрного магнита, временно внедряемого в ось турбинки, и катушки индуктивности с магнитопроводом. Результаты измерений аппроксимируют прямолинейной зависимостью:

$$Q = kn_0 + q_0, \quad (1)$$

где Q – объемный расход жидкости; n – частота оборотов турбинки; k_0 , q_0 – коэффициент пропорциональности и свободный член уравнения соответственно, определяемые методом наименьших квадратов по результатам измерений.

Как показывает анализ экспериментальных зависимостей (1) для большого числа испытанных ТНР, вклад свободного члена q_0 в величину расхода Q достаточно мал – сотые доли процента при значимых расходах теплоносителя.

В кипящем реакторе ВК-50 расходомеры работают при температуре реакторной воды 200–280°C. При увеличении температуры воды от 30°C (на стенде) до рабочей температуры в реакторе происходит уменьшение ее вязкости и плотности, а также некоторое изменение поперечного профиля потока воды в корпусе расходомера (в хвостовике ТВС).

Для определения поправок к градуировочной зависимости (1), с помощью которых может учитываться отличие параметров и профиля потока воды на стенде и в реакторе, получим выражение для рабочей характеристики турбинного расходомера, включающее в себя параметры контролируемой жидкости. В основу этого выражения независимо от конструктивной схемы турбинного расходомера может быть положена следующая система уравнений [6, 7]:

$$M_{дв} = M_{ж} + M_{п} + M_{в}; \quad (2)$$

$$M_{дв} = \frac{2\pi r_{cp}^2 \rho}{\eta} \left[\frac{f_v (Qf_{\Delta})^2}{TF} - nQf_{\Delta} \right], \quad (3)$$

$$M_{ж} = c_{ж} k_{ж} \rho (Qf_{\Delta})^2, \quad (4)$$

$$M_{п} = c_{п} k_{п} \rho (Qf_{\Delta})^2, \quad (5)$$

$$M_{в} = c_{в} k_{в} \rho (Qf_{\Delta})^2, \quad (6)$$

где $M_{дв}$ – движущий момент на крыльчатке турбинки расходомера; $M_{ж}$ – момент сил вязкого трения жидкости о поверхность лопастей крыльчатки; $M_{в}$ – момент сил трения жидкости о поверхность вращающихся элементов турбинки; $M_{п}$ – момент сил трения в подшипниковых опорах; ρ , η – плотность и кинематическая вязкость жидкости соответственно; $c_{ж}$, $c_{п}$, $c_{в}$ – коэффициенты трения на поверхности крыльчатки, в подшипниках и на поверхностях вращения соответственно; r_{cp} , T , F – средний радиус, винтовой шаг и площадь проходного сечения крыльчатки соответственно; $k_{ж}$, $k_{п}$, $k_{в}$ – размерные коэффициенты пропорциональности, учитывающие конструктивные размеры крыльчатки, трущихся поверхностей подшипниковых опор и поверхностей вращения соответственно; f_{Δ} – относительная доля потока жидкости, протекающей через проходное сечение крыльчатки; f_v – коэффициент, учитывающий неравномерность структуры потока жидкости в нормальном сечении турбинки, определяемый выражением

$$f_v = \frac{\int_F r^2 \left[\frac{V(r)}{V_{cp}} \right]^2 dF}{\int_F r^2 \left[\frac{V(r)}{V_{cp}} \right] dF},$$

где $V(r)$, V_{cp} – скорости жидкости на расстоянии r от оси турбинки и средняя скорость жидкости в пределах крыльчатки соответственно.

Параметр η определяется выражением

$$\eta = \frac{r_{cp}^2 F}{\int r^2 \left[\frac{V(r)}{V_{cp}} \right] dF}.$$

Расчетные соотношения для f_v , f_Δ , η , полученные при радиальном распределении скорости жидкости в корпусе расходомера, соответствующем степенному закону Кармана, приведены в работе [7]. Эти параметры зависят от числа Рейнольдса потока жидкости и конструктивных размеров турбинного преобразователя.

Коэффициент трения $c_{ж}$ зависит от режима течения жидкости и числа Рейнольдса потока в межлопастном пространстве крыльчатки, определяемого из выражения

$$Re = \frac{Q f_\Delta l_{cp}}{F v \times \sin \beta}, \quad (7)$$

где l_{cp} – средняя длина хорды профиля лопатки турбинки; β – угол между нормалью к оси турбинки и хордой профиля лопатки.

Начиная с небольших расходов жидкости через турбинный преобразователь, для которых $Re > 5 \cdot 10^3$, в межлопастном пространстве турбинки наблюдаются переходный и турбулентный режимы течения, при которых коэффициент трения жидкости

$$c_{ж} = c_0 - \frac{b}{Re}, \quad (8)$$

где c_0 и b – некоторые константы [6, 7].

На поверхностях вращения имеет место турбулентный режим течения жидкости, при котором коэффициент трения c_b обратно пропорционален числу Рейнольдса. С учетом этого выражение (6) для момента сил трения жидкости о поверхность вращающихся элементов турбинки преобразуется к виду [7]

$$M_b = a k_b \rho v Q f_\Delta, \quad (9)$$

где a – некоторый коэффициент пропорциональности.

Из соотношений (2)–(9) можно получить выражение для рабочей характеристики турбинного расходомера в виде

$$Q = \frac{n}{f_\Delta (\phi f_v - \eta A)} + \frac{v E \eta}{f_\Delta (\phi f_v - \eta A)}, \quad (10)$$

$$\text{где } \phi = \frac{1}{TF}; \quad A = \frac{c_0 k_{ж} + c_n k_n}{2\pi r_{cp}^2}; \quad E = \frac{1}{2\pi r_{cp}^2} \left(a k_b - \frac{b F k_{ж} \times \sin \beta}{l_{cp}} \right).$$

При f_v , f_Δ , η , определяемых для расхода Q и вязкости жидкости v_0 , при которой градуируют расходомер на стенде, уравнения (9) и (1) должны быть тождественны. Используя это тождество, можно переопределить коэффициенты A и E , которые не зависят от параметров жидкости. В результате несложных преобразований уравнение рабочей характеристики турбинного расходомера при вязкости жидкости принимает следующий вид:

$$Q = k_0 k_1 n + k_1 k_2 q_0, \quad (11)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{f_\Delta(v_0, Q)}{f_\Delta(v, Q)} \times \frac{1}{k_0 f_\Delta(v_0, Q) \phi \left[f_v(v, Q) - f_v(v_0, Q) \times \frac{\eta(v, Q)}{\eta(v_0, Q)} \right] + \frac{\eta(v, Q)}{\eta(v_0, Q)}},$$

$k_2 = \frac{\nu}{\nu_0} \times \frac{\eta(\nu, Q)}{\eta(\nu_0, Q)}$, ν_0 – вязкость воды в градуировочном стенде при нормальных условиях.

Момент трения в подшипниковых опорах турбинки при переходном и турбулентном режимах течения жидкости и прямолинейной рабочей характеристике расходомера достаточно мал по сравнению с движущим моментом и моментом жидкостного трения о поверхность лопаток крыльчатки, за счет которого вращается турбинка [7]. Поэтому возможное изменение момента трения в подшипниках при переходе от нормальных условий градуировочного стенда к рабочим реакторным условиям в зависимости (10) не учтено (допущение).

Поправочные коэффициенты k_1 и k_2 к градуировочной зависимости (1) зависят от вязкости и расхода жидкости. На рис. 2 показана расчетная зависимость коэффициента k_1 от расхода воды с температурой 280°C для ТНР реактора ВК-50. При этом расчетные соотношения для f_V , f_Δ , η взяты из работы [7]. Полученная зависимость может быть распространена на весь практически важный для кипящего реактора ВК-50 диапазон температур теплоносителя 200–280°C, в котором проводятся различные эксперименты. Основное изменение вязкости воды происходит при ее нагреве до 200°C (от 0,8 до 0,15 сСт). При дальнейшем ее нагреве до 280°C вязкость уменьшается незначительно – примерно на 3% от исходного значения.

Как показали расчеты, отношение, входящее в выражение для коэффициента k_2 , слабо зависит от вязкости и расхода воды и близко к единице. Следовательно, $k_2 \approx \nu/\nu_0$. Учитывая, что значение q_0 достаточно мало, свободным членом выражения (10), представляющим собой произведение $k_1 \times k_2 \times q_0$, можно пренебречь.

В итоге рабочая характеристика турбинного расходомера, в том числе ТНР, при изменившихся параметрах воды принимает вид

$$Q = k_0 k_1 n. \quad (12)$$

Таким образом, градуировочная рабочая характеристика турбинного расходомера, полученная на стенде с холодной водой в соответствии с зависимостью (1), при увеличении температуры воды до 200–280°C в реакторных условиях изменяется незначительно. Поправочный коэффициент k_1 к частоте оборотов турбинки

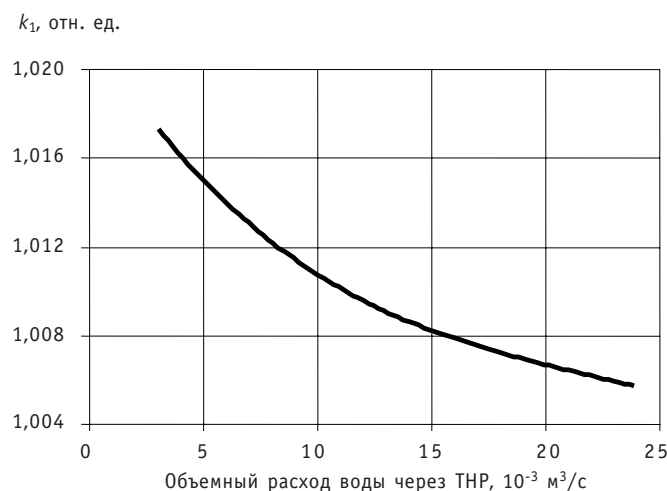


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента k_1 от объемного расхода воды через ТНР при температуре 200–280°C

при значимых расходах воды обратно пропорционален величине расхода воды и находится в диапазоне 1,006–1,01 (см. рис. 2).

Достоверность приведенного на рис. 2 расчетного относительного изменения рабочей характеристики ТНР косвенно подтверждается примерно такими же по величине экспериментальными результатами, полученными другими исследователями для турбинных расходомеров в таком же диапазоне изменения вязкости жидкости 1–0,1 сСт [7].

Предельная погрешность измерения расхода теплоносителя с помощью ТНР в рабочих условиях реактора ВК-50 в соответствии с зависимостью (12) оценивается значением $\pm 1\%$.

В процессе эксплуатации турбинного расходомера может происходить изменение его рабочей характеристики вследствие износа трущихся деталей подшипников. Насколько существенным будет такое изменение рабочей характеристики во многом определяется износостойкостью трущихся деталей и конструкцией подшипниковых опор и проточной части расходомера. От конструкции проточной части зависит соотношение между движущим моментом на турбинке и моментом сопротивления в подшипниковых опорах. При большом значении отношения этих моментов, которое характерно для расходомера с прямолинейной рабочей характеристикой в переходном и турбулентном режимах течения жидкости, некоторый износ трущихся деталей подшипников может незначительно сказываться на рабочей характеристике в течение длительного времени или вообще не влиять на нее.

Повторную градуировку турбинно-нейтронного расходомера после некоторой его эксплуатации в реакторе провести на стенде невозможно из-за высокой наведенной радиоактивности. Поэтому для определения степени изменения статических рабочих характеристик ТНР в течение их эксплуатации в одной из кампаний реактора ВК-50 был выполнен специальный эксперимент. При мощности реактора, близкой к номинальной, в процессе кампании отслеживалось относительное изменение расхода теплоносителя через ТВС по показаниям ТНР и расходомеров переменного перепада давления с трубками Клевье (абсолютные значения данных ТНР и РПД заметно различаются). На рис. 3 показано изменение в течение

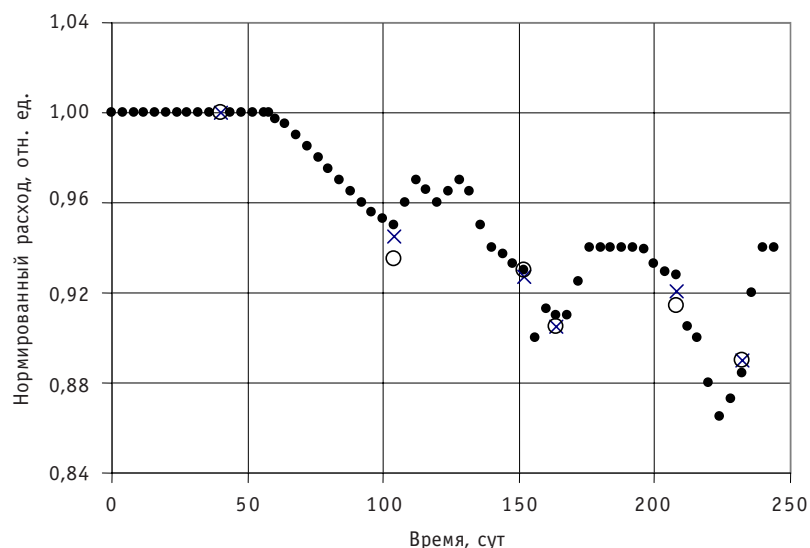


Рис. 3. Изменение нормированного расхода теплоносителя в процессе кампании реактора ВК-50 в двух идентичных ТВС: 1) ●, × — экспериментальные значения, полученные с помощью ТНР и РПД соответственно; 2) ○ — экспериментальные значения, полученные с помощью РПД

240 суток нормированного (на начальное значение) расхода теплоносителя в двух ТВС с РППД на входе, одинаковых по характеристикам и симметрично расположенных в одном из центральных рядов активной зоны. После 60 суток от начала кампании на реакторе проводились также другие эксперименты, повлекшие некоторые изменения расхода теплоносителя в активной зоне, зарегистрированные всеми внутриреакторными расходомерами, как ТНР, так и РППД.

В ТВС 1 расход измеряли ТНР и РППД, в ТВС 2 – только РППД. Результаты относительных измерений расходомерами разного типа для одного момента времени практически совпадают на протяжении всех 240 суток. Такие же результаты получены и по другим ТВС, оснащенным ТНР и имеющим РППД в водоподводящем канале.

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод о том, что рабочие характеристики ТНР сохраняются в течение всего срока их службы в условиях корпусного кипящего реактора.

В работе ТНР не наблюдается постепенного отказа. Остановка турбины ТНР происходит практически мгновенно (возможно из-за растрескивания сапфировых подшипников по радиационному фактору).

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований рабочих характеристик ТНР установлено, что эти расходомеры малочувствительны к изменению температуры воды в реакторе и стабильны в работе в течение их срока службы, составляющего около 8 месяцев непрерывной работы. Это позволяет применять ТНР регулярно для сопровождения текущей эксплуатации реактора ВК-50 и проводить с их использованием эксперименты и исследования в обоснование перспективных реакторов такого же типа.

ТНР могут быть рекомендованы для включения в состав систем внутриреакторного контроля расхода теплоносителя проектируемых ККР с ЕЦТ.

Применение ТНР представляется вполне возможным также в действующих ВВЭР.

Литература

1. Кузнецов Ю.Н., Роменков А.А., Глазков О.М. и др. Технический проект реакторной установки ВК-300 повышенной безопасности/Годовой отчет ГУП НИКИЭТ. – М., 2001. – С. 25-28.
2. Сарыгин А.П., Соколов И.Н., Кондратьев В.И. и др. Некоторые вопросы гидродинамики кипящего корпусного реактора//Атомная энергия. – 1971. – Т. 30. – Вып. 4. – С. 350-353.
3. Боланд Дж. Приборы контроля ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1973. – С. 99-102.
4. Лысков Б.В., Прозоров В.К. Термометрия и расходомерия ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 29-31.
5. Лещенко Ю.И., Садулин В.П., Семидоцкий И.И. Система контроля энерговыделения в активной зоне кипящего реактора//Атомная энергия. – 1987. – Т. 63. – Вып. 6. – С. 410-412.
6. Бошняк Л.Л., Бызов Л.Н. Тахометрические расходомеры. – Л.: Машиностроение, 1968.
7. Бобровников Г.Н., Камышев Л.А. Теория и расчет турбинных расходомеров. – М.: Изд-во стандартов, 1978.

Поступила в редакцию 17.10.2008

related to reduced sets of common attributes associated with design, location and operation modes of redundant components of safety systems is proposed.

УДК 621.039.5

Automated Breakage Monitoring System of Metal and Binding Steel-Zirconium Fuel Channels RBMK-1000 Nuclear Reactor \A.I. Trofimov, S.I. Minin, M.G. Kalenishin, A.V. Nakhobov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 1 title.

Automated breakage monitoring system of metal and binding steel-zirconium fuel channels RBMK-1000 nuclear reactor presented uses ultrasonic cylindrical phased array. Working equation allowing to managing cylindrical phased array, monitoring algorithm, and software structure are presented.

УДК (504.3+504.4):623.8

A Comprehensive Radiological and Environmental Investigation of Territories and Water Areas near Nuclear Submarine Operation Bases and Dismantling Sites \C.M. Vakulovsky, M.V. Propisnova, V.M. Kim, A.I. Nikitin, I.Y. Katrich, V.B. Chumichev, A.A. Volokitin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 6 pages, 5 tables. – References, 8 titles.

The paper presents information on the system of radiation monitoring in Arkhangelsk, Murmansk, Kamchatka regions and Primorye Territory, where the atomic submarine bases and the sites for their utilization are located. Given also are the generalized results of regular observations of the radiation situation (bulk activity of radioactive substances in the atmospheric boundary layer, their fallout on the underlying surface, tritium contents in precipitation, total activity of ^{90}Sr in the seas, the gamma radiation exposure dose) in the regions for 2003–2007 in comparison with the data given for the Russian Federation. Besides, given are the data of a radionuclide analysis of the aquatic environment samples (water, bottom sediments, flora and fauna) taken at the Russian station of coastal monitoring (near the settlement of Teriberka) along with the results of annual observations of radionuclide contents in bottom sediments in the water area close to the FSUE PA «Sevmash» in Severodvinsk.

УДК 621.039.564

Justification of Turbine-Neutron Flow Gages usage in a Vessel-Type Boiling Reactor with Natural Coolant Circulation in the Core \V.P. Sadulin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

The paper presents the calculated and experimental justification of an advanced turbine-neutron flow gage to be used to measure coolant flow rate in fuel assemblies of vessel-type boiling reactor VK-50. A distinctive feature of this flow gage is that a turbine rotation frequency signal is read by a neutron detector of the in-pile heat rate control system. The lifetime of the gage is about 8 months of uninterrupted operation. Calculations of a change of its calibration performance were done at a testing facility under nominal conditions, the temperature of reactor water being raised up to 280°C. A design correction factor for the turbine rotation frequency makes up 1.006–1.01 being in inverse proportion to the water flow rate. The experiment shows that the gage performance remains the same during the above-said period of operation in the reactor.

УДК 621.039.51

Modified Internuclear Cascade-Evaporated Model for Calculation of Interactions between Particles and Nucleus in Intermediate and High Energy Ranges with Matter \A.Yu. Stankovskiy, A. Yu. Konobeev, I. S. Kuptsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 11 pages, 3 illustrations. – References, 33 titles.

The improved intranuclear cascade and evaporation model is discussed. The fast intranuclear cascade stage follows by the de-excitation, which is described using the Hauser-Feshbach statistical model. The model proposed has been validated on radionuclide yields in proton-induced reactions at energies 0.8–1.2 GeV. The results show the advantages of using this approach instead of usual intranuclear cascade and evaporation algorithms.