

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА АЭС

А.В. Некрасов, К.Н. Проскуряков

*ГОУВПО Московский энергетический институт (технический университет),
г. Москва*



Разработаны алгоритмы и программный продукт для расчета собственных частот колебаний давления теплоносителя в оборудовании первого контура АЭС с ВВЭР-1000, добротности контура теплоносителя, полосы пропускания частот колебаний и коэффициентов затуханий. Приведены результаты расчетов при наличии и при отсутствии в теплоносителе продуктов радиолитического распада в газообразном состоянии. Анализ результатов позволяет выявить условия, приводящие к повышенным вибрациям, а также выработать управляющие воздействия в системе АСУ ТП блока для их предотвращения.

Одной из наиболее частых, но недостаточно исследованных причин повреждения оборудования в системах теплоотвода от ядерных реакторов являются высокочастотные виброн нагружения, возрастающие при резонансном взаимодействии теплоносителя и оборудования [1,2]. Для отстройки от резонансов необходимо располагать вибрационными акустическими паспортами (ВАП) оборудования и циркулирующего теплоносителя. Однако в настоящее время таких паспортов нет. Ввиду этого разработка методического обеспечения для построения акустического паспорта теплоносителя (АПТ) как в отдельных компонентах оборудования, так и в системе первого контура в целом является актуальной задачей.

В атомной энергетике задача виброакустической паспортизации режимов нормальной эксплуатации РУ сформулирована в [1]. Необходимость проведения такого рода паспортизации обусловлена опытом эксплуатации энергоблоков АЭС. Практика подтверждает наличие в теплогидравлических контурах АЭС недостаточно изученных взаимосвязей физических явлений и процессов, наличие которых не предусмотрено в проектной документации. Однако эти взаимосвязи вызывают рост вибраций и оказывают как прямое, так и опосредованное влияние на работоспособность основного оборудования главного циркуляционного контура (ГЦК). Известны многочисленные повреждения сварных швов, элементов крепежа и дистанционирования, тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и ТВС, приводящие к уменьшению коэффициента использования установленной мощности АЭС. По современным оценкам ущерб от суточного простоя энергоблока с электрической мощностью 1000 МВт достигает нескольких сотен тысяч евро.

Проблема выявления и устранения причин возрастания уровня вибраций является актуальной для всех стран, имеющих АЭС [2], т.к. от ее решения зависят

увеличение кампании топлива, совершенствование топливного цикла и, как следствие, сокращение объемов радиоактивных отходов, подлежащих переработке и захоронению.

Выявление и устранение на ранней стадии причин аномальных вибраций основного оборудования дает большой экономический эффект, т.к. приводит к сокращению объемов ремонтных работ и недовыработки энергии.

Одной из главных задач в рамках решения этой проблемы является выявление и предотвращение условий эксплуатации, приводящих к резонансному взаимодействию акустических колебаний теплоносителя и вибраций оборудования [1]. Наиболее остро эти задачи возникают при разработке новых модификаций тепловыделяющих элементов – твэлов и тепловыделяющих сборок (ТВС). Опыт эксплуатации реакторов ВВЭР и PWR показывает, что ряд внутрикорпусных устройств (ВКУ) подвержен значительным вибрациям, в частности об этом свидетельствуют повреждения кронштейнов – виброгасителей корзины активной зоны. В свою очередь, вибрации корзины активной зоны могут стать причиной повреждения ТВС. Опыт эксплуатации АЭС [1, 2] подтверждает возможность возникновения резонансов между вибрациями и вынужденными или самовозбуждающимися колебаниями давления теплоносителя. Однако в настоящее время процессы взаимодействия вибраций оборудования и колебаний теплоносителя на АЭС исследованы недостаточно. Ниже приведены некоторые результаты измерения и анализа шумовых сигналов, проведенных на первом блоке Волгодонской АЭС (ВоАЭС) [3, 4]. Методы и средства измерения сигналов от датчиков пульсаций давления (ДПД), вибраций (ДВ), перемещений (ДП) и динамических напряжений (ДДН) и результаты измерений в основных узлах оборудования приведены в работе [4]. Автоспектральные плотности мощности (АСПМ) сигналов от одного и того же ДПД, установленного на выходе из реактора, представлены на рис. 1–3. В результате анализа выявлены некоторые закономерности формирования АСПМ измеряемых сигналов. При сопоставлении результатов обнаруживается аномальный рост интенсивности пульсаций давления на частотах 2,7; 5,4 и 22,5 Гц, представленный на рис. 2, по сравнению с их значениями, приведенными на рис. 1 и 3.

Главное отличие в эксплуатационных режимах, при которых получены эти результаты, состоит в различном уровне мощности реактора. Наименьшей мощности реактора соответствует режим № 1, промежуточному значению мощности – режим № 2, а максимальному значению мощности – режим № 3. Аномальный рост интенсивности пульсаций давления в режиме № 2 на частотах 2,7, 5,4 и 22,5 Гц обнаружен случайно и первопричина его не была идентифицирована. Из рис. 2 видно, что наибольшая интенсивность пульсации давления теплоносителя в АСПМ наблюдается при частотах 2,7, 5,4 и 22,5 Гц. Поскольку ни одна из этих частот не является кратной или комбинационной частотой пульсаций давления теплоносителя, обусловленным вращением главных циркуляционных насосов (ГЦН), можно предположить, что колебания давления на этих частотах создаются внутренними источниками возмущений. В [2] указано, что собственная частота колебаний шахты активной зоны равна 22,2 Гц, а одна из собственных частот колебаний ТВС примерно равна 5,4 Гц. Эти данные позволяют предположить, что причиной возникновения колебаний теплоносителя на частоте 5,4 Гц являются вибрации ТВС, а на частоте 22,5 Гц – вибрации шахты активной зоны. То, что наибольшая интенсивность колебания давления на указанных частотах наблюдается только в одном из пусковых режимов, свидетельствует о том, что увеличение интенсивности колебаний теплоносителя на этих частотах связано с их резонансным взаимодействием с вибрациями ТВС и корзины активной зоны. Обоснования генерации колеба-

ний давлений теплоносителя в активной зоне и их зависимости от уровня мощности реактора приводятся в работе [1]. Зависимость от уровня мощности перечисленных выше доминирующих частот видна из сопоставления АСПМ сигналов пульсаций давления, представленных на рис. 1–3.

Расчетные оценки собственной частоты колебаний давления теплоносителя (СЧКДТ) в активной зоне реактора ВВЭР-1000 получены с учетом наличия газообразных продуктов радиолиза и равны в режиме № 1 3,6 Гц, в режиме № 2 5,2 Гц, в режиме № 3 6,3 Гц. Из рис. 1 и 3 видно исчезновение доминирующего пика АСПМ на частоте 5,4 Гц и появление новых на частотах, близких к расчетным значениям, приведенным выше. Эти изменения в АСПМ нами трактуются как выход СЧКДТ (с частотами 3,6 и 6,3 Гц) из области резонансного взаимодействия с вибрациями ТВС, частота которых равна 5,4 Гц. Или, иначе говоря, как выход СЧКДТ за пределы так называемой полосы пропускания частот (ППЧ). Половина ППЧ расположена симметрично по обе стороны от первой моды частот собственных колебаний ТВС, равной 5,4 Гц.

Анализ показывает, что увеличение интенсивности гидродинамических нагрузок на частотах 2,7; 5,4 и 22,5 Гц приводит к повышению уровня вибраций внутрикорпусных устройств

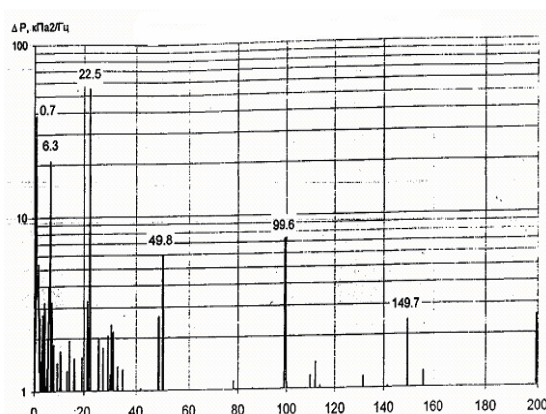


Рис. 1. АСПМ пульсаций давления теплоносителя при давлении $P = 16$ МПа, температуре на выходе из реактора $T_{\text{вых}} = 301^\circ\text{C}$ и входе в реактор $T_{\text{вх}} = 284^\circ\text{C}$ (режим № 1)

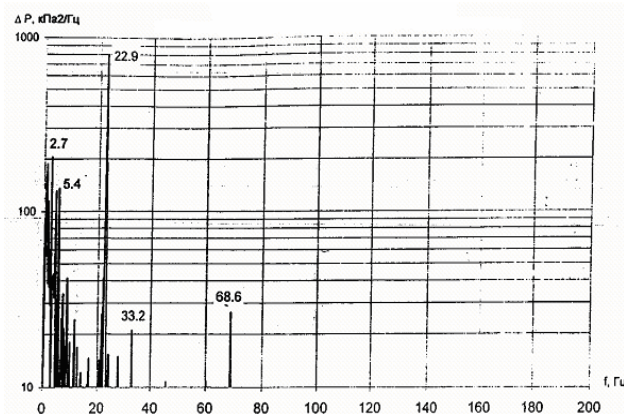


Рис. 2. АСПМ пульсаций давления теплоносителя при давлении $P = 16$ МПа, температуре на выходе из реактора $T_{\text{вых}} = 314^\circ\text{C}$ и входе в реактор $T_{\text{вх}} = 285^\circ\text{C}$ (режим № 2)

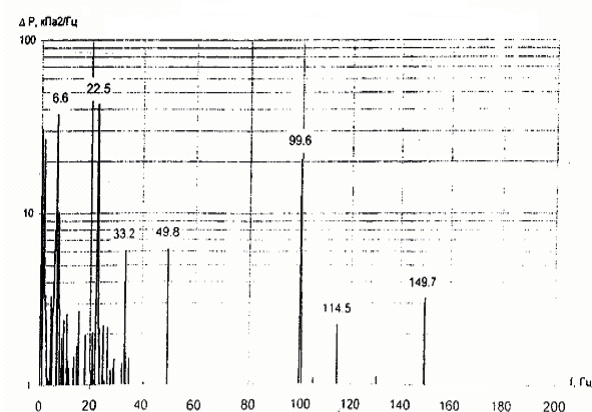


Рис. 3. АСПМ пульсаций давления теплоносителя при давлении $P = 16$ МПа, температуре на выходе из реактора $T_{\text{вых}} = 318^\circ\text{C}$ и входе в реактор $T_{\text{вх}} = 287^\circ\text{C}$ (режим № 3)

(ВКУ) реактора. Исключение этого режима из карты разрешенных режимов будет способствовать продлению срока службы указанного оборудования. Для подтверждения этой гипотезы нами проведено исследование зависимости ширины полосы пропускания (ШПП) от режима эксплуатации реакторной установки. С этой целью разработана акустическая модель теплоносителя в активной зоне с учетом наличия газовой фазы, образовавшейся в процессе радиолиза [1]. Оценки ШПП возможны лишь при известных значениях показателя добротности колебательной системы. Этот показатель, известный как Q -фактор, используется при анализе колебаний механизмов и конструкций и в электротехнике. Для акустических контуров, образованных теплоносителем ядерных реакторов, этот параметр впервые был введен в работе [5]. Акустическая схема теплоносителя в активной зоне реактора представлена на рис. 4.

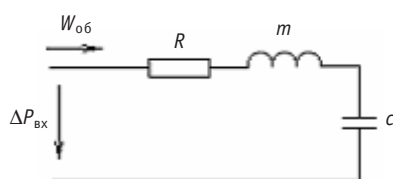


Рис. 4. Акустическая схема теплоносителя в активной зоне реактора

Использованы обозначения, принятые при рассмотрении акустических процессов в теплоносителе: R – акустическое сопротивление, m – акустическая масса, c – акустическая емкость (акустическая податливость), $W_{об}$ – объемная скорость теплоносителя в активной зоне, ΔP – перепад давления в активной зоне реактора. Благодаря единству уравнений, описывающих колебательные процессы в гидравлических, акустических и электрических системах [6–9], справедлива система аналогий, приведенная в табл. 1.

Гидравлические системы АЭС представляют собой цепь сочлененных между собой элементов различной сложности, которые в целом образуют звуковод. Наиболее простыми в таких системах являются трубные устройства. Поскольку они

Таблица 1

Эквивалентные параметры

Акустическая система			Электрическая система		
Параметр	Обозначение	Единица измерения	Параметр	Обозначение	Единица измерения
Перепад давления	p	Н/м ²	Напряжение	u	Вольт
Объемный расход	W	м ³ /с	Ток	i	Ампер
Акустическая податливость	C	м ³ с ² /кг	Емкость	C	Фарада
Акустическая масса	m	кг/м ⁴	Индуктивность	L	Генри
Активное сопротивление	R_a	кг/с м ⁴	Активное сопротивление	R	Ом
Дифференциальное сопротивление	R_d	кг/с м ⁴	Дифференциальное сопротивление	R_d	Ом

выполняются с различными элементами расширения, камерами, отводными каналами, дросселями и т.д., общая теория распространения звука в этих устройствах сложна. Однако, если неоднородности звукопровода меньше длины волны, их можно рассматривать как акустические элементы с сосредоточенными параметрами, а весь звукопровод – состоящим из отрезков волноводов, имеющих участки с сосредоточенными параметрами.

В современной акустике широко используются методы решения задач, применяемые в электротехнике, поскольку многие задачи описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями. Такое заимствование методов, разработанных для электрических моделей, сопряжено с меньшими трудностями, чем создание акустических, кроме того измерения в них более точны и удобны. Помимо этого бурное развитие электро- и радиотехники привело к более полному исследованию процессов в электрических системах [10], что позволяет предвидеть характер системных эффектов в колебательных системах и избежать чрезмерного упрощения моделей.

Как любой конструктивный элемент, обладающий массой и упругостью, теплоноситель в контуре имеет собственные частоты, которые могут резонировать с источниками гидродинамических возмущений при совпадении частот или проявляться как менее выраженные линии в спектре, если резонансная (собственная) частота теплоносителя отличается от частот источников гидродинамических возмущений. Таким образом, уменьшение пульсации давления и скорости теплоносителя является одним из необходимых условий предотвращения или уменьшения вибраций. Предупреждение появления резонансных условий обычно достигается соответствующим размещением технологического оборудования и трубопроводов типа опор и креплений, а также ограничениями в теплогидравлических режимах эксплуатации. Рациональный выбор и размещение технологического оборудования, определение режимных условий, в которых не произойдет самовозбуждения пульсации теплоносителя, позволяющая предупредить опасные вибрации и уменьшить расход потребляемой энергии на прокачку теплоносителя за счет снижения волновых потерь в циркуляционной системе.

Составление эталонных карт спектров шумов требует большой затраты времени и весьма трудоемко. При этом необходимо создавать в обследуемом контуре не только режимы, отличные от номинальных, но и имитировать аварийные ситуации. Недостаток этих предварительных исследований заключается в том, что они пригодны лишь для конкретной системы и отражают присущее только этой системе геометрическое своеобразие и компоновку оборудования. Поэтому весьма привлекательным является разработка теоретических методов расчета характерных линий в спектре шумов и автоматизированных программных средств, которые позволили бы составить эталонные карты для широкого круга однотипных систем с различными геометрическими и режимными параметрами. Такими характерными линиями спектра являются частоты собственных колебаний теплоносителя [1, 2] как всего контура в целом, так и собственные частоты колебаний теплоносителя в основных составляющих контур элементах, таких как реактор, парогенератор, компенсатор давления и соединяющие эти объекты трубопроводы.

Для расчета собственных частот колебаний среды в акустических элементах контура достаточно использовать упрощенные модели отдельных частей и контура в целом в виде эквивалентных электрических цепей. Принципы перехода от акустических систем к эквивалентным электрическим моделям известны [8–11].

На рис. 5 представлены схемы замещения отдельных элементов, составляющих первый контур двухконтурной АЭС.

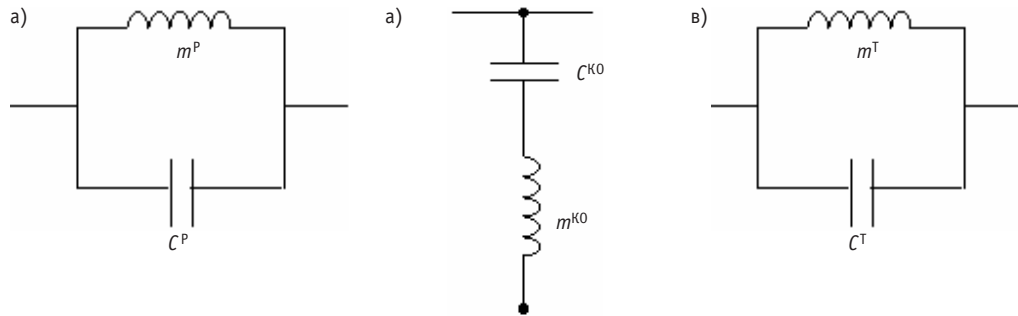


Рис. 5. Схемы замещения: а) реактора; б) компенсатора давления; в) трубопровода

В случае резонансных колебаний среды, резонансная частота равна [3]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{m \cdot c}}. \quad (1)$$

Для трубы длиной ℓ с внутренним диаметром d , заполненной средой, имеющей плотность ρ , можно записать

$$m = \frac{4 \cdot \rho \cdot \ell}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

$$c = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \ell}{4 \cdot \rho \cdot a^2}, \quad (3)$$

где m – акустическая масса; c – акустическая податливость; a – скорость распространения малых колебаний (скорость звука)

Соотношения (1)–(3) были использованы для расчета частоты собственных колебаний давления в парогенераторе ПГВ-1000. Сопоставление расчетных значений с данными измерений показало удовлетворительную (для проведения идентификации режимов) сходимость результатов.

Упрощенная акустическая модель одной петли первого контура представлена на рис. 6

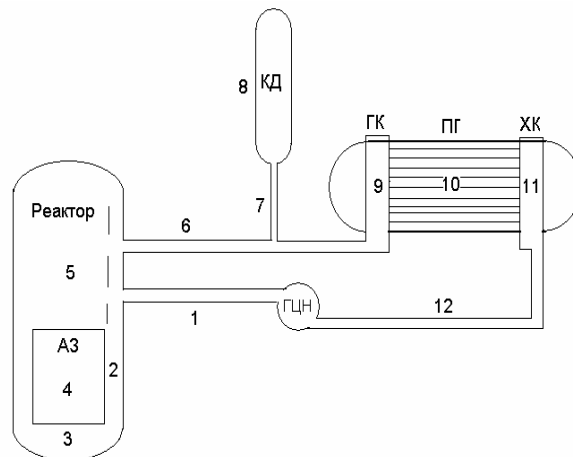


Рис. 6. Однопетлевая акустическая схема реактора ВВЭР-1000: 1 – «холодная нитка» (от ГЦН до входного патрубка реактора); 2 – опускной участок; 3 – пространство под активной зоной; 4 – активная зона; 5 – пространство над активной зоной; 6 – «горячая нитка» (от выходного патрубка реактора до входа в горячий коллектор ПГ); 7 – дыхательный трубопровод; 8 – компенсатор давления; 9 – горячий коллектор ПГ; 10 – трубчатка ПГ; 11 – холодный коллектор ПГ; 12 – «холодная нитка» (от выхода из холодного коллектора ПГ до ГЦН)

Расчет добротности колебательного контура теплоносителя Q производится по следующей формуле [11]:

$$Q = \frac{\sqrt{\frac{m}{c}}}{\frac{\Delta P}{W_{06}}} = \frac{\rho \cdot a \cdot W_{06}}{S \cdot \Delta P}, \quad (4)$$

где ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; a – скорость звука в потоке теплоносителя, м/с; W_{06} – объемная скорость теплоносителя, м³/с; S – площадь поперечного сечения участка, м²; ΔP – гидравлическое сопротивление, Па.

Расчет ППЧ производится по формуле [12]

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{1}{Q}. \quad (5)$$

При работе реактора под воздействием нейтронного потока происходит радиолиз воды, в результате которого в ней образуются газовые компоненты (составляющие). Известно, что в активной зоне реактора ВВЭР возникают газообразные продукты радиолиза, количество которых зависит от уровня мощности. Однако содержание этих продуктов не определяется существующими методами контроля и, следовательно, их влияние на фактическое изменение скорости звука по сравнению со скоростью звука в воде при отсутствии газовых примесей оценить не удастся.

Акустическая масса двухфазной среды рассчитывается по формуле [12]

$$m_{\text{дф}} = \frac{4 \cdot \rho'' \cdot l}{\left[x + (1-x) \cdot \frac{\rho''}{\rho'} \right] \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (6)$$

где x – массовое газосодержание; ρ' и ρ'' – плотность воды и плотность газа соответственно.

Акустическую податливость объема однородной среды $C_{0\text{ф}}$ в круглой трубе длиной l и диаметром d определяют, используя формулу [13]

$$C_{0\text{ф}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot \rho \cdot a^2}, \quad (7)$$

и соответственно для двухфазной гомогенной среды

$$C_{0\text{ф}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{l}{\rho_{\text{см}} \cdot a_{\text{дф}}^2}. \quad (8)$$

Величина скорости звука в теплоносителе активной зоны в зависимости от массового паросодержания или газосодержания рассчитывалась согласно [11] и приведена на рис. 7.

Результаты расчетов СЧКДТ, Q и ППЧ в режимах холодной обкатки (при давлении $P = 15,7$ МПа и температуре теплоносителя $T = 270^\circ\text{C}$) при нулевой мощности и на уровне примерно 85% номинальной мощности (режим № 2) приведены в табл. 2.

Из данных таблицы видно влияние газообразных продуктов радиолиза на спектр собственных частот колебаний давления теплоносителя, а также следует, что величина ПП для СЧКДТ в активной зоне зависит от режима работы АЭС.

В режиме работы на уровне приблизительно 85% мощности ПП величина СЧКДТ равна 5,2 Гц, а ПП 1,7 Гц. Половины ПП располагаются симметрично по обе стороны от частоты резонанса.

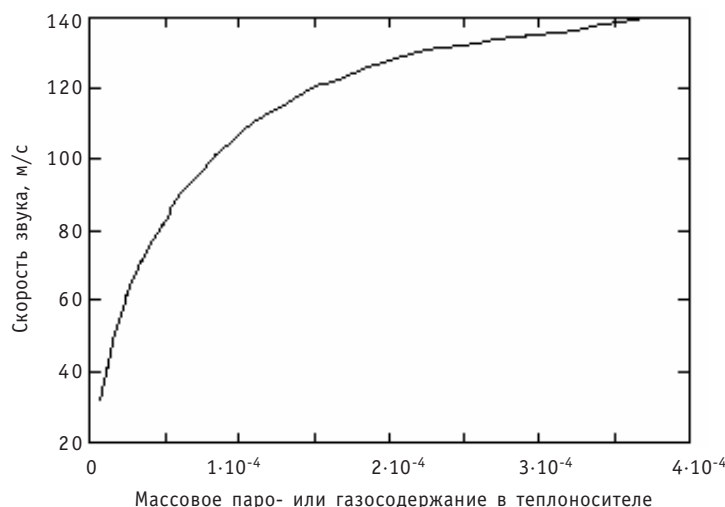


Рис. 7. Скорость распространения волн давления (скорость звука) в активной зоне реактора ВВЭР-1000 при наличии газовой (паровой) компоненты в теплоносителе

Левая и правая половины ПП равны $1,7/2 = 0,85$ Гц. Таким образом, нижняя граница ПП, соответствующая частоте ω_1 , равна линейной частоте $f_1 = (5,4 - 0,85) = 4,5$ Гц, а верхняя граница ПП равна линейной частоте $f_2 = (5,4 + 0,85) = 6,2$ Гц. Следовательно, СЧКДТ, равные 3,6 и 6,3 Гц, находятся вне ПП.

Результаты расчета коэффициента затухания α в первом контуре АЭС ВВЭР-1000:

- при наличии газовой фазы продуктов радиолиза в участках 4 и 5 (активная зона и пространство над активной зоной) $\alpha = 0,252$;
- при отсутствии газовой фазы в участках 4 и 5 $\alpha = 0,066$.

Эти данные указывают на существенное уменьшение амплитуды колебаний давления от внешних импульсных воздействий по давлению при возникновении газообразных продуктов в теплоносителе. С другой стороны, как уже отмечено ранее, присутствие газообразных продуктов в теплоносителе существенно сдвигает значения СЧКДТ в область более низких частот, что может вызвать увеличение вибраций ТВС при попадании в зону ПП.

Для предотвращения работы на уровне мощности, при котором возникают повышенные пульсации давления теплоносителя и вибрации ВКУ, можно использовать системы контроля для нормальной эксплуатации, которые включают в себя систему автоматизированного управления технологическими процессами блока (АСУ ТП), включая защиты и блокировки.

Таблица 2

Результаты расчетов СЧКДТ в активной зоне, Q и ППЧ в режимах холодной обкатки при нулевой мощности и на уровне примерно 85% номинальной мощности (режим № 2)

Режим работы	Скорость звука a , м/с	СЧКДТ, Гц	Добротность Q	Полоса пропускания, Гц
Режим N 2 (85% номинальной мощности)	120	5,2	3	1,7
Холодная обкатка	1120	50,6	34,2	1,5

В состав системы входят следующие основные регуляторы:

- АРМ – автоматический регулятор мощности;
- РОМ-2М – регулятор ограничения мощности;
- регулятор давления первого контура;
- регулятор уровня в КД;
- регулятор уровня в ПГ.

Автоматический регулятор мощности АРМ-5С включает в себя

- регулятор поддержания теплогидравлических параметров;
- регулятор поддержания нейтронной мощности.

АРМ-5С имеет два режима работы:

- режим Т – контроль мощности осуществляется при поддержании постоянного давления во втором контуре в диапазоне 10 – 110% номинальной мощности реактора;
- режим Н поддерживает постоянным нейтронный поток в диапазоне 3 – 110% от номинальной мощности.

Отечественный опыт измерения и анализа виброакустических сигналов в оборудовании АЭС и результаты моделирования и системного анализа опережают зарубежные разработки [1,2]. Эти исследования, на наш взгляд, позволяют не только получить научные рекомендации для создания условий, продлевающих срок службы оборудования, но и занять лидирующее место в разработке систем диагностики, идентификации и управления колебательными и вибрационными процессами в оборудовании АЭС. Создание этих систем [2, 3] позволит обеспечить повышение безопасности, эффективности эксплуатации и срока службы как действующих, так и проектируемых АЭС.

Такая возможность, как предлагается в данной работе, может быть реализована применением стандартных средств управления режимом эксплуатации АС с ВВЭР-1000 путем использования системы контроля для нормальной эксплуатации, которые включают в себя АСУ ТП АЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные при выполнении данной работы результаты позволяют прогнозировать появление недопустимых режимов работы оборудования первого контура и ГЦТ посредством расчета СЧКДТ, Q , ПП и сопоставления их значений с аналогичными характеристиками ВКУ, ТВС, твэлов и другого оборудования, влияющего на безопасность и надежность эксплуатации.

Для предотвращения нежелательных режимов при эксплуатации энергоблока могут быть использованы штатные системы АСУ ТП, включая защиты и блокировки.

Литература

1. Проскуряков К.Н. Виброакустическая паспортизация АЭС – средство повышения их надежности и безопасности // Теплоэнергетика. – 2005. – № 12. – С. 3034. 2. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Усанов А.И. Виброшумовая диагностика ВВЭР. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
3. Proskouriakov K.N., Gholampoor M., V.V.Karataev V.V., Pavlov A.S., Nikiphorov V.N., Hiretdinov V.U. Application of System Analysis for Definition of the Causes of Anomalies Occurrence in the Reactor Circuit Equipment. ICAPP 04 Pittsburgh. PA USA, June 13-17, 2004
4. Proskuryakov K.N., Hiretdinov V.U. Are Reactor Vessel Lids Cracking Phenomenon Accidental or Foreseeable? IAEA Technical Meeting On «On-line Condition Monitoring of Equipment and Processes in Nuclear Power Plants Using Advanced Diagnostic Systems», 27 to 30 June 2005 Knoxville, Tennessee USA.
5. Проскуряков К.Н. Моделирование параметрических колебаний в системе охлаждения ядерных реакторов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 3.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники Ч.1. – М.: Энергия, 1970.

7. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 735 с.
8. Лепендин Л.Ф. Акустика. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
9. Проскуряков К.Н. Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутри-корпусных устройствах ядерных энергетических установок. – М.: МЭИ, 1984. – 68 с.
10. Золотухин И.А. Анализ колебаний в многоконтурных электрических моделях теплогидравлических систем (специальность «Теоретическая электротехника») Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – М.: МЭИ, 2008 – 20 с.
11. Proskuryakov K.N., Novikov K.S. The Causes of High Cyclic Dynamical Loadings Increasing in Water Cooled Water Moderated Reactors. The 7th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety Seoul, Korea, October 5-9, 2008
<http://www.nuthos-7.org/>
12. Проскуряков К.Н. Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов на АЭС. – М.: МЭИ, 1999. – 68 с.

Поступила в редакцию 30.12.2008

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

The Microprocessor Unit Controlling the Complex Diagnostic Test Bench for Vibration Examination of Pipelines of Nuclear Power Plants \V.I. Velkin, D.S. Komoza, A.Y. Krutikov, V.V. Khnikina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The examination results of passive swirlers for decreasing a level of vibration in the pipelines with two-phase flow were presented. Designs of the swirlers were shown. Metering characteristics providing formation of parameters of a two-phase mixture were described. The results characterizing a relative decreasing of vibration displacement of the pipelines used swirlers were exhibited. The view of the microprocessor unit controlling the experimental diagnostic test bench was exhibited. The scheme and the functioning algorithm were described.

УДК 621.039.548

Development of Automatic System by Expose Fuel Channel with Non-Hermetic Assemblies \A.M. Zagrebayev, I.V. Oghegin; 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.

Scrutinize problem expose non-hermetic fuel assemblies. Description principles of function automatic system by expose fuel channel with non-hermetic assemblies.

УДК 621.039.534

Methods and Control Facilities the Resource of the Capital Equipment on the Nuclear Power Plant \A.V. Nekrasov, K.N. Proskurjakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 12 titles.

Algorithms and software product for calculation of eigen frequencies of coolant pressure oscillations in the equipment of the first contour of the nuclear power plant with BB3P-1000, good quality factor of a contour of the coolant, a pass band of frequencies of fluctuations and factors of attenuations are developed. Results of calculations are resulted at presence and at absence in the coolant of products radiolysis in a gaseous status. The analysis of results allows to reveal the conditions resulting in raised vibrations, and also to develop managers of influences in ordinary system of management information system of the block for their prevention.

УДК 621.18.021

Designing of Electronic Passport for Forecast of Condition of the Pipe-Heater Steam Generator \V.K. Semenov, D.S. Rumyantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 3 illustrations. – References, 3 titles.

We designed a system of organizational and technical steps, which carry out in exploration time of heat-and power engineering equipment of NPP (nuclear power plant) with PWR (power water reactor). This system was designed for the new equipment and can be apply only when the all devices have identical starting condition. If starting conditions are difference, then said approach is not correct. Therefore we are creating methodology, which permit to made prognosis of tubing steam generator longevity and work out a guidelines, which will be helped to raise a safety of steam generator and prolong its resource.

We designed a semi empirical mathematical model and computer program which permit to make forecast of chemical washing terms in steam generator.

УДК 502/504:57.08

Ecological bases of Application the Allium-Test in Ecological Monitoring \S.Y. Sinovets, S.V. Pyatkova, G.V. Kozmin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika»