

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ И ВИБРАЦИИ ПУЧКА ТВЭЛОВ В ТВС ВВЭР-440

В.В. Перевезенцев, В.И. Солонин, Ф.Д. Сорокин

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва



Получены на полномасштабном макете экспериментальные данные по гидродинамически возбуждаемым вибрациям пучка твэлов в ТВС ВВЭР-440. Показано существенное влияние гидродинамики потока перед опорной решеткой (на входе в пучок) на интенсивность вибраций. По измерениям пульсаций давления в зазоре между внутренней поверхностью шестигранного чехла и внешним рядом твэлов определены нестационарные гидродинамические силы, воздействующие на пучок твэлов и вызывающие его вибрации.

Разработана механическая модель пучка на базе его описания как балки с низкой сдвиговой жесткостью (балка Тимошенко С.П.). На основе проведенных в рамках этой модели расчетов с использованием экспериментально полученных нестационарных гидродинамических нагрузок показана возможность возбуждения интенсивных вибраций в близкой к нижней опорной решетке области пучка. Экспериментальные данные по виброперемещениям пучка твэлов хорошо согласуются с расчетными значениями, что подтверждает справедливость предложенной модели.

Вибрационные процессы в ядерных реакторах в значительной степени определяют надежность оборудования и безопасность эксплуатации энергоблока в целом. Динамическое воздействие потока теплоносителя на конструктивные элементы реакторных систем может инициировать и поддерживать их механические колебания (вибрации). Одними из наиболее важных механических систем, определяющих безаварийную работу реакторных установок, являются тепловыделяющие сборки (ТВС). Вибрации пучка тепловыделяющих элементов (твэлов) в ТВС приводят

- к циклическим изгибным деформациям оболочек твэлов и, как следствие, к развитию коррозионно-усталостных процессов;
- к динамическому взаимодействию оболочек твэлов с дистанционирующими решетками и развитию фреттинг-износа оболочек твэлов;
- к повышенным напряжениям в зоне крепления хвостовиков твэлов в зоне нижней опорной решетки, способствующим инициированию и дальнейшему развитию механического износа хвостовиков.

Систематические экспериментальные исследования и разработка на их основе моделей нестационарного гидродинамического нагружения твэлов в ТВС позво-

© В.В. Перевезенцев, В.И. Солонин, Ф.Д. Сорокин, 2008

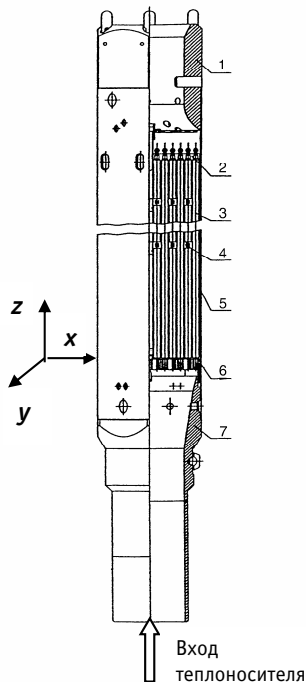


Рис. 1. Тепловыделяющая сборка (кассета рабочая) ВВЭР-440:
1 – головка; 2 – решетка верхняя;
3 – тепловыделяющий элемент;
4 – решетка дистанционирующая;
5 – чехол; 6 – решетка нижняя
опорная; 7 – хвостовик

лят раскрыть механизмы возбуждения вибраций и определить их количественные характеристики. ТВС реактора ВВЭР-440 как механическая колебательная система состоит из пучка цилиндрических, расположенных по треугольной решетке, ТВЭЛ, жестко закрепленных одним концом в нижней опорной решетке и через верхнюю дистанционирующую решетку – упругую опору связанных с шестигранной чехловой трубой. Кроме нижней и верхней опор, ТВЭЛы объединены в пучок десятью промежуточными, не взаимодействующими с чехловой трубой, дистанционирующими решетками (рис.1). На пучок ТВЭЛов ТВС ядерного реактора действует распределенная гидродинамическая нагрузка, которая определяется полем пульсаций давления на обтекаемых поверхностях всех ТВЭЛов пучка. В соответствии с этими представлениями случайная гидродинамическая сила, действующая на единичную длину ТВЭЛ в сечении z в момент времени τ в плоскости, перпендикулярной оси ТВС, определяется распределением мгновенных значений пульсаций давления на поверхности оболочки ТВЭЛ [1]:

$$\vec{f}_{gi}(z, \tau) = \int_{\Phi} p'(z, \varphi, \tau) \cdot \vec{n} \cdot d/2 \cdot d\varphi. \quad (1)$$

Результирующий вектор случайной гидродинамической нагрузки в сечении z пучка, состоящего из n ТВЭЛов в момент времени τ , можно определить сум-

мированием векторов действующих на каждый ТВЭЛ сил $\vec{f}_g(z, \tau)$:

$$\vec{f}_g(z, \tau) = \sum_{i=1}^n \vec{f}_{gi}(z, \tau). \quad (2)$$

Таким образом, для определения распределений случайных гидродинамических нагрузок по длине пучка необходимы соответствующие измерения полей пульсаций давления для всех ТВЭЛов, что не представляется возможным.

Особенности турбулентного течения теплоносителя в межТВЭльном пространстве с достаточно равномерным распределением осредненной скорости по сечению, сравнительно низкими градиентами пульсационных составляющих скоростей и давлений приводят к формированию взаимно компенсирующих друг друга векторов действующих на отдельные ТВЭЛы гидродинамических сил. Такие гидродинамические силы не могут сформировать в сечении по длине пучка вектор нагрузки, способной вызвать смещение пучка. В то же время в кольцевой области между внутренней поверхностью чехла и внешней границей пучка течение характеризуется значительными градиентами как осредненных, так и пульсационных характеристик потока. В связи с этим течение и пульсации давления именно в кольцевой области формируют выраженные гидродинамические нагрузки на пучок в целом, которые и определяют в итоге его виброперемещения.

Экспериментальные исследования вибраций пучка ТВЭЛов проводились на гидродинамическом стенде [2] с использованием полномасштабного макета ТВС ВВЭР, изготовленного из штатных конструкционных материалов (со свинцовыми имитаторами топливных таблеток) по штатной технологии, что обеспечивало иден-

тичность механических (статических и динамических) характеристик макета рабочим ТВС. Виброперемещения твэлов измерялись малогабаритными двухкоординатными пьезорезистивными виброакселерометрами в комплекте с интегрирующими измерительными каналами, обеспечивавшими двойное интегрирование сигналов виброакселерометров. Виброакселерометры размещались внутри твэльных трубок и фиксировались в заданном сечении пучка с помощью фторпластовых колец [3].

Для измерения пульсаций давления в хвостовике перед опорной решеткой и на внутренней поверхности чехла выполнены отборы давления, соединенные импульсными линиями с расположенными за пределами макета пьезорезистивными датчиками пульсаций давления. Для идентификации условий гидродинамического нагружения пучка твэлов проводились одновременные измерения пульсаций давления в двух сечениях по периметру пучка на внутренней поверхности шести граней чехла. Первое сечение для измерения пульсаций давления расположено в первом пролете между нижней опорной и первой дистанционирующей решетками на расстоянии $z = 72$ мм от выходного торца нижней опорной решетки. Второе сечение расположено в седьмом пролете между шестой и седьмой дистанционирующими решетками на расстоянии $z = 1527$ мм от выходного торца нижней опорной решетки.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные по среднеквадратичным значениям пульсаций давления на внутренней поверхности конической части хвостовика ТВС на расстоянии 109 мм до опорной решетки. Видно, что условия формирования гидродинамики потока на входе в хвостовик ТВС оказывают существенное влияние на уровни пульсаций давления перед опорной решеткой, т.е. на входе в пучок твэлов. Дроссельные шайбы создают струйное течение с интенсивным вихреобразованием в пристеночной области. При этом энергия осредненного течения частично преобразуется в энергию пульсационного движения. При скорости воды в пучке $V = 3,14$ м/с среднеквадратичные значения пульсаций давления более, чем в 10 раз выше по сравнению с полученными в условиях без размещения дроссельных шайб, т.е. для невозмущенного турбулентного потока.

Спектральный состав пульсаций давления показывает, что основная энергия пульсационного движения сосредоточена в низкочастотной области. При этом размещение дроссельных шайб способствует расширению частотного диапазона энергетически значимых пульсаций давления (рис. 3). Качественный характер

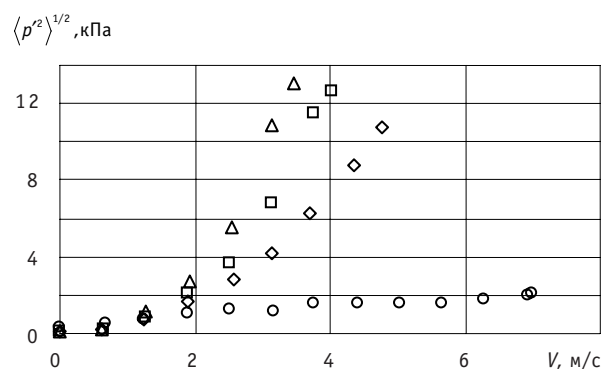


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичных значений пульсаций давления перед опорной решеткой от скорости воды в пучке для различных гидродинамических условий на входе в хвостовик ТВС: ○ – невозмущенный турбулентный поток; ◇ – дроссельная шайба 52 мм; □ – дроссельная шайба 48,5 мм; △ – дроссельная шайба 45 мм

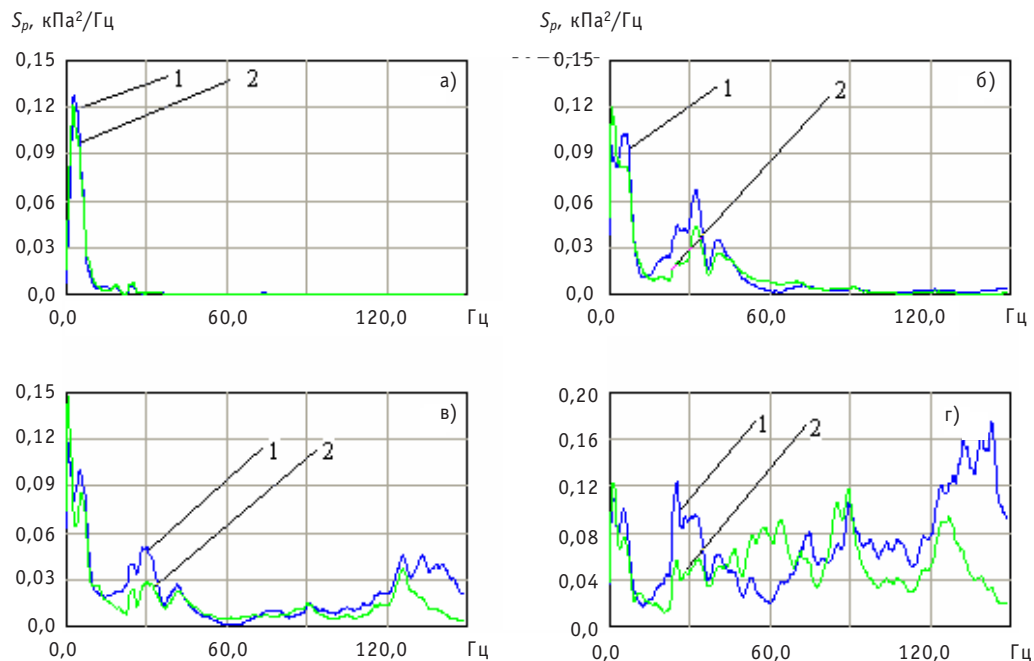


Рис. 3. Спектры мощности пульсаций давления на внутренней поверхности чехла в сечениях пучка $z = 72$ мм (1) (первый пролет) и $z = 1527$ мм (2) (седьмой пролет) при скорости течения воды в пучке $v = 3.14$ м/с: а) – невозмущенный турбулентный поток; б) – дроссельная шайба 52 мм; в) – дроссельная шайба 48,5 мм; г) – дроссельная шайба 45 мм

спектров пульсаций давления по длине пучка заметно меняется только в условиях формирования потока дроссельными шайбами малых диаметров.

В настоящей работе случайные гидродинамические нагрузки получены по измерениям пульсаций давления на внутренней поверхности чехла. В соответствии с развиваемым подходом случайная гидродинамическая сила, действующая на единичную длину пучка твэлов в сечении z в момент времени τ в плоскости, перпендикулярной оси ТВС, определяется распределением мгновенных значений пульсаций давления по периметру внешней границы пучка твэлов, т.е. по измеренным значениям пульсаций давления на внутренних поверхностях граней чехла:

$$\vec{f}_g(z, \tau) = \int_P p'(z, P, \tau) \cdot \vec{n} \cdot dP, \quad (3)$$

где $p'(z, P, \tau)$ – мгновенные значения пульсаций давления на грани пучка; P , \vec{n} – периметр внешней границы пучка твэлов и нормаль к внешней границе.

Удельные (на единицу длины пучка) гидродинамические силы определялись по измерениям пульсаций давления на внутренней поверхности шести граней чехла в сечениях $z = 72$ мм (в области первого пролета пучка) и $z = 1527$ мм (в области седьмого пролета пучка) от опорной решетки. Представленные на рис. 4 данные показывают, что при одинаковых скоростях течения теплоносителя через ТВС действующие на пучок гидродинамические силы распределены по его длине равномерно только в условиях относительно слабой турбулизации потока на входе в пучок. При существенных возмущениях потока, обусловленных формированием крупномасштабных вихревых структур за дроссельными шайбами, гидродинамические нагрузки на пучок вблизи опорной решетки (первые пролеты пучка) существенно выше по сравнению с удаленной от входа областью.

В качестве механической модели пучка твэлов рассматривается модель балки с пониженной сдвиговой жесткостью (балка С.П. Тимошенко). Движение пучка твэ-

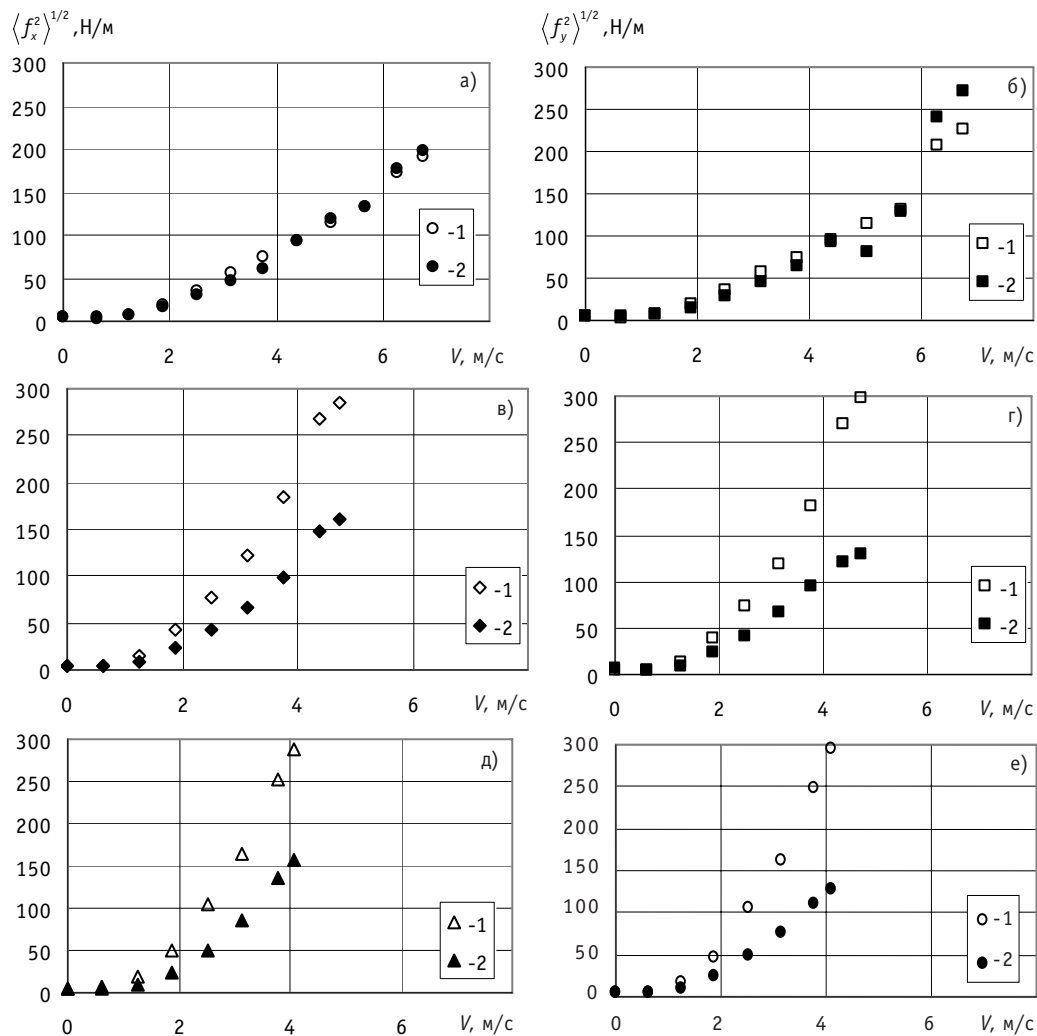


Рис. 4. Среднеквадратичные значения удельных гидродинамических нагрузок на пучок твэлов в сечениях $z = 72 \text{ мм}$ (1) и $z = 1527 \text{ мм}$ (2) в двух взаимно перпендикулярных направлениях (а), в), д) – в направлении перпендикулярно грани пучка; б), г), е) – в плоскости грани пучка) в зависимости от скорости воды в пучке при различных гидродинамических условиях на входе в ТВС: а), б) – невозмущенный турбулентный поток; в), г) – дроссельная шайба 52 мм; д), е) – дроссельная шайба 48,5 мм

лов по схеме балки С.П. Тимошенко [2] можно рассматривать на основе следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial z} &= -\vartheta + \frac{Q}{GA_{\text{эф}}}, \\ \frac{\partial \vartheta}{\partial z} &= \frac{M}{EJ}, \\ \frac{\partial Q}{\partial z} &= -f_g, \\ \frac{\partial M}{\partial z} &= Q, \end{aligned} \quad (4)$$

где δ – поперечное перемещение; ϑ – поворот сечения; Q – внутренняя попереч-

ная сила; M – внутренний изгибающий момент; f_g – внешняя поперечная распределенная нагрузка; $GA_{зф}$ – жесткость сечения на сдвиг; EJ – жесткость сечения на изгиб.

В системе (4) распределенные нагрузки f_g вычисляются с учетом распределенных сил инерции от движения пучка и движения жидкости:

$$f_g = f_{g_{вн}} - nm_T \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} - \alpha \rho A \left(\frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} + 2v \frac{\partial^2 \delta}{\partial z \partial t} + v^2 \frac{\partial^2 \delta}{\partial z^2} \right), \quad (5)$$

где v – скорость осевого потока жидкости; ρ – плотность жидкости; A – площадь сечения жидкости, вытесненной пучком; α – коэффициент присоединенной массы (т.е. $\alpha \rho A$ – присоединенная масса); m_T – удельная на единицу длины масса одного твэла (кг/м); n – количество твэлов в пучке; $f_{g_{вн}}$ – внешняя распределенная нагрузка.

Все величины в системе (4) представляются в виде разложения в тригонометрические ряды:

$$\begin{aligned} \delta(z, \tau) &= \sum_{k=1}^{\infty} \delta_k(\tau) \sin \frac{k\pi z}{L}, \\ \vartheta(z, \tau) &= \sum_{k=1}^{\infty} \vartheta_k(\tau) \cos \frac{k\pi z}{L}, \\ M(z, \tau) &= \sum_{k=1}^{\infty} M_k(\tau) \sin \frac{k\pi z}{L}, \\ Q(z, \tau) &= \sum_{k=1}^{\infty} Q_k(\tau) \cos \frac{k\pi z}{L}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда решение задачи сводится к интегрированию по времени системы обыкновенных дифференциальных уравнений для коэффициентов разложения функции прогибов δ_k :

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\left(\frac{k\pi}{L} \right)^4 EJ}{\frac{EJ}{GA_{зф}} \left(\frac{k\pi}{L} \right)^2 + 1} - v^2 \alpha \rho A \left(\frac{k\pi}{L} \right)^2 \right) \delta_k + (nm_T + \alpha \rho A) \frac{d^2 \delta_k}{dt^2} + \\ &+ b \frac{d\delta_k}{dt} + 2v \alpha \rho A \sum_j B_{kj} \left(\frac{j\pi}{L} \right) \frac{d\delta_j}{dt} = f_{\{k\}}, \\ &B_{kj} = \begin{cases} \frac{4k}{\pi(k^2 - j^2)}, (k+j) = 2m+1 \\ 0, (k+j) = 2m. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

Эффективная сдвиговая жесткость $GA_{зф}$ подбиралась таким образом, чтобы основная собственная частота колебаний пучка совпадала с экспериментальным значением 3,9 Гц, чем косвенно учитывалась роль дистанционирующих решеток в предположении малых амплитуд колебаний. Динамические характеристики пучка твэлов определяли методом его начального отклонения в плоскости, перпендикулярной оси ТВС. По реализациям сигналов виброакселерометров в составе измерительных каналов с интегрирующими усилителями, отражающих затухающие колебания пучка, определялись его собственная частота, присоединенная масса и коэффициент демпфирования колебаний [3]. При интегрировании системы уравнений (7) принята экспериментально полученная для использованного в данной

работе макета ТВС ВВЭР-440 линейная зависимость коэффициента демпфирования b от продольной скорости в пучке [2].

Гидродинамические нагрузки (5) являются проекциями равнодействующих сил давлений на внутренних поверхностях шести граней чехла на соответствующие координатные оси. Нагрузки записаны в виде дискретного массива данных с временным шагом $5 \cdot 10^{-2}$ с на протяжении 132 с.

Для задания гидродинамических нагрузок по длине пучка с учетом экспериментальной информации в двух сечениях необходимы дополнительные сведения о закономерностях их продольного распределения. Простейший вариант задания гидродинамических нагрузок в промежуточных сечениях основан на наблюдениях за распределением пульсаций давления по длине пучка: принимается, что в первом пролете гидродинамическая нагрузка совпадает с полученной в эксперименте. В остальных сечениях принимаются те же нагрузки, что и в седьмом пролете (в середине пучка), но со сдвигом по времени $\Delta\tau_j$, выбираемым случайным образом:

$$\begin{aligned} f_{xj}(\tau) &= f_x(\tau + \Delta\tau_j), \\ f_{yj}(\tau) &= f_y(\tau + \Delta\tau_j), \\ (j > 1). \end{aligned} \quad (8)$$

Для расчета виброперемещений по уравнениям движения пучка (7) необходимо знание правых частей, т.е. коэффициентов разложения распределенных нагрузок в тригонометрический ряд. Осложнение заключается в том, что указанные нагрузки известны в дискретном наборе сечений ($z_0, z_1, z_2, \dots, z_{10}$), поэтому вычислить интеграл по z обычным образом не удастся. В связи с этим использовалась дискретная форма разложения в тригонометрический ряд:

$$\begin{aligned} f_{x\{k\}}(\tau) &= \frac{\sum_{j=0}^{10} f_{xj}(\tau) \sin \frac{k\pi z_j}{L}}{\sum_{j=0}^{10} \sin^2 \frac{k\pi z_j}{L}}, \\ f_{y\{k\}}(\tau) &= \frac{\sum_{j=0}^{10} f_{yj}(\tau) \sin \frac{k\pi z_j}{L}}{\sum_{j=0}^{10} \sin^2 \frac{k\pi z_j}{L}}, \\ z_j &= j \frac{L}{10}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\{k\}$ – номер гармоники.

На основании вариантных расчетов было установлено, что количество участков по длине пучка твэлов должно соответствовать числу пролетов между дистанционирующими решетками. Соотношения (9) являются точными в тех случаях, когда раскладываемые в ряд нагрузки не содержат очень высоких гармоник по z . В рассматриваемом случае это означает, что (9) будут правильно давать все гармоники вплоть до $k = 10$. Этого вполне достаточно, т.к. обычно в расчете с использованием модели Тимошенко учитываются не более 5–7 гармоник, причем старшие гармоники дают малый вклад в виброперемещения.

Уравнения движения (7) интегрировались с нулевыми начальными условиями на интервале времени от 0 до 4 с при использовании гидродинамических нагрузок, найденных на основе измеренных пульсаций давления в области первого

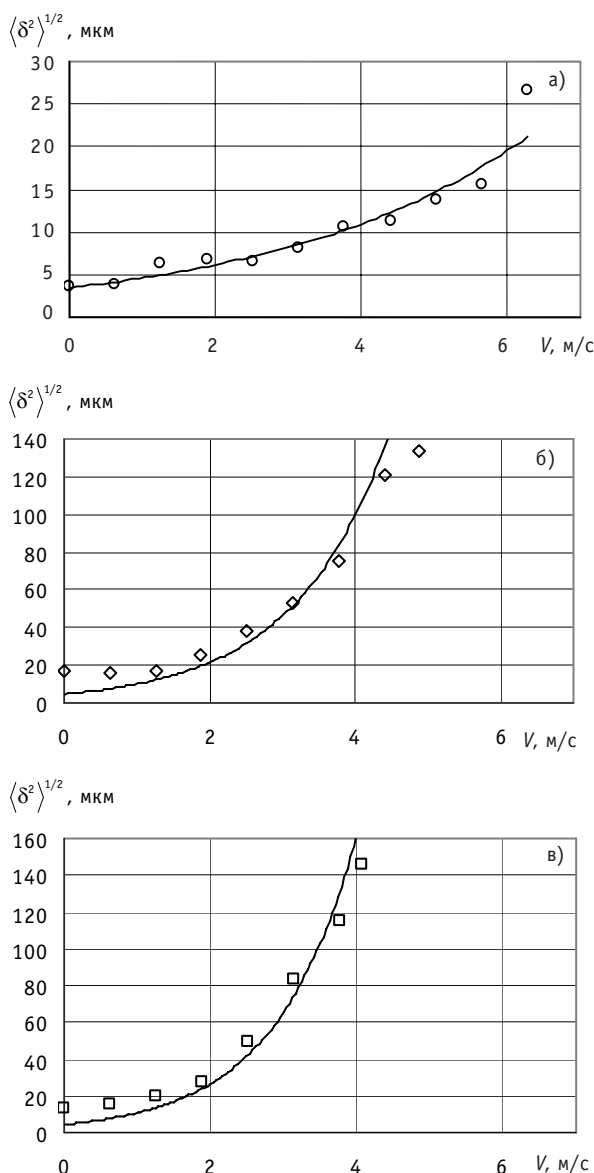


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных и расчетных среднеквадратичных значений виброперемещений пучка твэлов в области первого пролета для различных гидродинамических условий на входе в пучок: а) – невозмущенный турбулентный поток; б) – дроссельная шайба 52 мм; в) – дроссельная шайба 48,5 мм (□ – экспериментальные значения; — – расчет)

но не подходит для вычисления напряжений в каждом отдельном твэле. Каждый твэл по отдельности между дистанционирующими решетками представляет собой обычную балку Бернулли. Если приближенно принять, что на первом пролете оси твэлов изогнуты по параболе

$$\delta = Cz^2 \quad (10)$$

(с учетом заделки хвостовиков твэлов в опорной решетке), то кривизна оси у заделки будет равна

пролета и в середине пучка. На основе полученных данных определяются среднеквадратичные значения виброперемещений по осям x и y и соответствующее им среднеквадратичное значение модуля результирующего вектора виброперемещений. Представленные на рис. 5 результаты расчетов согласуются с экспериментальными значениями виброперемещений пучка твэлов в области первого пролета. Для условий формирования потока дроссельными шайбами характерно существенное превышение гидродинамических нагрузок в области первых пролетов пучка по сравнению с серединой пучка (см. рис. 4). Это обстоятельство приводит к более высоким интенсивностям вибраций именно вблизи опорной решетки. На основе классических представлений пучка твэлов как балки Бернулли этот результат не может быть получен. В то же время схема балки С.П. Тимошенко с малой сдвиговой жесткостью позволяет объяснить наблюдаемое в экспериментах превышение уровней виброперемещений на первом пролете по сравнению с серединой пучка.

Опасность вибраций пучка твэлов определяется не столько уровнями прогибов, сколько напряжениями в твэлах, вызываемыми виброперемещениями. Напряжения в твэлах пропорциональны кривизне их изогнутых осей. Схема балки С.П. Тимошенко применима для пучка в целом,

$$\delta''(0) = 2C = \frac{2\delta_{\max}}{L_0^2}. \quad (11)$$

Из соотношения (11) видно, что большие кривизны (а значит, и большие напряжения) на первом пролете связаны не только с большими прогибами, но и с малой длиной пролета, на котором накапливаются большие прогибы.

Таким образом, разработанная модель пучка твэлов ТВС водоохлаждаемых реакторов как балки с пониженной сдвиговой жесткостью (балки С.П. Тимошенко) позволяет объяснить полученные в эксперименте более высокие уровни виброперемещений пучка в области первых пролетов, т.е. вблизи нижней опорной решетки по сравнению с серединой пучка. Повышенные уровни виброперемещений около нижней опорной решетки обусловлены более высокими гидродинамическими нагрузками, создаваемыми потоком теплоносителя на начальном гидродинамическом участке за нижней опорной решеткой. Полученные экспериментально по пульсациям давления потока теплоносителя в зазоре между шестигранной чехловой трубой и внешней поверхностью пучка твэлов гидродинамические нагрузки использованы при численном интегрировании уравнений малых перемещений пучка. Результаты расчета согласуются с измеренными виброперемещениями пучка полномасштабного макета ТВС ВВЭР-440.

Литература

1. *Фролов К.В., Махутов Н.А., Каплунов С.М. и др.* Динамика конструкций гидроаэроупругих систем. – М.: Наука, 2002. – 397 с.
2. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
3. *Солонин В.И., Перевезенцев В.В.* Гидродинамически возбуждаемые вибрации пучка твэлов при различных характеристиках теплоносителя на входе в ТВС ВВЭР-440 // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – № 3. – С. 23-29.

Поступила в редакцию 24.10.2007

УДК 621.039.58

Thermohydraulics Simulation for PHEBUS Containment \A.A. Bryzgalov, A.A. Natalenko, F. De Rosa, S. Tirini, N. Voukelatou; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 10 pages, 5 tables, 3 illustrations. – References, 8 titles.

Verification and validation study of ASTEC code on the PHEBUS FPT1 experiment have been performed. The ASTEC coupled and the ASTEC CPA stand-alone containment calculations for the bundle degradation phase of experiment have been made. For the CPA stand-alone calculation the inlet steam and hydrogen flow rates sensitivity analyses has been made within the uncertainty of experimental data. Studying of the dependence between different geometry models of the containment and computational values was carried out. General patterns of the thermohydraulics behavior were found and probable reasons of discrepancies between ASTEC prediction and experimental results were noted.

УДК 621.039.534.63

Simple Formulas for Thermodynamic Properties of Sodium \A.A. Kazantsev, A.S. Kondratyev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 11 tables, 8 illustrations. – References, 5 titles.

As the coolant, sodium is widely used in the fast breeder reactors, but for its calculation with use of code OpenFOAM wider set of formulas, in comparison with published in reference books is required. For codes of computing hydrodynamics (CFD codes), such as OpenFOAM, by an Open Source license code there is possibility to change the source code text according to any applied problem, it was required to find or to obtain simple formulas for calculation thermo physics properties of sodium. Initial data for obtaining interpolation functions are taken from domestic and foreign handbook. The set of the calculated functions describing necessary for calculated codes thermodynamic and thermal physics properties of sodium and its steams, namely: dynamic viscosity, heat conductivity, superficial tension, thermal conductivity, heat of evaporation, pressure on saturation line from temperature, density on saturation line, Prandtl number on a saturation line were received.

УДК 621.039.5

Development of Thermal Hydraulic Code KANAL and Thermal Physics Models for NPP Simulators \A.A. Kazantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 10 pages. – References, 24 titles.

For supporting of NPP simulators development there was performed the cycle of thermal physics and thermodynamic works, the set of models of main equipment, two phase non equilibrium code KANAL based on 6 equation model. The new flow map pattern was applied in the code and was used Russian correlation for bubble boiling and for condensation into tube, that is different from known code prototype, such us TRAC. For learning the TRAC code correlations there were performed accurate 3D transient calculations of some problems, including horizontal steam generator calculations, there was performed comparison of calculations with the experimental model of top quarter of tube bundle of horizontal steam generator.

УДК 621.039.548

Non-Stationary Hydrodynamic Loadings and Fuel Rods Beam Vibrations in Fuel Assembly WWER-440 \V.V. Perevezentsev, V.I. Solonin, F.D. Sorokin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 9 pages, 5 illustrations. – References, 3 titles.

Are received by on a full-scale test model experimental data on flow-induced vibrations of a fuel rods beam in fuel assembly WWER-440. Essential influence of hydrodynamics of a stream before a basic lattice (on an input in a fuel rods beam) on intensity of vibrations is shown. On measurements of pulsations of pressure in a backlash between an internal surface a cover and an external series fuel rods the non-stationary hydrodynamic forces influencing a fuel rods beam and causing it of vibration are defined. The mechanical model of a fuel rods beam on the basis of its description as beams with low

shift rigidity (Timoshenko S.P.'s beam) is developed. On the basis of the calculations spent within the limits of this model with use of experimentally received non-stationary hydrodynamic loadings possibility of excitation of intensive vibrations in area of a fuel rods beam close to the bottom basic lattice is shown. Experimental data on vibrations displacements of a fuel rods beam will well be coordinated with settlement values that confirms justice offered.

УДК 621.039.548

Effective Heat Conductivity of Rod and Tube Bundles with Random Deviation from Regular Lattice \ V. Fedotovskiy, A. Orlov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 12 illustrations. – References, 8 titles.

Effective heat conductivity of rod and tube bundles is one of thermophysical properties necessary for calculation of thermo hydraulic characteristics of heat producing devices, heat exchange devices and steam generators. This report introduces results of mathematical modeling of effective heat conductivity of transversally anisotropic rod bundles in solid conductive medium formed by cylindrical rods in rectangular and triangular grids compressed or stretched in heat flow direction. Similar numerical modeling was performed for anisotropic bundles of elliptic cylinders and also for disperse-armed materials with spherical and ellipsoidal inclusions. On the basis of quite precise numerical solutions of stationary heat conductivity problems in representative cells by finite elements method dependencies for components of effective heat conductivity tensor in principal axes were received and comparison with formulas received analytically for heterogeneous mediums of various structure was performed. Effective heat conductivity of rod bundles with random deviation from regular grid was also considered. Deviation values were set as deviation matrix that was randomly generated by the normal distribution software randomizer. As a result of comparison limits of application of various analytic formulas and methods of their specification were determined.

УДК 621.039.56

Optimization of a Network Diagrams for Replacement of Steam- and Gas Generators of NPP with VVER-1000 using the Method of Nonlinear Mathematical Programming \ N.I. Yevzhik, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov, S.Ye. Sheklein, A.A. Kadnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 7 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 5 titles.

Ways of time reduction of replacement of steam and gas generators nuclear energy station with VVER-1000 are shown. Necessity of time minimization of the power unit is proved. Development of algorithm and the program settlement a critical way and optimization of the network diagram on replacement of four steam and gas generators is described. The example of time replacement optimization generators is given.

УДК 621.039.548

A Method to estimate efficiency of a nuclear power unit capacity maneuver algorithm for the case of WWER reactors \ M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 12 pages, 5 tables, 4 illustrations. – References, 7 titles.

A nuclear power unit capacity maneuver algorithm efficiency estimation technique for a WWER reactor working in the mode of variable loadings is offered. It is shown, that fuel rod cladding material operation time under multiple cyclic nuclear reactor power changes can be estimated by calculation of the accumulated energy of irreversible cladding material creep deformations.

УДК 621.039

About an Optimal SPTE Number Search Model \ A.P. Unshchikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 6 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 6 titles.

This paper considers the mathematical optimization model of an SPTE number search at a storage facility of some NPP subsystem. This model can help to calculate a number of SPTE to be bought with