

# ОЦЕНКА ВЫРАБОТАННОГО И ПРОГНОЗА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСОВ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ ЯЭУ

**Ю.Г. Коротких, О.С. Копьева**

*Нижегородский государственный университет, Н. Новгород*



В статье рассматриваются прогнозная модель и алгоритм оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов основных узлов ЯЭУ, определяющих ее надежность с точки зрения прочности, на базе современных методов механики поврежденной среды.

Основными факторами, влияющими на тип механизма развития поврежденности в материале опасных зон корпуса реактора и трубопроводов первого контура (исключая активную зону и ТВС), являются история изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) в данной зоне и история изменения температуры. Для современных ЯЭУ и штатных режимов эксплуатации уровни температур и амплитуд напряжений не достаточны для развития значительных деформаций ползучести и связанных с ними процессов поврежденности. Основными доминирующими механизмами накопления повреждений в конструктивных узлах ЯЭУ в этих условиях являются многоцикловая усталость, малоцикловая усталость (МЦУ) и термическая усталость.

Для обеспечения безопасной эксплуатации объектов с учетом процессов накопления повреждений необходимо решить две основные проблемы:

- диагностику состояния материала конструктивных узлов на данный момент эксплуатации объекта (выработанный ресурс);
- прогнозирование развития деградационных процессов по доминирующим механизмам (уменьшение остаточной прочности) для будущих возможных процессов эксплуатации (остаточный ресурс) с целью назначения межконтрольного интервала.

Целью данной работы является изложение прогнознй модели и алгоритма оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов основных узлов ЯЭУ, определяющих ее надежность с точки зрения прочности, на базе современных методов механики поврежденной среды.

Особенностью развития процессов поврежденности является их локальный характер в течение практически всего времени эксплуатации. Понятие «повреждение объекта» означает фактически повреждение его опасных зон. Поэтому с точки зрения поврежденности объекты следует рассматривать как совокупность их опасных зон, скорости развития поврежденности по различным механизмам и ресурсные характеристики которых могут сильно различаться из-за различия эксплуатационных условий в этих зонах. По этой причине такие обобщенные понятия как «ресурс объекта» и «остаточный ресурс объекта» на практике трансформируются в аналогичные понятия, относящиеся к каждой опасной зоне индивидуально.

В силу сильной нелинейной зависимости скоростей протекания данных процессов от эксплуатационных условий большое значение имеет проблема выявления основных факторов, влияющих на скорости процессов накопления повреждений и установление конкретных характеристик этого влияния.

К основным общим факторам можно отнести следующие:

- связанные с внешними воздействиями, определяемыми условиями эксплуатации объекта;
- технологические, определяющие начальную поврежденность материала конструктивных узлов;
- геометрические, определяющие пространственно-временное распределение физических полей;
- взаимодействия конструктивных материалов с внешними средами и физическими полями различной природы;
- масштабные, играющие большую роль при использовании данных лабораторных испытаний в определении параметров процессов для натурных конструкций;
- статистического разброса параметров физических и технологических процессов, свойств конструкционных материалов.

Для оценки скорости развития процессов поврежденности в опасных зонах объекта, т.е. для оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов, необходимо

- провести анализ инженерного объекта: выявить основные конструктивные узлы, определяющие его ресурс; состав конструкционных материалов; технологию изготовления узлов; начальную дефектность; параметры и историю эксплуатационных воздействий;
- определить доминирующие механизмы развития поврежденности основных конструктивных узлов;
- разработать модели доминирующих процессов исчерпания ресурса с учетом их взаимодействия для оценки скорости накопления повреждений в объеме материала в зависимости от условий эксплуатации объекта;
- провести экспериментальные исследования на лабораторных образцах и расчеты кинетики НДС для выявления опасных зон конструктивных узлов и определения конкретных характеристик процессов деформирования и разрушения в этих зонах;
- создать методики и алгоритмы оперативной оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов узлов объекта в процессе его эксплуатации;
- разработать соответствующие объектно-ориентированные системы, программно-аппаратные средства оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов объекта с целью сбора информации о процессах накопления повреждений в конструктивных узлах, получения количественных характеристик остаточного ресурса, установления межконтрольного интервала, получения необходимой информации для принятия решений о продлении срока службы узлов объекта, об их ремонте или замене.

В настоящее время развиваются различные подходы к решению проблемы оценки выработанного и прогноза остаточного ресурсов инженерных объектов в процессе эксплуатации:

- подходы, основанные на диагностике состояний конструкционного материала узлов физическими методами (ультразвуковые, магнитные, акустические и т.д.);
- подходы, основанные на измерении некоторых диагностических параметров объекта в процессе эксплуатации (например, диагностика состояния по тренду виброакустических характеристик) и анализе разницы между наблюдаемыми и вычисленными значениями этих параметров;
- подходы, основанные на математическом моделировании развития процессов поврежденности с использованием современных методов механики разрушения, механи-

ки поврежденной среды с учетом индивидуальных свойств объекта.

Эффективный результат дает комплексное использование этих подходов.

Разработка прогнозной модели оценки ресурса при доминирующих механизмах усталости должна базироваться на следующих основных положениях:

- моделирование основных физических стадий развития процесса разрушения;
- введение для каждого механизма истощения ресурса адекватного «внутреннего времени» процесса;
- учет нелинейного суммирования повреждений при изменении условий нагружения и от различных механизмов истощения ресурса;
- формулировка принципов эквивалентности процессов для различных условий нагружения и различных НДС, их эквивалентности экспериментальным данным лабораторных испытаний образцов;
- учет влияния вида траектории деформирования, параметров НДС на скорости процессов;
- учет реальной истории нагружения и влияния истории нагружения на скорости процессов;
- формулировка эволюционных уравнений процессов деформирования и накопления повреждений с учетом их взаимного влияния и критериев, определяющих устойчивость данных процессов;
- разработка на базе эволюционных уравнений процессов деформирования и накопления повреждений алгоритмов оперативной оценки выработанного ресурса, позволяющих с использованием предварительной экспериментальной и расчетной информации в реальном масштабе времени проводить оценку ресурса на объектовых ЭВМ.

Процессы образования и развития макроскопических трещин обусловлены зарождением микродефектов (повреждений) при нестационарной ползучести и усталости, их ростом и слиянием в микроскопические трещины, развитие которых в дальнейшем определяет магистральную макроскопическую трещину.

Микроструктурные повреждения при этом описываются в механике поврежденной среды специальными переменными, характеризующими интегрально-микроскопические процессы. При описании состояния поврежденности через такие переменные необходимо выбрать соответствующие меры количественной оценки параметров процесса накопления повреждений на макроуровне. Эти меры должны быть связаны с какой-либо поддающейся измерению физической величиной, исследование изменения которой позволяет получить связь механических параметров с процессами накопления повреждений на мезоуровне, ввести соответствующие модели влияния поврежденности на физико-механические характеристики и прочность материала и определить из соответствующих экспериментов параметры моделей накопления повреждений.

Поврежденность элементарного объема материала будем измерять величиной  $\omega$ , являющейся отношением имеющейся объемной доли дефектов к критической.

Реальный процесс накопления повреждений в результате МЦУ при симметричном деформировании цилиндрического образца из стали X18H10T растяжением – сжатием при постоянной амплитуде деформации и температуре 20°C показан на рис.1 кривыми 1-4 (амплитуды 0.006, 0.004, 0.002, 0.0015 соответственно). Видно, что ход процесса накопления повреждений зависит от режима нагружения (в данном случае от амплитуды цикла нагружения). Если происходит изменение режима нагружения, то наблюдается переход с одной кривой на другую (рис. 2а, 2б, кривая 1 соответствует амплитуде

0.0015, кривая 2 – 0.004). В результате при разрушении суммарное число циклов  $\sum \frac{N_i}{N_f}$  ( $N_i$  – число отработанных циклов,  $N_f$  – число циклов до разрушения при данной ампли-

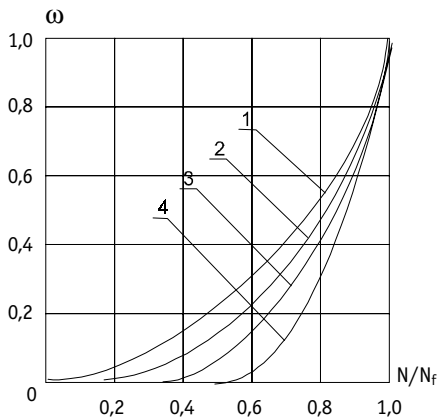


Рис. 1. Процесс накопления повреждений при МЦУ

туде) либо меньше единицы (рис.2а), либо больше единицы (рис.2б), что не описывается правилом линейного суммирования повреждений (прямая ОВ).

Кроме того, для нерегулярного нагружения невозможно выделить конкретные циклы и бессмысленно измерять долговечность материала количеством циклов нагружения. Для устранения этого недостатка введем так называемое «внутреннее время» процесса  $Z$ , измеряемое относительной долей энергии  $W$ , идущей на образование дефектов:  $Z = \frac{W}{W_f}$ , где  $W_f$

– критическое значение энергии  $W$ , соответствующее образованию макроскопической трещины порядка 1 мм [1,2]. Из анализа экспериментальных данных и теоретических соображений следует [1,2], что скорость накопления повреждений можно представить в виде

$$\dot{\omega} = f_1(\beta_j) \cdot f_2(Z) \cdot f_3(\omega) \cdot \dot{Z}, \tag{1}$$

где функция  $f_1$  учитывает влияние параметров напряженного состояния  $\beta_j$ ,  $f_2$  – влияние затраченной на разрушение относительной энергии  $Z$ ,  $f_3$  – влияние накопленной поврежденности  $\omega$  на скорость накопления повреждений.

Конкретизируем уравнение (1) в виде [1,2]:

$$\dot{\omega} = \frac{\alpha+1}{r+1} f(\beta) Z^\alpha (1-\omega)^{-r} <\dot{Z}> \tag{2}$$

$$<\dot{Z}> = \begin{cases} \dot{Z} & \text{при } \dot{Z} > 0, Z > 0 \\ 0 & \text{при } \dot{Z} \leq 0, Z < 0 \end{cases}, \quad Z = \frac{W - W_a}{W_f - W_a},$$

где  $W_a$  – значение энергии, соответствующее зарождению микродефектов (при  $W < W_a$  влияние накопленной поврежденности на физико-механические характеристики отсутствует);  $\alpha, r, W_a, W_f$  – материальные параметры, являющиеся функциями вида напряженного состояния и температуры  $T$ .

Формально интегрируя это уравнение, можно получить единую обобщенную кривую накопления повреждений для данного материала и механизма деградации [1,2]:

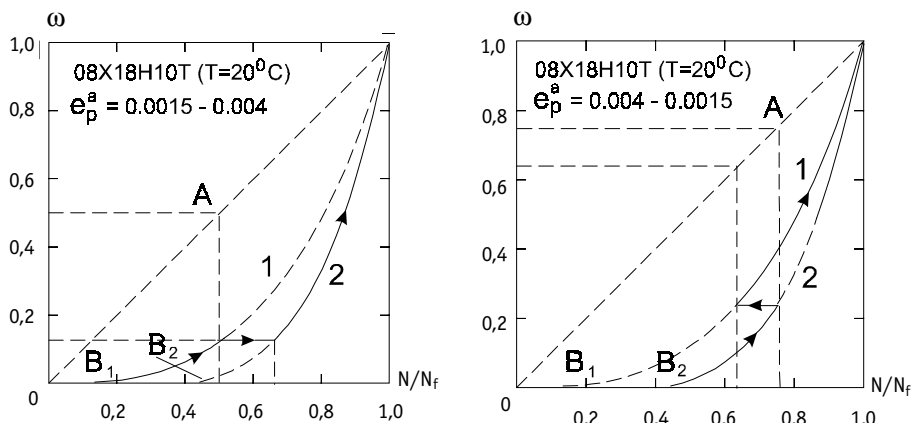


Рис. 2. Переход с кривой на кривую в результате изменения режима нагружения

$$\omega = 1 - (1 - y^{\alpha+1})^{\frac{1}{r+1}}, \quad (3)$$

$$y = AZ, \quad A = \left[ \frac{(\alpha+1) \int_0^Z f(\beta) Z^\alpha dZ}{Z^{\alpha+1}} \right]^{\frac{1}{\alpha+1}}.$$

Используя эту кривую легко установить эквивалентность различных процессов накопления повреждений между собой (одинаковые  $y$ ) и оценить значение выработанного ресурса (текущее значение  $y^*$ ) и остаточного ресурса ( $1-y^*$ ).

Обобщенную кривую можно получить из испытаний лабораторных образцов [1].

На базе данного подхода можно построить приближенный алгоритм оценки выработанного ресурса и прогноза остаточного ресурса материала в опасных контролируемых зонах ответственных узлов ЯЭУ в процессе эксплуатации [3]. Сущность этого алгоритма заключается в следующем [1-4].

Представим модель эксплуатации установки в виде некоторой последовательности «стандартных» режимов нагружения. Каждая конкретная установка характеризуется своей индивидуальной последовательностью данных режимов (индивидуальной историей), которая фиксируется в процессе ее эксплуатации.

Предварительно для каждого «стандартного» режима путем соответствующих расчетов краевых задач тепломассопереноса, кинетики напряженно-деформированного состояния, кинетики накопления повреждений выявляются опасные зоны. Для каждой зоны определяются доминирующие механизмы процессов деградации материала, траектории напряжений, полных и упругих деформаций, параметры напряженно-деформированного состояния и т.д. Для разных режимов опасные зоны и механизмы деградации материалов зоны могут быть различны. Далее для каждой зоны, каждого «стандартного» режима и доминирующих механизмов строится уравнение типа (2) с учетом индивидуальных особенностей процессов для каждой зоны и каждого режима нагружения. При эксплуатации установки прохождение «стандартного» режима принимается за квант нагружения, на основе приведенных расчетов для каждой  $i$ -ой зоны и каждого  $j$ -го режима с учетом экспериментальной информации определяются значения функций  $\beta_{ij}$ ,  $\alpha_{ij}$ ,  $r_{ij}$ ,  $W_{ij}$ ,  $Wf_{ij}$ ,  $T_{ij}$  и т.д., приращения соответствующих переменных в уравнении (2):  $\Delta W_{ij}$ ,  $\Delta Z_{ij}$ ,  $\Delta y_{ij}$  и т.д.

Вся эта информация заносится в базу данных и является исходной для работы оперативной системы оценки ресурса на объектовой ЭВМ. При эксплуатации объекта данные о прохождении конкретного «стандартного» режима поступают в систему оперативной оценки ресурса, и на основе индивидуальной последовательности прохождения режимов интегрируется в каждой опасной контролируемой зоне настроенное на эту зону уравнение типа (2).

Алгоритм интегрирования кинетического уравнения накопления повреждений для каждой зоны заключается в следующем. По мере прохождения режимов копится сумма  $\Sigma \Delta W_{ik}$ . Пока  $\Sigma \Delta W_{ik} < W_{a_{ip}}$ ,  $\omega_i = 0$  ( $p$  – номер режима в заданной последовательности прохождения «стандартных» режимов, для которого  $\Sigma \Delta W_{ik} \approx W_{a_{ip}}$ ). Началу  $(p+1)$ -го режима соответствует  $Z_i = 0$ ,  $y_i = 0$ ,  $\omega_i = 0$ ,  $W_i = W_{a_{ip}}$ . Далее начинается процесс накопления повреждений, зависящий от последовательности прохождения «стандартных» режимов. Для каждого режима нагружения в данной контролируемой зоне в предположении, что установка нагружается только многократным повторением этого режима, на базе экспериментальной информации, полученной из испытаний лабораторных образцов, и рас-

четной информации интегрированием уравнения (2) может быть получена в координатах  $\omega \sim W$  кривая накопления повреждений типа 1 и 2 (рис.4). Теперь процесс накопления повреждений заключается в выборе кривой, соответствующей данному режиму нагружения, и получении приращений параметров  $\Delta W, \Delta Z, \Delta y, \Delta \omega$ , соответствующих прохождению данного режима. Эта процедура осуществляется в несколько этапов [3]. Пусть после прохождения режима 1 (рис. 3) параметры поврежденности приняли значения  $\omega_1, Wa_1, Wf_1, Z_1, y_1$ . Процесс накопления повреждений, соответствующий режиму 1, определяется кривой 1. Пусть после прохождения режима 1 реализуется режим 2, которому соответствует кривая 2. Для того, чтобы продолжить процесс накопления повреждений следует перейти с кривой 1 на кривую 2 (в координатах  $\omega \sim W$  и  $\omega \sim Z$ ). При этом накопленная поврежденность  $\omega_1$  и обобщенная координата  $y_1$  сохраняются. Переход осуществляется следующим образом. Первоначально вычисляется приращение  $\Delta Wa_{12}$ , соответствующее изменению  $Wa_1$  на  $Wa_2$ :

$$\Delta Wa_{12} = \frac{Wf_1 - W_1}{Wf_1 - Wa_1} (Wa_2 - Wa_1), \quad Wa_{12} = W_1 + \Delta Wa_{12}. \quad (4)$$

Вычисляется приращение  $\Delta Wf_{12}$ , соответствующее изменению  $Wf_1$  на  $Wf_2$ :

$$\Delta Wf_{12} = \frac{Wa_{12} - Wa_2}{Wf_1 - Wa_2} (Wf_2 - Wf_1), \quad Wf_{12} = Wa_{12} + \Delta Wf_{12}. \quad (5)$$

Вычисляется  $\Delta Wy$ , соответствующее изменению  $A_1$  на  $A_2$ , из условия  $A_1 Z_1 = A_2 Z_{20}$ :

$$A_1 = \left[ \frac{(\alpha_1 + 1) \int_0^{Z_1} f_1(\beta_1) Z^{\alpha_1} dZ}{Z_1^{\alpha_1 + 1}} \right]^{\frac{1}{\alpha_1 + 1}} = f_1^{\frac{1}{\alpha_1 + 1}}(\beta_1) = const, \quad (6)$$

$$A_2 = f_1^{\frac{1}{\alpha_2 + 1}}(\beta_2), \quad \Delta Wy = Z_1 \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right).$$

Окончательно вычисляются начальные точки, соответствующие поврежденности  $\omega_1$  на кривой режима 2 в координатах  $\omega \sim W$  и  $\omega \sim Z$ :

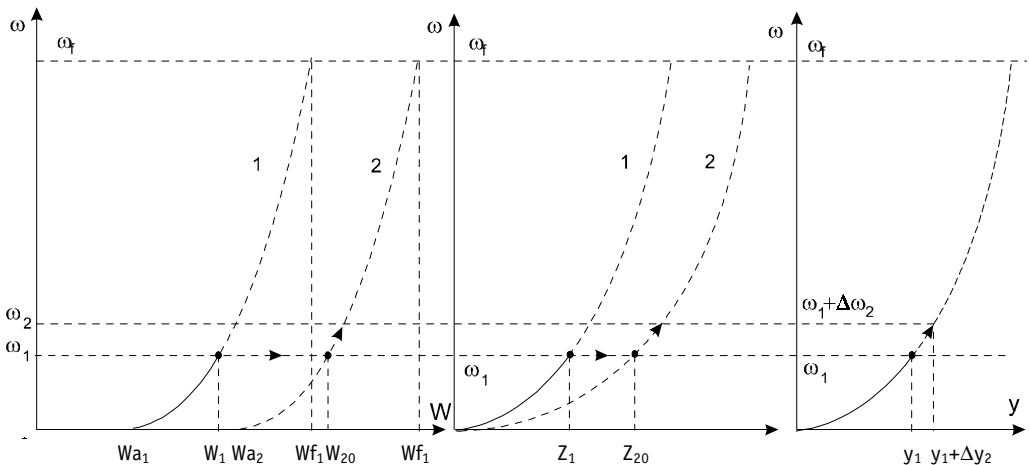


Рис. 3. Иллюстрация к алгоритму интегрирования кинетического уравнения накопления повреждений для каждой зоны

$$W_{20} = W_{f12} + \Delta W_y, \quad Z_{20} = \frac{A_1 Z_1}{A_2} = \frac{W_{20} - W_{a2}}{W_{f2} - W_{a2}}. \quad (7)$$

После этого вычисляется приращение поврежденности  $\Delta\omega_2$ , соответствующее прохождению режима 2. Текущее положение точки на кривой  $\omega_i(y_i)$  характеризует выработанный и остаточный ресурсы материала в данной  $i$ -ой опасной зоне на данный момент эксплуатации установки. Скорость истощения остаточного ресурса ( $\omega_f - \omega_i$ ) зависит от последующего чередования режимов эксплуатации (от последующей истории). Задавая различные будущие режимы эксплуатации, можно прогнозировать истощение остаточного ресурса и оптимизировать, если это необходимо, условия эксплуатации установки.

Для аттестации данного алгоритма оценки ресурса материала в опасных зонах объекта были проведены испытания на малоцикловую усталость гладких цилиндрических образцов и цилиндрических образцов с концентраторами в виде кольцевых выточек в рабочей части образца из стали 08X18P10T при различных блочных режимах нагружения растяжением-сжатием [1]. Результаты экспериментов были сопоставлены с результатами расчетов. Например, были рассчитаны долговечности цилиндрического образца (диаметр рабочей части 29 мм, радиус кольцевой выточки  $R=8.5$  мм, рис. 5) для различных режимов нагружения (заданный закон изменения  $\Delta l/l_0$  на базе  $l_0=30$  мм, рис. 4): режим 1 – постоянная амплитуда  $\Delta l/l_0=0.2\%$ ; режим 2 – постоянная амплитуда  $\Delta l/l_0=0.1\%$ ; режим 3 – постоянная амплитуда  $\Delta l/l_0=0.05\%$ ; режим 4 – блочное нагружение: режим 3 – 2000 циклов, затем режим 2 – 200 циклов, затем режим 1 – до разрушения; режим 5 – блочное нагружение: режим 1 – 200 циклов, режим 2 – 200 циклов, режим 3 – до разрушения; режим 6 – блочное нагружение: режим 3 – 200 циклов, режим 1 – 5 циклов, режим 3 – 200 циклов и т.д. В табл. 1 приведено сопоставление экспериментальных долговечностей и расчетных по предлагаемому алгоритму.

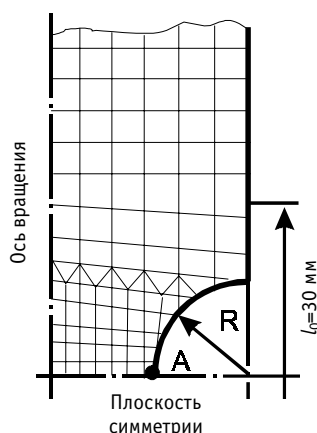


Рис. 4. Лабораторный цилиндрический образец с кольцевой выточкой

Таблица 1

Режим нагружения	$N_f$ (эксперимент)	$N_f$ (прогноз)
1	522-600	520
2	1297-1358	1380
3	3772-4093	3200
4 (3→2→1)	2357	2350
5 (1→2→3)	2335-3285	2310
6 (3→1→3→1..)	2980	2395
Критерий останова	Видимая трещина, падение нагрузки на 30%	$\omega_f \approx 0/8$

### **Литература**

1. Казаков Д.А., Капустин С.А., Коротких Ю.Г. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций. – Н.Новгород: изд-во ННГУ, 1999. – 226 с.
2. Митенков Ф.М., Городов Г.Ф., Коротких Ю.Г., Пичков С.Н. Машиностроение. Энциклопедия. Надежность машин. Т. VI-3. Гл. 4.1./Под общ. ред. В.В. Ключева – М: Машиностроение, 1998. – С. 368-408.
3. Коротких Ю.Г. Методология оперативной оценки выработанного ресурса при неизотермической усталости: Всесоюз. межвуз. сб./Прикладные проблемы прочности и пластичности. Численное моделирование физико-механических процессов. – Н.Новгород, 1991 – С. 126-132.
4. Митенков Ф.М., Коротких Ю.Г., Городов Г.Ф., Пичков С.Н. и др. Определение и обоснование остаточного ресурса машиностроительных объектов при долговременной эксплуатации / Проблемы машиностроения и надежности машин. – М.: РАН. – 1995. – №1. – С. 5-13.

Поступила в редакцию 13.02.2001



## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.311.25:621.039.56

*Program Complex DINA-I for VVER Main Circulation Pumps Diagnostics Based on Technological Monitoring Data Analysis* \ S. T. Leskin, D. G. Zarjugin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 10 pages, 5 illustrations, 4 tables. – References, 3 titles.

The program complex for main circulation pumps (MCP) diagnostics (DINA-1) based on technological monitoring data analysis is developed. The results of the analysis of the fifth block Novovoronezh NPP and the first block Kalinin NPP MCP conditions are presented. The program complex is able to recognize an anomaly of MCP, when measured parameters of pumps do not exceed limits of normal operating.

### УДК 621.311.25:621.039.58

*Recommendations on Increasing Plant Safety Modifications Based on Novovoronezh NPP (unit 5) Level 1 Probabilistic Safety Analysis Results* \ A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 7 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 11 titles.

The paper presents the results of level 1 internal events probabilistic safety analysis (PSA) for unit 5 of Novovoronezh NPP performed within the framework of the international project SWISRUS. The PSA results allow to identify different design features and operational aspects which are the most vulnerable for plant safety. It is discussed the measures on increasing the safety based on PSA results which have been implemented or planned to be implemented at the plant. It is shown that PSA allows to provide quantitative estimation of influence of identified defects on plant safety and to develop the modification program for unit 5.

### УДК 621.311.25:621.039.58

*Methodology and Main Results of Level 2 Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP* \ D. E. Noskov, A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 5 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The paper presents brief methodology of level 2 probabilistic safety analysis (PSA) for internal initial events of Novovoronezh Unit 5 performed within the framework of SWISRUS Project and main results obtained. The Level 2 PSA results provides the possibility to identify main types of containment failure and radioactive releases into environment.

### УДК 621.311.25:621.039.58

*Methodology Aspects and Results of Fire Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP* \ I. B. Kouzmina, A. V. Lioubarski, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 6 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.

The paper presents methodology aspects and preliminary results of internal fire probabilistic safety analysis (PSA) level 1 study for Unit 5 of the Novovoronezh NPP performed under the international project SWISRUS. It is discussed dominant contributors to the risk from internal fires for the researched plant unit and reasons causing estimated values of risk. It is shown that the risk associated with fires could be significant and comparable to the risk of internal initiated events. This indicates necessity of PSA fires for NPP units and accounting the results obtained when developing the safety-related modernization programs.

### УДК 51-72:621.039.53

*Estimation of Lifetime and Residual Lifetime Prognosis of Nuclear Power Plant Constructional Elements* \ Y. G. Korotkih, O. S. Kopjeva; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 8 pages, 4 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The prognosis model and the algorithm of the lifetime evaluation and the residual lifetime prognosis of the Nuclear power plant constructional elements determined its strength reliability is considered. The algorithm based on the methods of the damaged environment mechanics.

**УДК 621.039.53**

*Application of Two Types of Non-Destructive Analysis Instruments for Spot Check of Nuclear Materials \ O.V. Krivosheina; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001.- 7 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.*

Methodology of spot check of nuclear materials with two types (qualitative and quantitative nuclear materials (NM) assay) of non-destructive analysis (NDA) instruments is considered in the article. Combined application of the instruments significantly decreases cost of checks, and allow to resolve the detection problem of different NM quantity theft from accounting item. New method of sampling size calculation by means of diagrams is proposed.

**УДК 51-72:621.039.534**

*Transient Model of Main Condenser for NPP Simulator \ A. A. Kazantsev, V.A. Levchenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. - 11 pages, 2 illustrations. – References, 11 titles.*

In the paper the description of a mathematical model of the two-phase non-equilibrium heat exchanger – main condenser, designed for NPP simulator is briefly considered.

**УДК 621.039.526**

*Comparative Safety Analysis of Fast Reactors, Cooled by Alloys of Liquid Metals \ V.S. Okunev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001.- 8 pages, 4 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.*

The results of the comparative safety analysis of LMFRs cooled by the liquid metals and their alloys are presented. The traditional type layouts with minimal (optimal) void reactivity effect are compared. Three groups of the coolant are considered: alkaline metals and their alloys, heavy metals and their alloys, and alloys of the alkaline with heavy metals.

The most preferable the LMFR cooled by Pb, Bi and Pb-Bi-alloy. The less preferable the layout, cooled by alkaline metals and their alloys. The LMFR, cooled by alloys of the alkaline with heavy metals, are takes the intermediate position by the self-protection level.

**УДК 621.039.56**

*Scattering of Slow Neutrons by Water in Critical States \ Yu.V. Lisichkin, A.G. Novikov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001.- 9 pages, 4 illustrations. – References, 36 titles.*

The analysis of experimental and calculation investigations of slow neutron double-differential scattering cross sections for water, being in the sub- and supercritical states, is presented. Experimental part of this work has been performed with the double time-of flight neutron spectrometers DIN-1M and DIN-2PI, operating on the pulsed reactors IBR-30 and IBR-2 (Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR, Dubna). It has been shown, the experimental results can be described in assumption that water in the nearly critical state is a mixture of two components: gas-like one with the properties, being similar to ideal gas of monomeric water molecules and liquid-like one with the properties not far from low temperature water. From the experimental data dependence of relative concentrations on these two components has been extracted as function of the water common molecular density. Physical interpretation of the results obtained is given on the basis of Ya. I. Frenkel theory of heterophase fluctuations and using thermodynamics of supercritical state and phase transitions elaborated by V. K. Semenchenko. The results obtained are compared with the experimental data of other authors as well.