

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС УКРАИНЫ

Н.И. Власенко, О.Я. Зинченко, В.Н. Колочко

*Государственное предприятие Национальная атомная энергегенерирующая компания
«Энергоатом», г. Киев, Украина;*

Иржи Ждярек

Институт ядерных исследований, г. Ржеж, Чешская Республика;

И.М. Симонов, Ю.П. Гребенюк

Институт поддержки эксплуатации АЭС, г. Киев, Украина

Описана интегральная программа образцов-свидетелей для контроля металлов корпусов-реакторов энергоблоков АЭС. Приводится сравнительный анализ этой программы и стандартной программы ОС, используемой для оценки состояния металлов КР ВВЭР Украины. Показано, что предлагаемая программа более представительна в отношении количества образцов-свидетелей, условий их облучения, мониторинга флюенса нейтронов, спектра быстрых нейтронов, температуры облучения. Выполнение программы предполагается в течение нескольких лет. Анализ результатов осуществляется с помощью разработанной странами, эксплуатирующими ВВЭР, методики «VERLIFE» с применением современных статистических методов обработки данных. Производится сравнение методологии с российскими подходами. Выполнение программы позволит определить сопротивление металлов КР хрупкому разрушению, что даст возможность получить объективные результаты, касающиеся оценки целостности и ресурса КР.

ВВЕДЕНИЕ

Корпус реактора является сложной и дорогой конструкцией, а состояние его металла во многом определяет надежность и безопасность эксплуатации реакторной установки в целом. В процессе эксплуатации под воздействием нейтронного облучения свойства корпусных сталей ухудшаются. Современное состояние науки о радиационном повреждении таково, что не представляется возможным с необходимой достоверностью прогнозировать радиационное охрупчивание материалов корпусов реакторов (КР) сложного состава при длительной эксплуатации. Задача осложняется еще и тем, что химический состав металла корпусов реакторов АЭС различный (критичным является содержание легирующих и примесных элементов), отличаются и способы изготовления КР (используются сварочные материалы разного состава).

Поэтому во всех странах, эксплуатирующих и строящих АЭС с корпусными реакторами, реализуются программы контроля металла КР по образцам-свидетелям (ОС). Результаты испытаний ОС являются основанием для установления фактических свойств материалов КР в условиях эксплуатации АЭС и используются для проверки проектных расчетных характеристик сопротивления хрупкому разрушению и оценки работоспособности КР.

Реализуемая на АЭС Украины программа ОС для ВВЭР-1000 опирается на два основных документа [1,2]. Объективные недостатки стандартной программы ОС, выявленные в 80-е годы, привели к изменению требований по периодичности выгрузок и количеству извлекаемых комплектов ОС, внедре-

нию мероприятий по повышению точности радиационных нагрузок на ОС и материалы КР, установке модернизированных контейнерных сборок с ОС и др. Для новых энергоблоков X2 и P4 реализуется модернизированная программа ОС, согласно которой улучшена номенклатура ОС, контейнерные сборки оснащены современными индикаторами флюенса и температуры, а сами контейнеры – плоские – для повышения равномерности облучения ОС. Однако и для этих программ ОС не все требования действующих НД выполнены. В частности, это касается установки ОС в верхней части выгородки, а не напротив активной зоны, как это требуется [1].

Для устранения выше указанного недостатка будет реализована интегральная программа ОС, что соответствует мировой практике. Так, согласно документу [10CFR50, Appendix H], интегральная программа образцов свидетелей может быть использована для группы реакторов с подобными проектами и аналогичными эксплуатационными условиями. Образцы-свидетели из каждого реактора в данной программе могут быть облучены в одном или нескольких реакторах одного типа, а результаты испытаний распространены на все корпуса реакторов. В рамках интегральной программы [3] на АЭС «Темелин» (Чехия) устанавливаются контейнеры, содержащие ОС, изготовленные из архивных материалов X2, P3,4,36 и, для сравнения, архивные материалы 3 блока Калининской АЭС. В дальнейшем возможна загрузка архивных материалов с других АЭС Украины (май 2005 г.). Плоские контейнеры большой вместимости расположены на внутренней стороне стен-

ки КР, напротив активной зоны. Такое расположение ОС соответствует требованиям МАГАТЭ (3), в наибольшей степени моделирует условия облучения стенки КР и дает возможность улучшить представительность данных о состоянии металла КР.

УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Стандартная программа ОС ввиду большого разброса по флюенсу в партии образцов часто не дает возможности корректно определить, в частности, критическую температуру охрупчивания. Поэтому одной из решаемых в интегральной программе ОС задач является сочетание облучение ОС металла корпусов реакторов украинских АЭС в реакторе АЭС «Темелин» с надежным определением условий облучения:

- температура облучения не превышает температуру внутренней стенки КР более чем на 10°C;
- энергетический спектр нейтронов принципиально не отличается от спектра нейтронов, попадающих на внутреннюю стенку КР;
- коэффициент ускорения (соотношение между потоками быстрых нейтронов в ОС и на внутренней стенке КР) составляет 1...3;
- флюенс быстрых нейтронов, попадающих на образцы одной серии из одного материала для испытания одного механического свойства, не будет отличаться более чем на 15 %.

Также осуществляется мониторинг температуры с использованием плавких датчиков в соответствии с принятыми в мире стандартами, флюенса на ОС с помощью достаточного количества активационных мониторов, а также мониторинг флюенса нейтронов на стенку корпуса. Измерения флюенса будут проводиться на наружной поверхности КР.

МАТЕРИАЛЫ

Будут облучаться архивные материалы, характеризующие критические области КР, т.е. цилиндрическую обечайку и примыкающий сварной шов. В соответствии с проектными требованиями ОКБ Гидропресс и согласно западным стандартам (ASTM E 185, КТА 3203) выбираются такие материалы, которые в конце проектного срока службы будут иметь наибольшую температуру перехода. Поэтому применяемые в программе образцы вырезаются из материала КР, расположенного перед активной зоной и представляющие КР конкретного блока с точки зрения предполагаемых радиационных повреждений во время его эксплуатации. Металлы швов представляют собой вырезки из сварного шва № 3 КР, который наиболее подвержен радиационным повреждениям. Материалы ОС должны характеризоваться тождественными с паспортными данными механическими свойствами и химическим составом. Химический состав помещенных на АЭС «Темелин» блок 2 архивных материалов украинских энергоблоков приводятся в таблице, где ОМ – основной металл КР, МШ – материалы шва.

По рекомендации МАГАТЭ и ASTM для сравнения с существующей базой данных МАГАТЭ по охрупчиванию в тех же условиях облучается референсный металл ASTM A533-B (JRG). Это позволит повысить достоверность данных по охрупчиванию, в этом случае материал МАГАТЭ служит подобием монитора условий облучения.

Также включены в программу материалы аустенитной наплавки (оба слоя) КР для получения данных, необходимых для расчета сопротивления КР термошоку.

Химический состав архивных материалов украинских АЭС

| АЭС | Блок | Материал | | Содержание элементов, % | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------------|-------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | | | C V | Mn Ti | Si Al | S W | P Cu | Cr As | Ni Sb | Co Sn | Mo P+Sn+Sb |
| РАЭС | 3 | ОМ | 15X2НМФА | 0,17 0,10 | 0,42 - | 0,28 - | 0,012 - | 0,009 0,04 | 1,83 0,001 | 1,18 0,00012 | 0,003 0,002 | 0,52 0,011 |
| | | МШ | Св 12X2Н2ММА | 0,06 0,01 | 0,80 - | 0,34 - | 0,007 0,02 | 0,007 0,03 | 1,78 - | 1,57 - | - - | 0,61 - |
| | 4 | ОМ | 15X2НМФА | 0,15 0,12 | 0,46 - | 0,22 0,002 | 0,012 - | 0,008 0,05 | 1,94 0,004 | 1,34 0,0014 | 0,004 0,0011 | 0,53 0,0105 |
| | | МШ | Св 12X2Н2ММА | 0,06 0,01 | 0,73 - | 0,39 - | 0,009 0,03 | 0,006 0,05 | 1,85 - | 1,59 - | - - | 0,60 - |
| ХАЭС | 2 | ОМ | 15X2НМФА | 0,16 0,11 | 0,47 - | 0,22 0,004 | 0,012 - | 0,010 0,09 | 2,16 0,004 | 1,20 0,001 | 0,008 0,003 | 0,52 0,014 |
| | | МШ | Св 12X2Н2ММА | 0,07 0,02 | 0,83 - | 0,34 - | 0,008 0,02 | 0,007 0,04 | 1,97 - | 1,40 - | - - | 0,61 - |
| ЗАЭС | 6 | ОМ | 15X2НМФА | 0,17 0,09 | 0,46 - | 0,23 0,002 | 0,012 - | 0,010 0,10 | 2,05 0,003 | 1,26 0,002 | 0,006 0,0032 | 0,52 0,015 |
| | | МШ | Св 12X2Н2ММА | 0,06 0,01 | 0,81 - | 0,35 - | 0,008 - | 0,006 0,04 | 1,88 - | 1,43 - | - - | 0,61 - |

ОМ – основной материал – 15X2НМФА
МШ – материал шва 12X2Н2ММА

Одновременно из этого же металла изготавливаются образцы для испытаний типа Шарпи для испытаний на ударный изгиб и образцы типа СОД на раз-

вите трещины. При изготовлении образцов применяются технология изготовления и температурные режимы такие же, как и для шва № 3 образцов типа

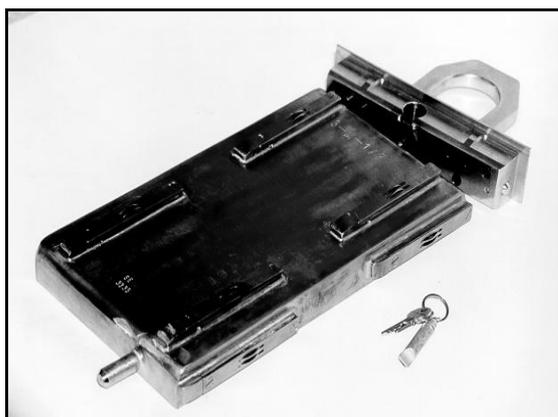
Шарпи, на статическую вязкость разрушения и на растяжение основного металла и металла шва.

Предполагается проведение испытаний на ударную вязкость образцов типа Шарпи с V-надрезом (не менее 12 образцов для одной серии) из основного металла, металла швов и референтного металла; на статическую вязкость, разрушения основного металла, металла шва и металлов обоих слоев аустенитной наплавки; испытания на растяжение основного металла, металла шва и металлов обоих слоев аустенитной наплавки. Также предполагается облучение полномасштабных (или их частей) образцов для специальных типов испытаний с их последующей реконструкцией после облучения с помощью электронно-лучевой сварки.

КОНТЕЙНЕРЫ

С учетом коэффициента ускорения нейтронного потока на ОС в каждом контейнере закладываются все группы ОС. В каждом контейнере будут расположены мониторы флюенса нейтронов и температуры.

Всего на 2 блоке АЭС «Темелин» установлено 6 контейнеров с образцами для определения радиационных повреждений и, кроме того, еще два контей-



Размещение образцов-свидетелей из архивного материала украинских АЭС в первом слое контейне-

ра для определения возможности восстановительного отжига и мониторингования повторного охрупчивания после отжига. Они располагаются на внутренней стенке КР в районе активной зоны (ось контейнера находится на расстоянии 890 мм от оси шва №4 в направлении активной зоны (вниз). Контейнеры фиксируются в специальных держателях (рис. 1), что дает возможность вынимать и вкладывать дополнительно новые образцы.

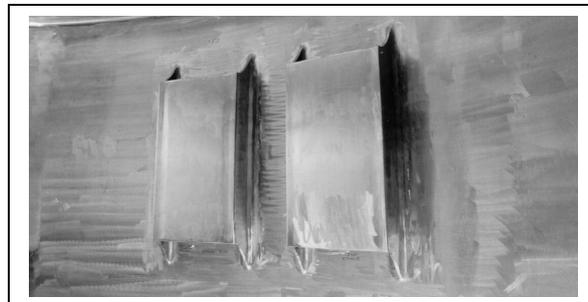


Рис. 1. Фотография контейнерной сборки до установки на КР

На рис. 2 приведена фотография размещения двух контейнеров на стенке КР.

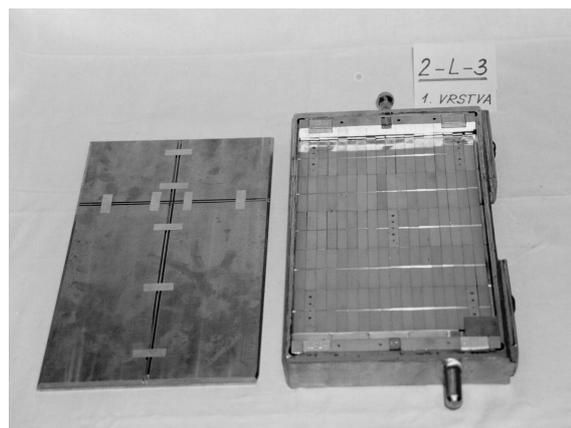


Рис. 2. Фотография размещения двух контейнеров на стенке

ра, установленного на АЭС «Темелин», показано на рис. 3.

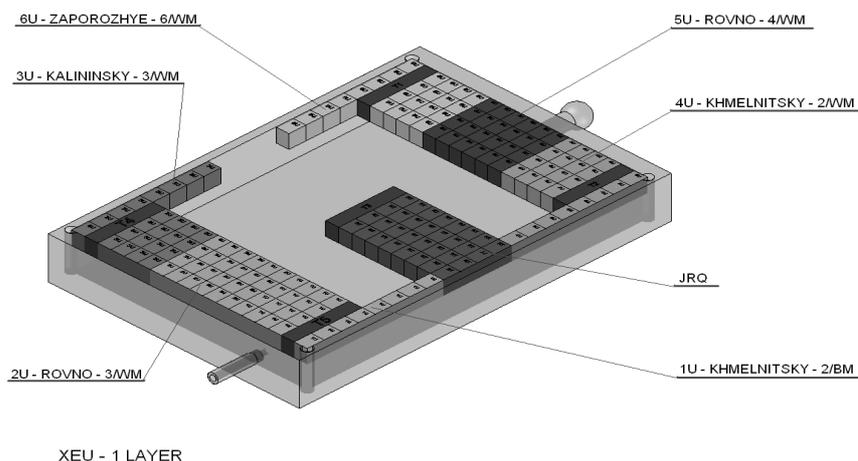


Рис. 3. Размещение образцов-свидетелей из архивного материала КР украинских АЭС в контейнере, установленном на АЭС «Темелин»

ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обработка результатов испытаний и измерений будет проводиться на основе соответствующих стандартов для испытаний и с помощью методов статистического анализа. Обработка результатов измерений активности мониторов нейтронного потока проводится по соответствующим стандартам, расчетам нейтронных потоков и энергетических спектров и измерений флюенса нейтронов на наружной поверхности КР. Обработка измерений мониторов температуры проводится также с помощью соответствующих стандартов и сравнивается с данными измерений температуры КР и охлаждающей воды на входе реактора.

Изменения механических свойств (например, сдвиг T_k) сравниваются с существующими трендовыми кривыми по нормам или обрабатываются методами статистического анализа до новых специфических трендовых кривых. Определяются трендовые кривые для отдельных материалов по толщине стенки КР по результатам расчета нейтронного потока и спектра нейтронов по толщине стенки.

Результаты реализации программы ОС являются основной информацией для определения сопротивления корпусов реакторов хрупкому разрушению и определению их ресурса. Для этой цели будет использована методика «VERLIFE», разработанная странами, эксплуатирующими ВВЭР на основе гармонизированных для PWR российских правил и норм, использованных в проекте и при изготовлении ВВЭР.

Для выполнения достоверной оценки целостности и ресурсных характеристик КР будет проведен комплекс расчетно-экспериментальных работ, включая определение параметров эксплуатации и свойств материалов, оценку исходного состояния материалов КР на основе Паспорта КР, расчеты режимов термоудара и его влияние на целостность корпуса, определение размеров и формы дефектов проведения расчетов сопротивления КР при выбранных режимах термоудара, определение флюенса нейтронов на стенке в глубине, тренда изменений температур-

ной зависимости, максимально допустимого повреждения (охрупчивания материалов КР, проведение расчета вероятности разрушения КР в режимах термоудара для оценки вероятности плавления активной зоны).

Выполнение работ в рамках реализации интегральной программы ОС позволит получить дополнительную информацию о свойствах металла корпусов реакторов АЭС Украины. В комплексе с результатами программ ОС, реализуемых на АЭС Украины, это позволит получить более достоверные данные о текущем и прогнозируемом состоянии металла КР и провести оценку его остаточного ресурса.

Результаты программы ОС являются основной информацией для определения сопротивления корпусов реакторов хрупкому разрушению и определению их ресурса. Для этой цели будет использована методика «VERLIFE», так как она разработана странами, эксплуатирующими ВВЭР на основе гармонизированных для PWR российских правил и норм, использованных в проекте и при изготовлении ВВЭР. Для проведения такой оценки проводится ряд расчетных и экспериментальных работ, таких как сравнение подходов и документов ЕС и России, определение параметров эксплуатации и свойств металла, определение размеров и формы дефектов и проведение соответствующих расчетов, определение тренда изменений температурной зависимости механики разрушения и т.д.

Выполнение комплекса работ позволит получить реальные данные о состоянии металлов корпуса реактора и провести оценку его остаточного ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-002-86.
2. Правила и устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-008-89.
3. Техническая спецификация. Интегральная программа образцов-свидетелей для энергоблоков

ІНТЕГРАЛЬНА ПРОГРАМА ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ ДЛЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС УКРАЇНИ

*Н.І. Власенко, О.Я. Зінченко, В.Н. Колочко, Іржі Здарек,
І.М. Симонов, Ю.П. Гребенюк*

Описана інтегральна програма зразків-свідків (ЗС) для контролю металів корпусів реакторів (КР) енергоблоків АЕС України. Дається порівняльний аналіз цієї програми відносно стандартної програми ЗС, яка використовується для оцінки стану металу КР ВВЕР. Показано, що запропонована програма більш представницька у відношенні кількості ЗС, коректності умов їх опромінення, моніторингу флюенса нейтронів, спектру швидких нейтронів та температури опромінення. Програма розрахована на виконання на протязі кількох років. Обробка результатів здійснюється за допомогою розробленою країнами, що експлуатують ВВЕР, методикою «VERLIFE», в якій використовуються сучасні статистичні методи обробки даних. Виконується порівняння методології з російськими підходами. Виконання програми дозволить визначити опір металів КР крихкому руйнуванню, що дасть можливість отримати об'єктивні результати щодо оцінки цілісності та ресурсу КР.

INTEGRAL PROGRAM OF SURVEILLANCE SAMPLES FOR POWER UNITS OF UKRAINIAN NPPS

N.I. Vlasenko, O.Ya. Zinchenko, V.N. Kolochko, Yrzhy Zdarek, I.M. Simonov, Yu.P. Grebenyuk

The integrated Surveillance Samples Programme for nuclear units of Ukraine RPV metals control is described. The comparative analysis of the Programme and Standard Surveillance Programme which used for the WWER RPV metal assessment. It is shown the proposed Programme is more representative in relation to the samples quantity conditions of its irradiance the neutron fluence monitoring the irradiance temperature. The Programme implementation is expected during some years. The obtained results processing is carried out using approved by IAEA approach VERLIFE using statistical methods of the date processing /The approach is compared with the Russians ones.