

В. Н. Васильченко, В. В. Инюшев, К. В. Кустов

ГП «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования»,
просп. Героев Сталинграда, 64/56, Киев, 04213, Украина

Аттестация системы вихретокового контроля теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов «CASTOR»

Ключевые слова:

неразрушающий контроль,
аттестация систем
эксплуатационного
неразрушающего контроля,
ENIQ,
атомная электростанция,
водо-водяной
энергетический реактор.

Рассмотрен аттестационный процесс в атомной энергетике Украины на примере аттестации системы вихретокового контроля теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов «CASTOR» ОП «Южно-Украинская АЭС». Определены задачи аттестационного процесса и пути их реализации. В ходе выполнения работ было подтверждено, что одним из ключевых условий проведения достоверной аттестации технологии неразрушающего контроля является применение специализированных тест-образцов, имитирующих объект контроля с заложенными аттестационными дефектами. Проведение практических экспериментов на тест-образцах позволило разработать проекты методик контроля и технические обоснования, в которых были обоснованы выбор параметров контроля и их допустимые диапазоны. Опыт, полученный при аттестации системы неразрушающего контроля парогенераторов, может быть использован на всех этапах проведения аттестации систем неразрушающего контроля металла на атомных электростанциях с ректорами водо-водяного типа.

Введение

Проведение эксплуатационного неразрушающего контроля металла основного оборудования реакторных установок, критичного для безопасности, в частности теплообменных труб парогенераторов, является одним из важнейших условий обеспечения безопасности атомных электростанций (АЭС). Для проведения такого контроля используются специальные роботизированные системы, представляющие собой сложный комплекс «человек — машина», включая дистанционно управляемые манипуляторы и аппаратуру для сбора и анализа данных.

Согласно действующему в атомной энергетике Украины стандарту НП 306.2.113–2005 [1] системы эксплуатационного неразрушающего контроля (СЭНК) должны проходить аттестацию.

Под «аттестацией» согласно [1] подразумевается выполнение комплекса мероприятий, необходимых для надежного подтверждения возможности применения оборудования, методики контроля и проверки уровня подготовки, профессиональных знаний и практических навыков персонала для достижения заданной вероятности и достоверности выявления несплошностей (дефектов) металла в реальных условиях.

Аттестацию согласно [1] проводит независимый аттестационный орган, создаваемый профильным министерством и согласовываемый Государственной инспекцией по ядерному регулированию Украины (ГИЯРУ). Начиная с 2017 г. функции органа по аттестации СЭНК оборудования и трубопроводов АЭС возложены на государственное предприятие «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования»

© В. Н. Васильченко, В. В. Инюшев, К. В. Кустов, 2019

(ГП «ГНИЦ СКАР»), которое является базовой организацией Минэнерго по научно-техническим проблемам ядерно-энергетического комплекса.

Цели аттестации системы «CASTOR»

В связи с приобретением Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС) в 2017 г. новой системы вихретокового контроля (ВТК) теплообменных труб (ТОТ) и перемычек коллекторов парогенераторов «CASTOR» встал вопрос об аттестации данной системы. Для этого было необходимо определиться с требованиями к системе и целями контроля и аттестации. Все эти задачи были детализированы и описаны в технической спецификации, которая была разработана компанией-поставщиком INETEC (Хорватия) совместно с ЮУАЭС и согласована с Госатомрегулирования Украины.

Техническая спецификация включала в себя описание объектов и объема контроля, цели контроля (характеристики и расположение несплошностей металла), требования к чувствительности и точности контроля.

Теплообменные трубы. Согласно технической спецификации система ВТК должна быть способна обнаруживать и классифицировать по типам следующие дефекты ТОТ парогенераторов ПГВ-1000:

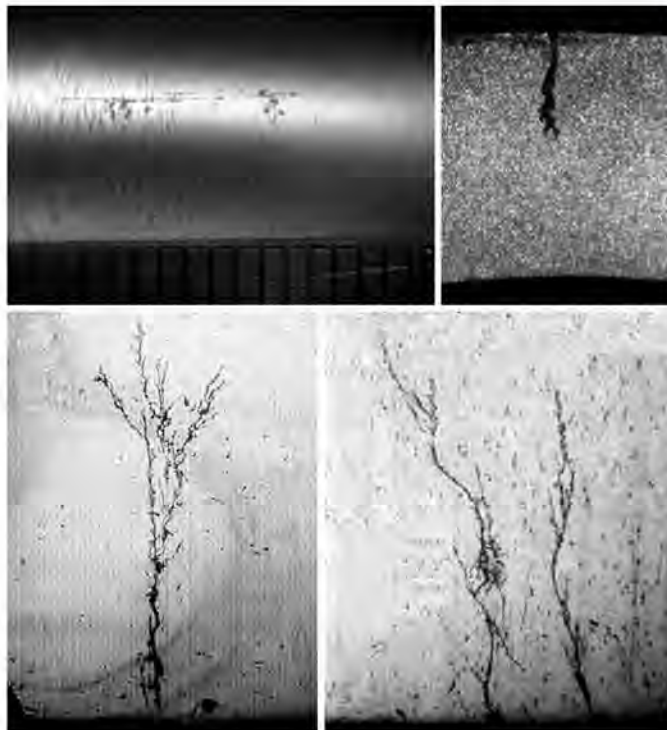


Рис. 1. Коррозионное растрескивание под напряжением ТОТ

коррозионные повреждения типа «нехватка металла»;

трещины;

утонение стенки ТОТ в результате коррозионно-механического износа под антивибрационными и дистанционирующими решетками (фреттинг-коррозия);

магнитная аномалия;

удар;

электропроводящие шламовые отложения на ТОТ.

На рис. 1–3 представлены изображения типичных дефектов ТОТ парогенераторов ПГВ-1000.

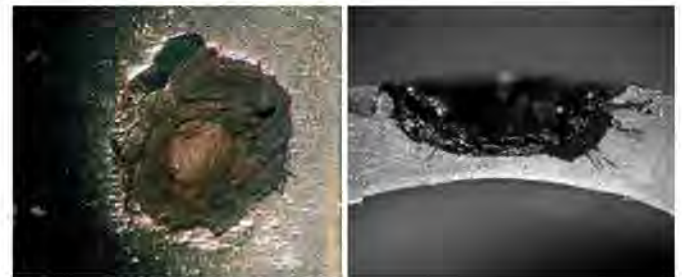


Рис. 2. Питтинговая коррозия ТОТ



Рис. 3. Пятна коррозии на поверхности ТОТ

Чувствительность контроля должна обеспечивать выявление в ТОТ парогенератора несплошности с утонением стенки 20 % и более, с вероятностью не менее указанной ниже. При этом средняя погрешность определения максимальной глубины несплошности не должна превышать $\pm 15\%$.

Параметры выявляемых несплошностей и вероятность их обнаружения

Глубина несплошности относительно полной толщины стенки ТОТ, %	Вероятность обнаружения
20	0,2
40	0,8
75	0,9
100	0,95

Погрешность определения местоположения дефекта по длине ТОТ была установлена в пределах ± 10 мм с привязкой к реперным точкам (край коллектора, дистанционирующая или антивибрационная решетка).

Металл перемычек коллекторов парогенераторов ПГВ-1000. Для коллекторов парогенераторов ПГВ-1000, согласно документу Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) WWER-1000 Steam Generator Integrity, IAEA-EBP-WWER-7 [3], существует вероятность растрескивания с образованием сателлитных, планетарных или магистральных трещин (рис. 4).

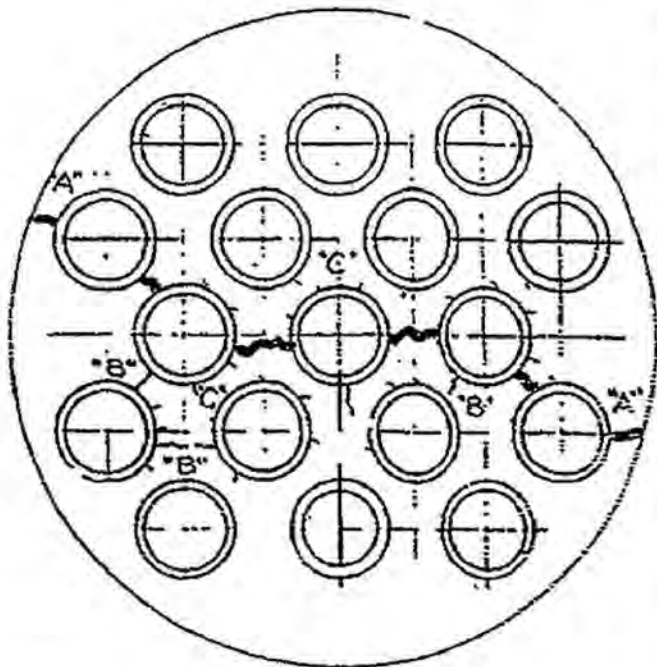


Рис. 4. Схематическое представление типичных трещин коллектора: магистральные (А), планетарные (В) и сателлитные (С) трещины

На основании изучения вырезанных парогенераторов были установлены следующие требования к ВТК металла перемычек коллекторов с применением вращающегося вихревого зонда:

система «CASTOR» должна обеспечивать выявление трещин длиной более 15 мм и глубиной более 1 мм;

погрешность определения длины дефекта не должна превышать ± 5 мм;

погрешность определения местоположения дефекта не должна превышать ± 5 мм в аксиальном направлении.

Проектирование и изготовление тест-образцов

Одним из ключевых условий проведения достоверной аттестации технологии неразрушающего контроля является применение специализированных тест-образцов, имитирующих объект контроля с заложенными аттестационными дефектами.

Для решения этой задачи в соответствии с требованиями технической спецификации были разработаны технические требования к аттестационным тест-образцам и технические обоснования, в которых были описаны и обоснованы материалы тест-образцов, параметры и назначение каждой закладываемой несплошности. После согласования с Аттестационным органом чертежей и технических требований аттестационные тест-образцы были изготовлены и паспортизованы компанией INETEC. При этом изготовление и паспортизация закрытых тест-образцов выполнялись с соблюдением всех условий процедуры обеспечения конфиденциальности на основании подписанного представителями INETEC соглашения с аттестационным органом.

Тест-образец для аттестации ВТК ТОТ ПГВ-1000М (рис. 5) имитирует фрагмент реальной ТОТ парогенератора. При этом выполняются следующие требования:

геометрия тест-образца соответствует геометрии ТОТ парогенераторов ПГВ-1000М;

электромагнитные свойства материала тест-образца соответствуют электромагнитным свойствам стали 08X18H10T;

количество и параметры заложенных несплошностей достаточны для подтверждения требуемой вероятности обнаружения и точности измерения;

качество поверхности тест-образца соответствует качеству поверхности ТОТ парогенераторов ПГВ-1000М.

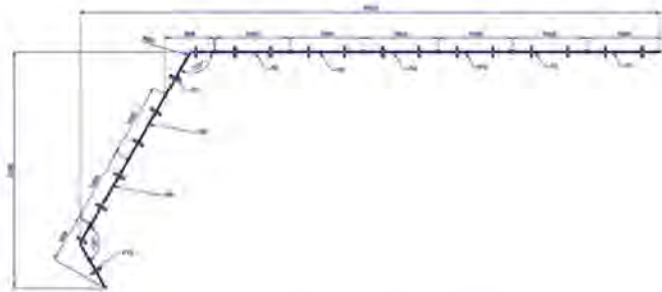


Рис. 5. Эскиз открытого тест-образца для аттестации ВТК ТОТ парогенератора

Тест-образец для аттестации ВТК металла перемычек коллектора (рис. 6) был изготовлен из фрагмента, вырезанного из реального коллектора парогенератора ПГВ-1000М, поэтому основной задачей являлось внедрение требуемых несплошностей.

Порядок аттестации системы «CASTOR»

Аттестация системы «CASTOR» представляла собой многоступенчатый процесс, в который были вовлечены все стороны, заинтересованные в подтверждении надежности, достоверности и точности технологии неразрушающего контроля. На рис. 7 представлена схема аттестационного процесса согласно [1].

Эксплуатирующая организация ЮУАЭС направила заявку на аттестацию и техническую спецификацию

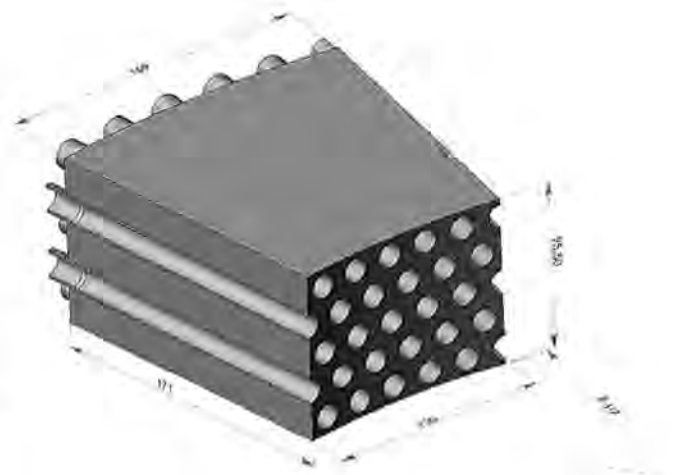


Рис. 6. Эскиз открытого тест-образца для аттестации ВТК металла перемычек коллектора ПГВ-1000

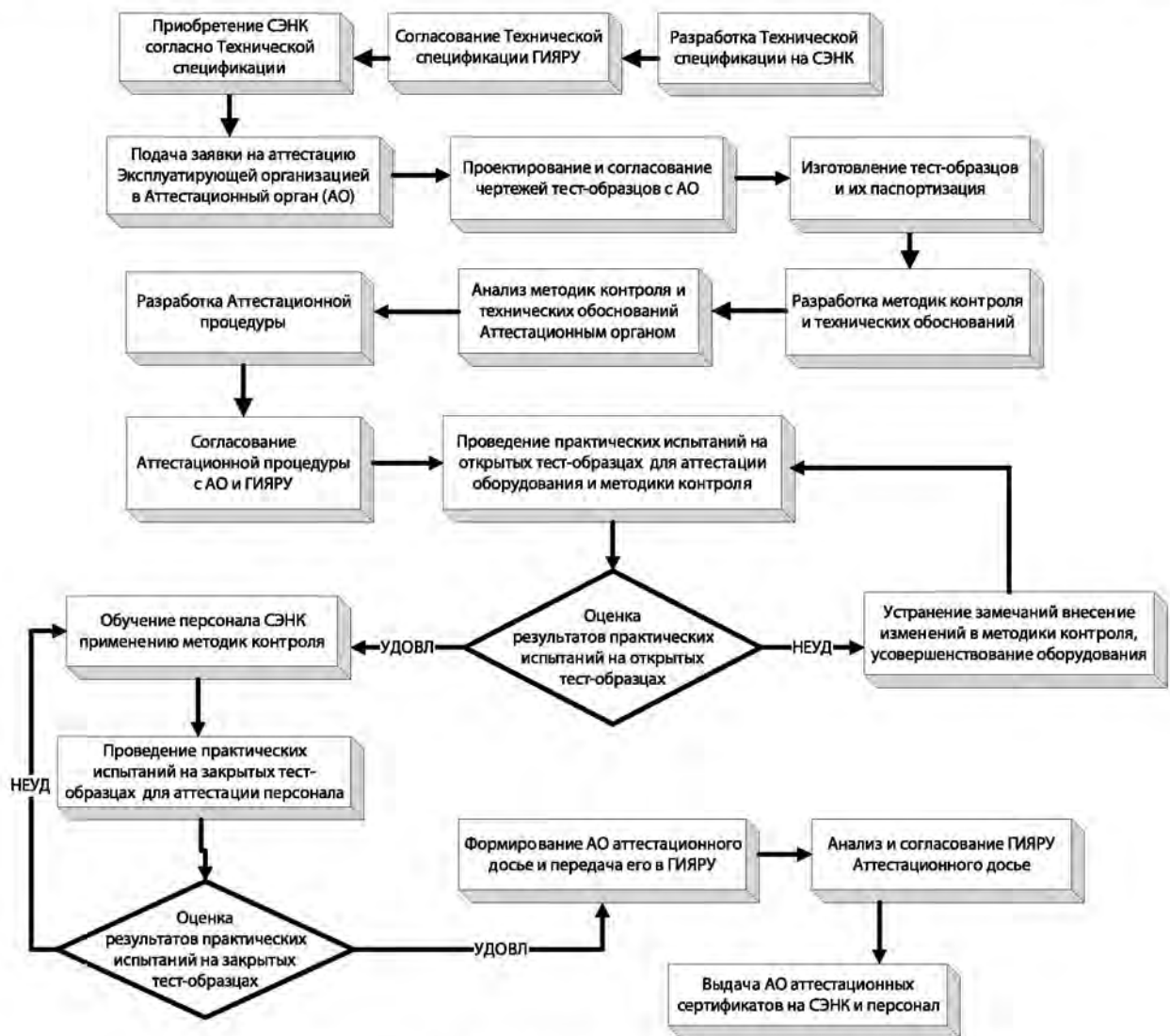


Рис. 7. Схема аттестационного процесса

кацию в аттестационный орган. На основании этой заявки были разработаны план и график аттестации.

Проведение практических экспериментов на тест-образцах позволило разработать проекты методик контроля и технические обоснования, в которых были обоснованы выбор параметров контроля и их допустимые диапазоны. После рецензирования и исправления замечаний эти документы были предварительно согласованы с аттестованным органом для дальнейшего их использования в практических испытаниях. Проведение аттестации регламентировалось аттестационной процедурой, согласованной с Госатомрегулирования Украины.

В соответствии с аттестационной процедурой был проведен первый этап практических испытаний — аттестация оборудования и методик контроля. Испытания проводились под руководством комиссии аттестационного органа на открытых аттестационных тест-образцах с целью подтвердить способность системы контроля обнаруживать и измерять дефекты в пределах заявленной погрешности. При этом специалисты, проводящие контроль тест-образцов, имели информацию о расположении и параметрах дефектов. По итогам анализа аттестационный орган признал результаты практических испытаний успешными и согласовал методики контроля.

После проведения специализированного обучения был проведен второй этап практических испытаний — аттестация персонала в составе системы «CASTOR». Целью данного этапа была оценка способности каждого специалиста в составе системы «CASTOR» проводить контроль в соответствии с аттестованной методикой контроля.

После проверки наличия необходимых сертификатов по основной аттестации в атомной энергетике Украины каждый аттестуемый сдал письменный экзамен в зависимости от уровня аттестации (сбор/анализ данных контроля). Практический экзамен проходил на закрытых тест-образцах, т. е. аттестуемый в соответствии с процедурой обеспечения конфиденциальности не имел доступа к информации о параметрах и количестве заложенных несплошностей в тест-образце. При проведении аттестации представители аттестационного органа следили, чтобы кандидат на аттестацию выполнял сбор и анализ данных в строгом соответствии с аттестованной методикой контроля.

По итогам практических испытаний системы «CASTOR» аттестационный орган подготовил аттестационный отчет (протокол), в котором были детально описаны условия и процесс проведения, состав участников и результаты.

На основании документов, полученных и разработанных в ходе аттестации, аттестационный орган подготовил аттестационное досье в соответствии с [1] и направил его на согласование в Госатомрегулирования Украины. После проведения экспертизы в Государственном научно-техническом центре ядерной и радиационной безопасности Госатомрегулирования согласовало аттестационное досье.

На основании этого аттестационный орган выдал аттестационный сертификат на систему «CASTOR» и персональные аттестационные сертификаты каждому специалисту, успешно прошедшему испытания.

Выводы

В ходе аттестации были подтверждены способность оборудования и технологии ВТК с применением системы «CASTOR» обнаруживать и измерять с требуемыми вероятностью и погрешностью несплошности в металле ТОГ и коллекторов парогенераторов ПГВ-1000.

Персонал ЮУАЭС в составе системы «CASTOR» продемонстрировал знания и навыки, необходимые для выполнения надежного и достоверного ВТК металла ТОГ и коллекторов парогенераторов ПГВ-1000.

Опыт, полученный при аттестации системы неразрушающего контроля парогенераторов, может быть использован на всех этапах проведения аттестации систем неразрушающего контроля металла на АЭС с ректорами типа ВВЭР.

Список использованной литературы

1. НП 306.2.113–2005 Вимоги до проведення атестації систем експлуатаційного неруйнівного контролю обладнання та трубопроводів АЕС [затверджені Наказом Держатомрегулювання від 10.10.2005 № 115]. — Київ, 2005. — 13 с.
2. Methodology for qualification of in-service inspection systems for WWER nuclear power plants. IAEA-EBP-WWER-11. — Vienna : IAEA, 1998. — 23 p.
3. WWER-1000 Steam Generator Integrity, IAEA-EBP-WWER-7. — Vienna : IAEA, 1997-29 p.
4. СОУ НАЕК 131:2016 Технічне обслуговування та ремонт. Вимоги до атестації персоналу в сфері контролю металу. — Київ : ДП «НАЕК «Енергоатом», 2016. — 27 с.
5. ПСП ДНІЦ СКАР 1.11-2:2017 Положення про атестаційний орган з атестації систем експлуатаційного неруйнівного контролю обладнання та трубопроводів АЕС — Київ : ДНІЦ СКАР, 2017. — 15 с.

6. ISO 9712:2012 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel. — 2012. — 31 p.
7. European Methodology for Qualification of Non-Destructive Testing. Third Issue. ENIQ Report no. 31. EUR 22906 EN. — European Commission, 2007. — 44 p.
8. Техническая спецификация на поставку системы вихретокового контроля основного металла теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов ПГВ-1000М ОП «Южно-Украинская АЭС». — 2017. — 67 с.
9. Аттестационная процедура. Проведение аттестации системы вихретокового контроля металла теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов ПГВ-1000М «CASTOR». — 2018. — 27 с.
10. МТ. 0.0019.0014 Методика вихретокового контроля металла теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов ПГВ-1000М с использованием системы вихретокового контроля металла теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов ПГВ-1000М «CASTOR» — 2018. — 114 с.

В. М. Васильченко, В. В. Інюшев, К. В. Кустов

*ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування»,
просп. Героїв Сталінграда, 64/56, Київ, 04213, Україна*

Аттестація системи вихреструмного контролю теплообмінних труб та перетинок колекторів парогенераторів «CASTOR»

Розглянуто аттестаційний процес у атомній енергетиці України на прикладі аттестації системи вихреструмного контролю теплообмінних труб та перетинок колекторів парогенераторів «CASTOR» ВП «Южно-Українська АЕС». Визначено завдання аттестаційного процесу та шляхи їхньої реалізації. Під час виконання робіт було підтверджено, що однією з ключових умов проведення достовірної аттестації технології неруйнівного контролю є застосування спеціалізованих тест-зразків, що імітують об'єкт контролю з закладеними аттестаційними дефектами. Проведення практичних експериментів на тест-зразках дозволило розробити проекти методик контролю і технічні обґрунтування, в яких було обґрунтовано вибір параметрів контролю і їхні допустимі діапазони. Досвід, отриманий під час аттестації системи неруйнівного контролю парогенераторів, може бути використаний

на всіх етапах проведення аттестації систем неруйнівного контролю металу на атомних електростанціях із реакторами водо-водяного типу.

Ключові слова: неруйнівний контроль, аттестація систем експлуатаційного неруйнівного контролю, ENIQ, атомна електростанція, водо-водяний енергетичний реактор.

V. N. Vasilchenko, V. V. Inyushev, K. V. Kustov

SE “State Scientific Engineering Center for Control System and Emergency Response”, 64/56, Heroiv Stalinhrada ave, Kyiv, 04213, Ukraine

Qualification of the South Ukraine NPP System “CASTOR” for the Eddy Current Testing of Steam Generator Heat-exchanging Tubes and Collector Ligaments

The qualification process in the nuclear industry of Ukraine with an example of qualification of the South Ukraine (SU) NPP system “CASTOR” for the eddy current testing of steam generator heat-exchanging tubes and collector ligaments is analysed in the article. The tasks of the qualification process are determined as well as the ways of their implementation.

It was confirmed, within the work, that a key for the reliable NDT qualification is the using of specialized test-blocks with embedded qualification defects that simulate the inspection object. Practical experiments on test-blocks allowed to develop inspection procedures and technical justifications in which the inspection parameters and acceptable deviations were defined and justified.

Qualification of the “CASTOR” system was a multi-stage process in which all parties interested in confirming the reliability and accuracy of non-destructive testing technology were involved.

The personnel qualification was performed on the blind test-blocks in accordance with the procedure for ensuring confidentiality i. e. that candidates did not have access to information on the parameters and the number of embedded defects in the test-block.

During the qualification, the ability of eddy current testing equipment and technology of the “CASTOR” system to detect and measure discontinuity in the metal of heat transfer pipes and collectors of PGV-1000 steam generators with the required probability and error was confirmed.

The personnel of the SU NPP as part of the “CASTOR” system demonstrated the knowledge and skills necessary to perform reliable eddy current inspection of the heat-exchange tubes and collectors of PGV-1000 steam generators.

The experience gained during qualification of non-destructive testing system for steam generators can be used at all stages of qualification of non-destructive testing systems at nuclear power plants with VVER-type reactors.

Keywords: in-service inspection systems qualification, ENIQ, nuclear power plant, non-destructive testing, water-water energetic reactor.

References

1. NP 306.2.113–2005. *Requirements for qualification of NDT systems for in-service inspection of NPP equipment and pipelines*. Kyiv, 2005, 13 p. (in Ukr.)
2. IAEA-EBP-WWER-11. *Methodology for qualification of in-service inspection systems for WWER nuclear power plants*. Vienna: IAEA, 1998, 23 p.
3. IAEA-EBP-WWER-7. *WWER-1000 Steam Generator Integrity*. Vienna: IAEA, 1997, 29 p.
4. SOU NAEK 131:2016. *Maintenance and repair. Requirements for certification of non-destructive testing personnel*. Kyiv: NNEGС “Energoatom”, 2016, 27 p. (in Ukr.)
5. PSP DNIC SKAR 1.11-2:2017. *Regulation on the qualification body for qualification of NDT systems for in-service inspection of NPP equipment and pipelines*. Kyiv: SSEC CSER, 2017, 15 p. (in Ukr.)
6. ISO 9712:2012. *Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel*. 2012, 31 p.
7. *European Methodology for Qualification of Non-Destructive Testing*. Third Issue. ENIQ Report no. 31. EUR 22906 EN. European Commission, 2007, 44 p.
8. *Technical specification for the supply of South-Ukraine NPP eddy current testing system for the inspection of the base metal of heat exchange tubes and collector ligaments of PGV-1000M*. 2017, 67 p. (in Russ.)
9. *Qualification of eddy current testing system “CASTOR” for the inspection of the base metal of heat exchange tubes and collector ligaments of PGV-1000M*. Qualification procedure. 2018, 27 p. (in Russ.)
10. MT.0.0019.0014. *Procedure of eddy current testing of the base metal of heat exchange tubes and collector ligaments of PGV-1000M using eddy current testing system “CASTOR”*. 2018, 114 p. (in Russ.)

Надійшла 03.10.2019

Received 03.10.2019