

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ЭНЕРГБЛОКЕ № 1 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

О.В. Уразов

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
1396071, Воронежская обл., г. Нововоронеж. НВАЭС, промышленная зона Южная, 1*



Обсуждается проведение предэксплуатационного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2. Рассмотрены особенности проведения контроля сварных соединений корпуса реактора со стороны антикоррозионной наплавки и теплообменных труб парогенераторов с применением инновационных систем и методик контроля.

Для проведения контроля корпуса реактора специально разработано расчетно-техническое обоснование РТО-КР-УЗК-15 [1], на основании которого был выполнен ручной ультразвуковой контроль сварных соединений корпуса реактора ВВЭР-1200 изнутри через антикоррозионную наплавку.

По методике [2], разработанной специалистами ООО «Центр вихретокового контроля «Политест» совместно с филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Научно-технический центр по аварийно-техническим работам на АЭС» и впервые примененной на АЭС России на этапе предэксплуатационного входного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 с помощью инновационной системы автоматизированного вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС с РУ ВВЭР «Политест-ПГ», был выполнен контроль теплообменных труб всех парогенераторов. В результате контроля труб парогенераторов были обнаружены несплошности с максимальной глубиной до 10% от номинальной толщины стенки, что является допустимым. Результаты контроля подтвердили возможность допуска блока к промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: предэксплуатационный контроль, ультразвуковой контроль, технология ультразвукового контроля, вихретоковый контроль, корпус реактора, парогенератор.

ВВЕДЕНИЕ

Обязательному контролю подлежат сварные соединения и антикоррозионные наплавки, основной металл в зонах концентрации напряжений и зонах, расположенных напротив активной зоны, сварные соединения и радиусные переходы патрубков присоединения трубопроводов к оборудованию, уплотнительные поверхности разъемных соединений корпусов и крышек сосудов, внутренняя поверхность корпусов в зоне пар-вода и

© О.В. Уразов, 2017

другие элементы оборудования и трубопроводов.

Предэксплуатационный контроль оборудования и трубопроводов проводят неразрушающими методами до пуска в эксплуатацию и выполняют для фиксации начального состояния основного металла, сварных соединений и антикоррозионных наплавов. Результаты последующего эксплуатационного контроля должны сравниваться с результатами предэксплуатационного контроля.

ПРЕДЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГОБЛОКА № 1 НВ АЭС-2

В период с 05.05.2015 г. по 02.03.2016 г. на энергоблоке № 1 НВ АЭС-2 был выполнен предэксплуатационный контроль состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов.

Целью проведения предэксплуатационного контроля состояния металла оборудования и трубопроводов является

- контроль состояния оборудования и трубопроводов после окончания этапов, предшествующих физическому пуску: транспортирования на площадку АЭС и временного хранения, монтажа, гидравлических испытаний, циркуляционной промывки и «горячей» обкатки;
- получение методами и средствами, которые будут применены при эксплуатационном контроле, исходных данных о состоянии основного металла, металла наплавленных покрытий и сварных соединений контролируемых объектов.

Согласно требованиям «Типовой программы предэксплуатационного контроля основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности АЭС с РУ ВВЭР-1200» АТПП-15-2011 [2], оборудование и трубопроводы должны быть проконтролированы неразрушающими методами [2 – 7] на следующих этапах:

- этап входного контроля;
- подэтап А-3 – холодно-горячая обкатка реакторной установки (первая ревизия);
- подэтап А-4 – ревизия основного оборудования РУ (вторая ревизия).

Предэксплуатационный контроль проводится следующими методами неразрушающего контроля:

- визуальный контроль (ВК);
- капиллярный контроль (КК);
- ультразвуковой контроль (УЗК);
- вихретоковый контроль (ВТК);
- телевизионный контроль (ТВК);
- магнитопорошковый контроль (МПК);
- радиографический контроль (РГК).

Согласно требованиям АТПП-15-2011 (с изменениями №1) [2], оборудование и трубопроводы должны быть проконтролированы неразрушающими методами, в том числе с использованием средств автоматизированного дистанционного контроля РУ, разработанных в соответствии с техническими требованиями проекта РУ.

На основании Решения №НВОАЭС-21Р-368К(04-03)-2015 от 25.06.2015г. [10] в связи с незавершенностью аттестационных процедур контроль проектными средствами автоматизированного дистанционного контроля был заменён на другие автоматизированные и ручные методы контроля, допущенные к применению на объектах использования атомной энергии [3 – 14]. При этом для обеспечения максимального соответствия требованиям типовой программы АТПП-15-2011 [2] при проведении предэксплуатационного контроля были использованы имеющиеся средства автоматизации для записи референтных данных состояния сварных соединений.

Предэксплуатационный контроль показал качественное выполнение работ по монтажу блока.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРПУСА РЕАКТОРА
СО СТОРОНЫ АНТИКОРРОЗИОННОЙ НАПЛАВКИ**

Как правило, предэксплуатационный контроль корпуса реактора проводят автоматизированными системами отечественного и зарубежного производства. Эти системы разработаны для контроля как с наружной поверхности при наличии доступа, так и изнутри, через аустенитную наплавку. Одним из основных методов неразрушающего контроля корпуса реактора является ультразвуковой контроль (УЗК). Автоматизированный ультразвуковой контроль сварных соединений с наружной стороны проводят по ПНАЭ Г-7-030-91 [13]. На заводе-изготовителе также проводят ручной ультразвуковой контроль сварных соединений с наружной поверхности. На результаты контроля со стороны основного металла антикоррозионная наплавка не влияет. УЗК корпуса реактора с внутренней стороны (через наплавку) применяется для регистрации начального состояния корпуса реактора и дальнейшего наблюдения за динамикой выявленных индикаций в процессе эксплуатации блока АЭС [15 – 19].

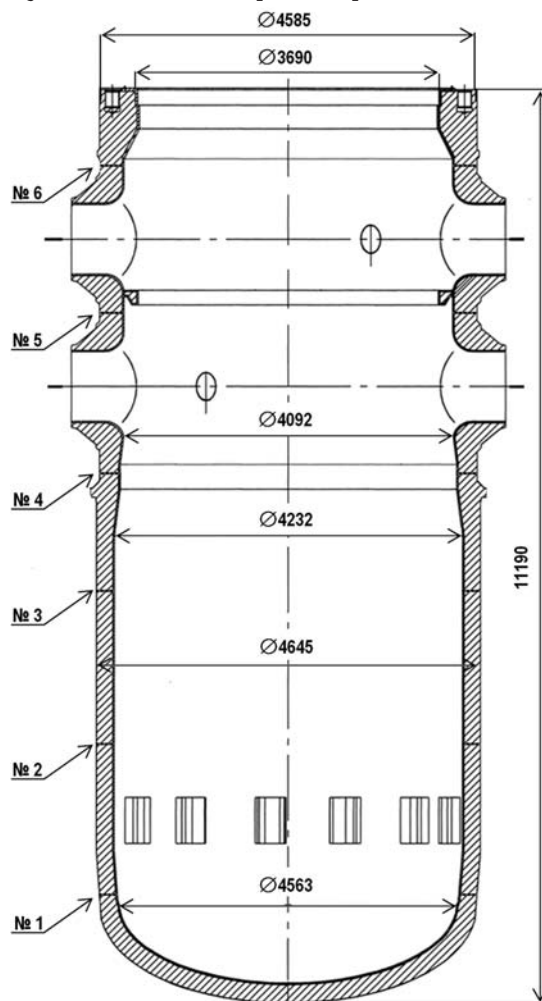


Рис. 1. Схема расположения сварных соединений на корпусе ВВЭР-1200

Материал корпуса реактора – 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А. Внутренняя поверхность корпуса покрыта антикоррозионной наплавкой толщиной 9 мм, которая выполнена в два слоя. Для нанесения первого слоя применялись сварочные материалы марки св.07Х25Н13, флюс марки ОФ-10, второго слоя – сварочные материалы марки св.04Х20Н10Г2Б, флюс ОФ-10. На рисунке 1 представлена схема расположения сварных соединений на корпуса реактора.

При ультразвуковом контроле через антикоррозионную наплавку корень сварного соединения будет располагаться на глубине 1/3 толщины сечения сварного соединения. Из-за неоднородности наплавки чувствительность УЗК начинает уменьшаться. На уменьшение чувствительности УЗК через антикоррозионную наплавку влияют следующие факторы [4 – 8]:

- коэффициент затухания в основном металле и наплавке;
- квазиискривление луча;
- волнистость границы сплавления антикоррозионной наплавки с основным металлом.

В целях выполнения УЗК сварных соединений корпуса реактора ВВЭР-1200 энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 с учетом вышеизложенных факторов головной материаловедческой организацией АО «НИКМТ-Атомстрой» было разработано расчетно-техническое обоснование РТО-КР-УЗК-15 [1], на основании которого был проведен ручной ультразвуковой контроль сварных соединений корпуса реактора ВВЭР-1200 изнутри через антикоррозионную наплавку.

По результатам выполненного контроля несплошностей с амплитудой эхо-сигнала равной или выше уровня фиксации не обнаружено. Результаты контроля положительные.

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Вихретоковый метод контроля позволяет выявить на теплообменных трубах ПГ несплошности типа наружное и внутреннее утонение стенки глубиной 20% и более от номинальной толщины стенки трубы.

На этапе предэксплуатационного входного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 с реакторной установкой ВВЭР-1200 с помощью инновационной системы автоматизированного вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС с РУ ВВЭР «Политест-ПГ» на основании МТ 1.2.1.15.001.0206-2014 «Система автоматизированного вихретокового контроля» теплообменных труб парогенераторов атомных станций с реакторными установками типа ВВЭР «Политест-ПГ. Методика контроля» [16] был выполнен 100%-ый контроль теплообменных труб всех парогенераторов.

Данная методика была разработана специалистами ООО «Центр вихретокового контроля «Политест» и филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Научно-технический центр по аварийно-техническим работам на АЭС» в 2014 г. Опыт специалистов и вовлеченность персонала позволила выполнить контроль при безусловном приоритете обеспечения безопасности и соблюдения всех действующих норм и правил.

Проведение вихретокового контроля (ВТК) по данной методике обеспечивает обнаружение несплошностей и аномалий, возникающих в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации парогенератора. ВТК теплообменных труб парогенераторов производится с использованием многочастотного вихретокового метода. В соответствии с методикой, контроль проводился по всей длине теплообменной трубы. При этом теплообменная труба была проконтролирована при вводе вихретокового преобразователя (зонда) (ВТП) из различных коллекторов («холодного», «горячего») с перекрытием участков контроля в зонегиба согласно схеме проведения контроля (рис. 2).

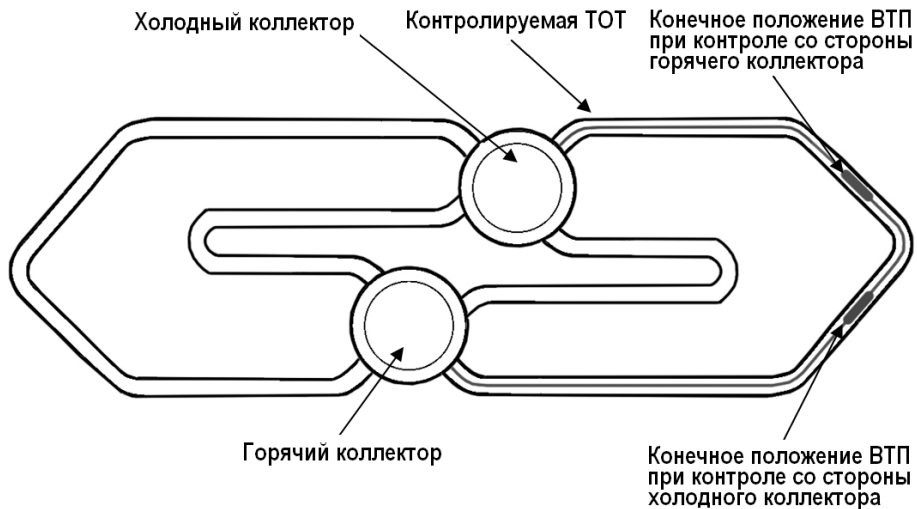


Рис. 2. Схема проведения ВТК с перекрытием участков контроля

Использование многоэлементного вихретокового преобразователя (зонда) позволило уточнить глубину несплошности, ее тип (язва, трещина), морфологию (внутренняя, наружная), ориентацию (продольная, поперечная, разнонаправленная) и линейные характеристики на участках теплообменной трубы, имеющих индикации, обнаруженные ранее одноэлементным ВТП.



Рис. 3. Устройство многоэлементного вихретокового преобразователя

Датчик многоэлементного ВТП (рис. 3) состоит из 16-ти индуктивных катушек, расположенных в два ряда и соединенных по трансформаторной схеме. Центраторы служат для центрирования датчика ВТП в контролируемой теплообменной трубе.

Анализ данных ВТК производится аналитиком с помощью программы «Pegas» [17] после сбора данных [16 – 19] по всему объекту контроля или какой-то его части посредством изучения массива записанных данных, выявления сигналов от несплошностей (в том числе на фоне различных мешающих факторов), измерения глубины, определения типа, морфологии, протяженности и места расположения несплошностей.

По результатам контроля зафиксированы следующие результаты:

- на ПГ № 1 на 10-ти трубках обнаружено 10 несплошностей с максимальной глубиной до 10% от номинальной толщины стенки теплообменной трубы;
- на ПГ № 2 на 12-ти трубках обнаружено 15 несплошностей с максимальной глубиной до 10% от номинальной толщины стенки теплообменной трубы;
- на ПГ № 3 на 15-ти трубках обнаружено 18 несплошностей с максимальной глубиной до 10% от номинальной толщины стенки теплообменной трубы;
- на ПГ № 4 на 11-ти трубках обнаружено 16 несплошностей с максимальной глубиной до 10% от номинальной толщины стенки теплообменной трубы.

По результатам вихретокового контроля на ПГ № 1 – 4 несплошностей с глубиной, равной или превышающей браковочный уровень, не обнаружено технологичес-

ких нарушений в изготовлении труб.

Состояние теплообменных труб в объеме выполненного контроля соответствует требованиям норм оценки качества.

ВЫВОДЫ

Предэксплуатационный контроль состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов на энергоблоке №1 Нововоронежской АЭС-2 был выполнен в установленные сроки. В соответствии с требованиями «Типовой программы предэксплуатационного контроля основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности АЭС с РУ ВВЭР-1200» АТПП-15-2011, были разработаны и утверждены рабочие программы предэксплуатационного контроля.

Для проведения контроля корпуса реактора специально разработано расчетно-техническое обоснование РТО-КР-УЗК-15, на основании которого был выполнен ручной ультразвуковой контроль сварных соединений корпуса реактора ВВЭР-1200 изнутри через антикоррозионную наплавку. Результаты контроля положительные, несплошностей с амплитудой эхо-сигнала равной или выше уровня фиксации не обнаружено.

На этапе предэксплуатационного входного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 с помощью инновационной системы автоматизированного вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС с РУ ВВЭР «Политест-ПГ» выполнен контроль теплообменных труб всех парогенераторов. Результаты контроля показали, что несплошностей с глубиной, равной или превышающей браковочный уровень, не обнаружено.

Литература

1. Расчетно-техническое обоснование РТО-КР-УЗК-15 от 02.11.2015г. – М.: АО «НИКИМТ-Атомстрой», 2015 г. – 50 с.
2. АТПП-15-2011. Типовая программа предэксплуатационного контроля основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности АЭС с РУ ВВЭР-1200. – М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2011 г. – 102 с.
3. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016 г. – 28 с.
4. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. / Под ред. И.П. Голяниной. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
5. Статников Е.Ш., Муктепавел В.О. Технология ультразвуковой ударной обработки как средство повышенной надежности и долговечности сварных металлоконструкций. // Сварочное производство. – 2003. – №4. – С. 25-29.
6. Marushchak P.O., Salo U.V., Bishchak R.T., Poberezhnyi L.Ya. Study of Main Gas Pipeline Steel Strain Hardening After Prolonged Operation. // Chemical and Petroleum Engineering. – May 2014. – Vol. 50. – Iss. 1-2. – PP. 58-61.
7. Pleshanov V.S., Kibitkin V.V., Panin V.E. Mesomechanics and Fatigue Fracture for polycrystals with macroconcentrations. // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 1998. – Vol. 30. – No. 1. – PP. 13-18.
8. Blaha F., Langenecker B. Plastitatsuntersuchungen von Metallkristallen in Ultraschallfeld. // Naturwis. – 1955. – Vol. 20. – No. 9. – P. 556.
9. Решение № НВОАЭС-21Р-368К(04-03)-2015 от 25.06.2015 г. – М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2015. – 8с.
10. Минин С.И., Трофимов А.И., Трофимов М.А. Технология термической сварки циркуляционных трубопроводов АЭС с воздействием ультразвука. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – №4. – С. 5-11.

11. *Абрамов О.В.* Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле. – М.: Металлургия. – 1972. – 256 с.
12. *Кулемин А.В.* Ультразвук и диффузия в металлах. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
13. ПНАЭГ-7-030-91. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть II. Контроль сварных соединений и наплавки. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1992. – 157 с.
14. *Сагалевиц В.М.* Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение. – 1974. – 248 с.
15. *Минин С.И., Трофимов А.И., Трофимов М.А.* Автоматизированная ультразвуковая система снятия остаточных напряжений в сварных соединениях циркуляционных трубопроводов АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – № 3. – С. 13-19.
16. МТ 1.2.1.15.001.0206-2014. Система автоматизированного вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов атомных станций с реакторными установками типа ВВЭР «Политест-ПГ». Методика контроля. – М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2014. – 77 с.
17. ПТ 61.00.00.00.00.00.Р02. Программа анализа данных вихретокового контроля «РЕGAS». Руководство оператора. – М.: ООО «Центр вихретокового контроля «ПОЛИТЕСТ», 2012. – 110 с.
18. *Антонов А.В., Чепурко В.А.* Статистический анализ данных об отказах оборудования атомных станций в условиях неоднородного потока событий. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – № 3. – С. 20-27.
19. *Finkelstein M.* Failure rate modeling for reliability and risk. – Verlag. London Limited: Springer, 2008. – 290 p.

Поступила в редакцию 26.06.2017 г.

Автор

Уразов Олег Владимирович, начальник отдела дефектоскопии металлов и технического контроля
E-mail: UrazovOV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 621.311.25

RESULTS OF A PREOPERATIONAL INSPECTION AT UNIT №1 OF NOVovorONEZH NPP II

Urazov O.V.

Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Novovoronezh Nuclear Power Plant»
1 Promyshlennaya zona Yuzhnaya, Novovoronezh, Voronezh reg.,
396072 Russia

ABSTRACT

A preoperational inspection for the state of the parent metal and welded joints in components and pipelines at unit № 1 of Novovoronezh NPP II is discussed. Peculiarities involved in the inspection of the reactor vessel welded joints facing the anticorrosive plating and the steam generator heat-exchange tubes using innovative test systems and techniques are considered.

To inspect the reactor vessel, «Computational and Engineering Case Study RTO-KR-UZA-15» [1] was developed specifically, based on which the VVER-1200 reactor vessel welded joints were inspected, using a manual ultrasonic technique, through the anticorrosive plating.

A technology [2], developed by JSC «Center for Eddy-Current Testing «Politest» and by the Scientific and Technical Center for Emergency Engineering Operations at Nuclear Power Plants, a branch of JSC «Concern Rosenergoatom», and used for the first time at a Russian NPPs at the stage of preoperational incoming inspection for the state of the parent metal and welded joints in components and pipelines at unit № 1 of Novovoronezh NPP II using «Politest-PG», an innovative system for the automated eddy-current testing of the steam generator heat-exchange tubes at nuclear power plants with VVER reactors, was used to inspect the heat-exchange tubes in all of the steam generators. As a result of the test, the steam generator tubes were found to have discontinuities with the maximum depth of up to 10% of the nominal wall thickness which is tolerable. The inspection results have confirmed the unit to be fit for commercial operation.

Key words: preoperational inspection, ultrasonic testing, ultrasonic testing technology, eddy-current testing, reactor vessel, steam generator.

REFERENCES

1. Technical Basis RTO-KR-UZK-15, issued 02.11.2015. Moscow. JSC «NIKIMT-Atomstroy» Publ., 2015. 50 p. (in Russian).
2. ATPP-15-2011. Standard Program for Preoperational Inspection of Base Metal and Welded Connections in Components and Pipelines of Security-Related Systems at NPPs with VVER-1200 Reactors. Moscow. JSC «Concern Rosenergoatom» Publ., 2011. 102 p. (in Russian).
3. GOST 27.002-2015. Industrial product dependability. Terms and definitions. Moscow. Standartinform Publ., 2016. 28 p. (in Russian).
4. Ul'trazvuk. Malen'kaya entsiklopediya. [Ultrasound. A small encyclopaedia.] Moscow. Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1979. 400 p. (in Russian).
5. Statnikov E.Sh., Muktepavel V.O. Tekhnologiya ultrazvukovoi udarnoi obrabotki kak sredstvo povyshennoi nadezhnosti i dolgovechnosti svarykh metallokonstruktsij. [Ultrasonic impact treatment as a method for improving reliability and durability of welded metal structures]. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2003, iss. 4, pp. 25-29 (in Russian).
6. Marushchak P.O., Salo U.V., Bishchak R.T., Poberezhnyi L.Ya. Study of Main Gas Pipeline Steel Strain Hardening After Prolonged Operation. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014, v. 50, iss. 1-2, pp. 58-61.
7. Pleshanov V.S., Kibitkin V.V., Panin V.E. Mesomechanics and Fatigue Fracture for polycrystals with macroconcentrations. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 1998, v. 30, no. 1, pp. 13-18.

8. Blaha F., Langenecker B. Plastitatsuntersuchungen von Menallkristallen in Ultraschallfeld. *Naturwis.* 1955, v. 20, no. 9, p. 556 (in German).
9. Resolution No. NVOAES-21R-368K(04-03)-2015, issued 25.06.2015 Moscow. JSC «Concern Rosenergoatom» Publ., 2015. 8 p. (in Russian).
10. Minin S.I., Trofimov A.I., Trofimov M.A. Tekhnologiya termicheskoy svarki tsirkulyatsionnykh truboprovodov AES s vozdeistviem ul'trazvuka. [Heat welding of NPP circulation pipelines with ultrasonification]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika.* 2016, no. 4, pp. 5-11 (in Russian).
11. Abramov O.V. Kristallizatsiya metallov v ul'trazvukovom pole [Crystallisation of metals in ultrasonic field]. Moscow. Metallurgiya Publ., 1972. 256 p. (in Russian).
12. Kulemin A.V. Ul'trazvuk i diffuziya v metallakh [Ultrasound and diffusion in metals]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1978. 200 p. (in Russian).
13. PNAEG-7-030-91. Unifitsirovannye metodiki nerazrushaiushchego kontrolya osnovnykh materialov (polufabrikatov), svarnykh soedinenij i naplavki oborudovaniya i truboprovodov AEU. Ul'trazvukovoj kontrol'. Chast' 2. Kontrol' svarnykh soedinenij i naplavki [Unified methods of non-destructive examination of the main materials (semi-finished items), weld joints and seams of nuclear power unit equipment and pipelines. Ultrasonic examination. Part 2. Examination of weld joints and seams.] Moscow. TsNIIAtominform, 1992. 157 p. (in Russian).
14. Sagalevich V.M. Metody ustraneniya svarochnykh deformatsij i napryazhenij [Methods for correcting welding deformations and stress]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1974. 248 p. (in Russian).
15. Minin S.I., Trofimov A.I., Trofimov M.A. Avtomatizirovannaya ul'trazvukovaya sistema snyatiya ostatochnykh napryazhenij v svarnykh soedineniyakh tsirkulyatsionnykh truboprovodov AES [The automatic ultrasonic system for residual stress removal in NPP circulation pipeline weld joints]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika.* 2016, no. 3, pp. 13-19 (in Russian).
16. MT 1.2.1.15.001.0206-2014. Sistema avtomatizirovannogo vikhretokovogo kontrolya teploobmennykh trub parogeneratorov atomnykh stantsij s reaktornymi ustanovkami tipa VVER «Politest-PG». Metodika kontrolya [Automated eddy current testing system for steam generator heat-exchange pipes at nuclear power plants with VVER-type reactors «Polytest-PG». Testing procedure.] Moscow. JSC «Concern Rosenergoatom» Publ., 2014. 77 p. (in Russian).
17. PT 61.00.00.00.00.00.R02. Programma analiza dannykh vikhretokovogo kontrolya «PEGAS». Rukovodstvo operatora [«PEGAS» code for eddy current testing data analysis. The operator's manual.] Moscow. LLC «Center for eddy current control 'POLITEST» Publ., 2012. 110 p. (in Russian).
18. Antonov A.V., Chepurko V.A. Statisticheskij analiz dannykh ob otkazakh oborudovaniya atomnykh stantsij v usloviyakh neodnorodnogo potoka sobytij [Statistical analysis of data on nuclear power plant equipment failures in the context of non-uniform event stream]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika.* 2016, no. 3. pp. 20-27 (in Russian).
19. Finkelstein M. Failure rate modeling for reliability and risk. Verlag. London Limited: Springer, 2008. 290 p.

Author

Urazov Oleg Vladimirovich, Head of the Metal Test and Technical Inspection Department,
E-mail: UrazovOV@nvnpp1.rosenergoatom.ru