

УДК 621.311.25.002.5.004.64

К.Н. Маловик, А.Н. Мирошниченко

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФЕКТНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Работа посвящена анализу остаточной дефектности оборудования АЭС в условиях неопределённости. В работе рассмотрены понятие остаточной дефектности оборудования, причины и следствия невыявляемости дефектов, дано определение количественной оценки остаточной дефектности, показано её соответствие основным критериям надёжности и безопасности оборудования АЭС. Также в работе рассмотрены основные понятия неопределённости контроля, причины и следствие её возникновения при оценке остаточной дефектности оборудования АЭС.

Ключевые слова: надёжность, безопасность, остаточная дефектность, неопределённость контроля, эксплуатационный контроль, критерии надёжности, оборудование АЭС.

Введение

Всё возрастающие темпы старения оборудования АЭС обуславливают повышение внимания к вопросам безопасности. Первым и неприемлемым условием безаварийной работы АЭС является высокое качество изготовления и монтажа оборудования. Однако, как бы тщательно оборудование энергоблока не было изготовлено, в процессе его эксплуатации под действием механических воздействий, термических напряжений, коррозионных процессов и др., в металле происходят структурные изменения, возникают дефекты сплошности. Со временем они развиваются и могут привести к разрушению оборудования АЭС.

В связи с этим большое внимание на АЭС уделяется эксплуатационному периодическому контролю металла, который имеет своей целью своевременно выявить и устранить возникшие дефекты.

Основная часть

Анализ результатов эксплуатационного контроля позволяет сделать следующие выводы [2]:

1. Причинами повреждения металла являются технологические дефекты, возникшие при изготовлении и монтаже, а также некоторые конструкционные недостатки оборудования или недостатки эксплуатации.

2. Значительная часть дефектов пропущена заводским контролем.

В обобщенном виде распределение во времени дефектов, обусловленных недостатками этапов проектирования, изготовления и эксплуатации, показано на рис. 1. Для выявления и устранения указанных дефектов выполняют неразрушающий контроль (НК). Считается, что после проведения НК и ремонта по его результатам всех выявленных дефектов в изделии отсутствуют дефекты [3].

Несмотря на многочисленные исследования причин недостаточной достоверности контроля,

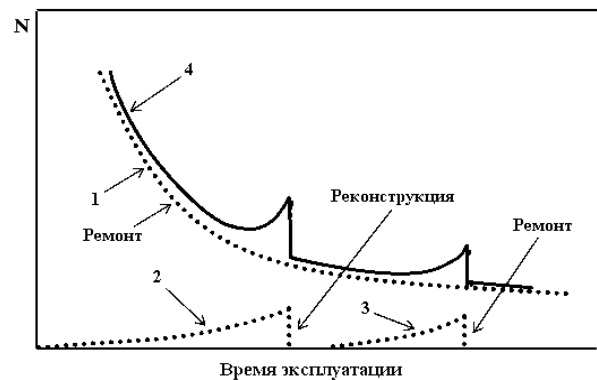


Рис. 1. Дефекты, выявляемые во время эксплуатации, где обозначены:

1 – дефекты, заложенные на стадии изготовления и пропущенные в эксплуатацию; 2 – требуют ремонта (рост числа дефектов, связанных с недостатками конструирования); 3 – требуют реконструкции (рост числа дефектов из-за недостатков эксплуатации); 4 – требуют ремонта (суммарное число дефектов)

проводимых как у нас в стране, так и за рубежом, в настоящее время можно дать, по-видимому, только качественную или полуколичественную характеристику влияния различных факторов на снижение достоверности контроля.

Достоверность контроля отражает степень доверия к нему. Количественно достоверность контроля можно выразить как вероятность соответствия приписанного состояния объекта, по соответствующему параметру, истинному состоянию.

На самом деле в настоящее время в технике практически отсутствуют методы и средства НК, гарантированно, со 100%-ной достоверностью выявляющие все дефекты. Поэтому всегда имеется определенная вероятность их пропуска. На практике оказывается, что практически всегда после неразрушающего контроля и устранения выявленных дефектов в изделии еще остаются дефекты. Именно эти оставшиеся дефекты в конечном итоге и опре-

деляют надежность и работоспособность изделия.

Совокупность оставшихся не выявленных дефектов в материале конструкции после изготовления, контроля и ремонта выявленных дефектов определяется термином остаточная дефектность. Если пропущенный дефект достигает критических размеров, то происходит разрушение всей конструкции или её элемента. Следовательно, любой прогноз надежности и ресурса конструкции без учета остаточной дефектности будет неточным и может привести к катастрофическим последствиям.

Количественно остаточную дефектность $N_{ост}$, при известных функции исходной дефектности $N_{исх}(a)$ и функции распределения выявляемых в результате контроля дефектов $N_{обн}(a)$, можно определить как, [3]

$$N_{ост}(a) = N_{исх}(a) - N_{обн}(a), \quad (1)$$

где a – размер дефекта.

Учитывая, что количество обнаруженных дефектов зависит от исходной дефектности $N_{исх}(a)$ и от достоверности контроля, которую можно характеризовать функцией вероятности обнаружения дефектов $P_{обн}(a)$.

$$N_{обн}(a) = N_{исх}(a)P_{обн}(a). \quad (2)$$

Отсюда выражение для определения остаточной дефектности имеет вид:

$$N_{ост}(a) = N_{исх}(a)[1 - P_{обн}(a)]. \quad (3)$$

Надо отметить, что дефекты, определяющие надёжность – это дефекты, размеры которых находятся в интервале от браковочных при изготовлении до допустимых при эксплуатации; дефекты, определяющие безопасность – дефекты, размеры которых находятся в интервале от допустимых при эксплуатации до критических.

Согласно [4]:

– безопасность B изделия (надёжность по критерию сопротивления разрушению) оценивается по выражению:

$$B = 1 - N_{ост.кр.}^{\Sigma}, \quad (4)$$

где $N_{ост.кр.}^{\Sigma}$ – остаточная дефектность в области дефектов, важных для безопасности, определяется в виде числа дефектов в изделии, размеры которых равны или больше критических размеров $a_{кр}$ в режиме эксплуатации изделия:

$$N_{ост.кр.}^{\Sigma} = \frac{1}{m} \int_{a_{кр}}^{a_{пред}} N_{ост}(a) da, \quad (5)$$

– надёжность изделия H определяют как:

$$H = 1 - N_{ост.д.э.}^{\Sigma}, \quad (6)$$

где $N_{ост.д.э.}^{\Sigma}$ – остаточная дефектность в области дефектов, важных для надёжности, определяется в виде числа дефектов, размеры которых превышают размеры предельно допустимых в эксплуатации дефектов изделия $[a]_{д.э.}$, т.е.:

$$N_{ост.д.э.}^{\Sigma} = \frac{1}{m} \int_{a_{кр}}^{a_{пред}} N_{ост}(a) da. \quad (7)$$

Надёжность оборудования АС может оцениваться по разным критериям. Наиболее важными критериями надёжности являются:

– критерий сопротивления полному разрушению конструкции или ее элемента (*надёжность 1-го рода, H_1*);

– критерий сопротивления частичному разрушению элемента конструкции с образованием неплотностей, течей, потерей герметичности и т.п. (*надёжность 2-го рода, H_2*);

– критерий сопротивления возникновению в конструкции или ее элементе дефекта сплошности металла (*надёжность 3-го рода, H_3*);

– критерий, определяемый сопротивлением зарождению трещины усталости, ползучести, коррозионного растрескивания или недопустимому формоизменению (*надёжность 4-го рода, H_4*).

Из формулы (7) следует, что чем точнее проведена оценка остаточной дефектности, тем достоверней можно сделать прогноз фактического уровня надёжности и безопасности изделия до того, как оно разрушится или повредится в эксплуатации (рис. 2).

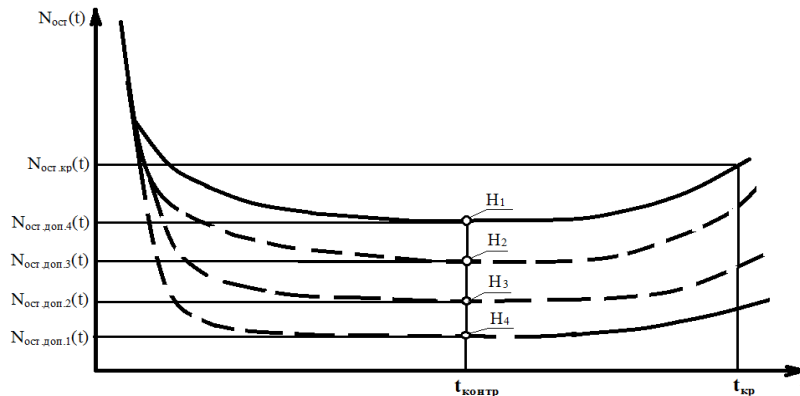


Рис. 2. Соответствие величины остаточной дефектности оборудования критериям надёжности, где обозначены: $N_{ост.доп.1,2,3,4}$ – допустимые значения остаточной дефектности оборудования, соответствующие критериям надёжности $H_{1,2,3,4}$, соответственно; $N_{ост.кр.}$, $t_{кр.}$ – величина критического значения остаточной дефектности и время возникновения критического состояния объекта

Однако, при оценке остаточной дефектности следует отметить, что показатели $N_{исх}$, $N_{обн}$ являются неопределенными.

Неопределенность оценки остаточной дефектности – это вероятностная характеристика, связанная с результатом контроля и характеризующая разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны контролируемому параметру.

Она зависит от особенностей физических методов неразрушающего контроля и материала, в котором находится дефект, тип дефекта, характеристики средств и методик контроля, окружающей среды, случайных эффектов и условий контроля, а также индивидуальных особенностей дефектоскопистов.

Используя при вычислении выше указанные показатели, можно получить нечеткое значение остаточной дефектности конструкции.

Сравнивая нечеткое значение этой остаточной дефектности с допуском, можно произвести оценку реальной дефектности изделия после контроля и ремонта выявленных дефектов и определить фактический уровень надежности и безопасности изделия до того, как оно разрушится или повредится в эксплуатации.

Заклучение

На основании выполненного анализа факторов неопределенности при оценке остаточной дефектности оборудования, можно сделать вывод, что в процессе контроля всегда имеется конечная вероятность пропустить в эксплуатацию элемент конструкции с дефектом сплошности металла. Если пропущенный дефект достигает критических размеров, то происходит разрушение всей конструкции или её элемента. Так как информация о пропущенном дефекте отсутствует (дефект не был выявлен методами

неразрушающего контроля), то разрушение происходит внезапно. Следовательно, вопрос о получении информации о характеристиках остаточной дефектности является принципиально важным, т.к. технический результат контроля, позволяет произвести оценку реальной дефектности изделия после контроля и ремонта выявленных дефектов и определить фактический уровень надежности и безопасности изделия до того, как оно разрушится или повредится в эксплуатации.

Список литературы

1. Захаров И.П. Теория неопределённости в измерениях. Учеб. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002 – 256 с.
2. Аркадов Г.В. Ресурс и надёжность оборудования и трубопроводов АЭС: учеб. пособ. / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, К.Н. Маловик, С.Б. Смирнов – Севастополь: СМУЭИП, 2012. – 348 с.: ил.
3. Гетман А.Ф. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А.Ф. Гетман, Ю.Н. Козин. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 287 с.
4. Аркадов Г.В. Надежность оборудования и трубопроводов АЭС и оптимизация их жизненного цикла / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, А.Н. Родионов. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 266 с.
5. Гетман А.Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов АЭС / А.Ф. Гетман – М., Энергоатомиздат. 2000. – 427 с.
6. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 27.002-89.
7. Махутов Н.А. Системная концепция обеспечения прочности, ресурса и безопасности оборудования и трубопроводов АЭС / Н.А. Махутов и др. // Труды МНТС – М.: МЭИ, 2004. – С. 34-39.

Поступила в редколлегию 27.02 2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

АНАЛІЗ ЗАЛИШКОВОЇ ДЕФЕКТНОСТІ ОБЛАДНАННЯ АЕС В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

К.М. Маловік, А.М. Мірошніченко

Робота присвячена аналізу залишкової дефектності обладнання АЕС в умовах невизначеності. Були розглянуті поняття залишкової дефектності обладнання, причини та наслідки не виявлення дефектів, дано визначення кількісної оцінки залишкової дефектності, показана її відповідність основним критеріям надійності і безпечності обладнання АЕС. Також були розглянуті основні поняття невизначеності контролю, причини та наслідки її виникнення при оцінці залишкової дефектності обладнання АЕС.

Ключові слова: надійність, безпечність, залишкова дефектність, невизначеність контролю, експлуатаційний контроль, критерії надійності, обладнання АЕС.

ANALYSIS OF THE RESIDUAL IMPERFECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS EQUIPMENT IN CONDITIONS OF THE UNCERTAINTY

K.N. Malovik, A.N. Miroshnichenko

This paper devoted to the analysis of the residual imperfection of NPP's equipment in conditions of the uncertainty. The paper discusses the concept of residual defects in the equipment, causes and consequences of undiagnosed defects. The determination of quantitative assessment of residual defects was given. Was shown it's conformity with the basic criteria of reliability and safety of nuclear power plants equipment. Also, the basic concepts of uncertainty control, causes and consequences of its occurrence in the evaluation of residual defects in nuclear power plant equipment were considered.

Keywords: the reliability, a safety, residual imperfection, uncertainty of control, field inspection, criteria of reliability, NPP's equipment.