
ТЕПЛОВІ ТА ЯДЕРНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

УДК 621.311.25:005.91

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АЭС

Д.А. Бережной, асп., К.Н. Маловик, к.т.н., доц., В.Г. Котеленец, к.т.н

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Проведен анализ и выявлены недостатки нормативной базы в области прогнозирования неустойчивости метрологических характеристик измерительных каналов АЭС. Рассмотрена зависимость неустойчивости метрологических характеристик при эксплуатации измерительных каналов АЭС. Предложен подход к оценке и прогнозированию неустойчивости метрологических характеристик измерительных каналов АЭС.

Введение

Стабильность и метрологическая надежность измерительных каналов (ИК) являются необходимыми условиями, обеспечивающими качество управления технологическими процессами на атомных электрических станциях (АЭС). Требования к качеству ИК формируются под влиянием современного уровня развития энергетических установок, характеризующихся интенсификацией технологических процессов и использованием высокоэкономичных энергетических агрегатов большой единичной мощности. Поэтому исследования, направленные на улучшение этих свойств, являются приоритетными в метрологии.

При проектировании ИК одним из важных вопросов является обеспечение их метрологической стабильности в течение всего времени эксплуатации, так как доля метрологических отказов в общем потоке отказов ИК составляет, по разным оценкам, 40...100 % [1]. Поэтому можно считать, что параметром, определяющим качество функционирования ИК, отражающим неизменность во времени его метрологических характеристик (МХ), является стабильность. При этом количественной оценкой стабильности ИК служит неустойчивость МХ ИК [2, 4].

Как правило, объектом исследований в области метрологической неустойчивости являются различные физико-химические процессы, вызывающие изменение МХ ИК во времени [3]. Однако общие закономерности тренда неустойчивости МХ ИК пока остаются малоисследованными. Это обстоятельство препятствует созданию универсальных методов оценки и прогнозирования неустойчивости МХ ИК.

Исходя из вышесказанного, задачи оценки и прогнозирования неустойчивости метрологических характеристик измерительных каналов АЭС являются малоисследованными и актуальными.

Постановка цели и задачи научного исследования

Целью данной работы являются определение современного состояния нормативной базы и выявление научных задач в области оценки и прогнозирования нестабильности МХ ИК АЭС

Для достижения поставленной цели предусматривается выполнение следующих задач:

1. Сравнительный анализ и выбор нормативных документов (НД) в области прогнозирования нестабильности МХ ИК АЭС.
2. Анализ и выявление недостатков НД в исследуемой области.
3. Формулировка научных задач при исследовании нестабильности МХ ИК.
4. Анализ зависимости нестабильности МХ при эксплуатации ИК.
5. Совершенствование подхода к оценке и прогнозированию нестабильности МХ ИК АЭС.

Анализ нормативной базы

ИК представляет собой нестандартное средство измерительной техники, предназначенное для измерения, преобразования, передачи и представления в требуемом виде непрерывного сигнала, однозначно определяющего параметры технологического процесса.

Согласно ГОСТ 24789 – 81, измерительные каналы, эксплуатируемые на АЭС, должны иметь гамма-процентный срок службы, равный 90 %, в течение 5 лет. Критерием предельного состояния измерительного канала считают отказ более 30 % основных детекторов. Признаком отказа детекторов является неустранимое отклонение измеряемого сигнала от наиболее вероятного значения более чем на 20 % или его отсутствие. При этом наиболее вероятное значение сигнала определяют путем интерполяции распределения показаний основных исправных детекторов по всей высоте активной зоны реактора АЭС.

Для обеспечения требуемой надежности и долговечности ИК на стадии проектирования предусматривается прогнозирование нестабильности и метрологической надежности ИК, когда нестабильность (m) является количественной оценкой изменения МХ средства измерений за установленный интервал времени [4, 5].

Нестабильность определяют на основании длительных исследований путем периодических испытаний на долговечность.

Основными показателями нестабильности МХ ИК АЭС являются [4, 5]:

- средняя нестабильность МХ ИК, равная (эквивалентная) математическому ожиданию нестабильности этой характеристики по группе ИК данного типа или по совокупности равных периодов эксплуатации одного ИК;
- среднеквадратичное отклонение (СКО) нестабильности МХ ИК, отражающее рассеяние нестабильности в группе данного типа или в совокупности равных периодов эксплуатации одного ИК;
- доверительные границы нестабильности МХ ИК, верхнее и нижнее значения пределов, охватывающих нестабильность МХ ИК с требуемой доверительной вероятностью.

Для прогнозирования нестабильности МХ ИК могут быть применены процедуры, предусмотренные в нормативных документах, указанных в табл. 1, основные достоинства и недостатки которых в области прогнозирования нестабильности МХ ИК представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Нормативные документы по прогнозированию нестабильности МХ ИК

№ п\п	Шифр	Название
1	РД 153-34.0-1.201-97	Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений
2	ГОСТ 24789 - 81	Каналы измерительные системы внутриреакторного контроля ядерных энергетических корпусных реакторов с водой под давлением
3	ГОСТ Р 8.596 - 2002	Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения
4	РМГ 29-99	Метрология. Основные термины и определения
5	ИСО 10012-1:1992	Требования по обеспечению качества измерительного оборудования
6	ГОСТ РВ 0027-010 - 2008	Требования по обеспечению качества измерительного оборудования
7	РД 50-656-88	Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Прогнозирование надежности
8	РДЭО 0515-2004	Нормы точности измерений основных теплотехнических величин для атомных электрических станций с ВВЭР-1000
9	ГОСТ Р 13381-1 - 2011	Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния
10	РД 26.260.004-91	Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации
11	РД 153-34.0-11.117-2001	Основные положения. Информационно-измерительные системы. Метрологическое обеспечение
12	МИ 2187-92	Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений
13	ГОСТ Р 51901.3 – 2007 (МЭК 60300-1:2003)	Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности
14	ГОСТ 27.202 - 83	Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции
15	ГОСТ 27.204 - 83	Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности
16	ГОСТ Р 8.565 - 89	Метрологическое обеспечение эксплуатации атомных станций
17	ДСТУ 3921.1 - 99	Требования к обеспечению качества средств измерительной техники
18	РМГ 74-2004	Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений
19	ГОСТ 8.565 - 99	Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов

Анализ нормативной базы в области прогнозирования нестабильности МХ ИК

№ п\п	Шифр	Достоинства	Недостатки
1	РД 153-34.0-1.201-97	Методика устанавливает 3 метода расчета обобщенных МХ ИК	Нет четкого пояснения в каком случае применять один из методов расчета. Пример расчета поясняет только один метод расчета погрешности ИК
2	ГОСТ 24789-81	Документ устанавливает общие требования: - к конструкции; - к устойчивости к внешним, воздействиям; - по надежности; - к комплектующим изделиям, материалам и полуфабрикатам; - безопасности; - нормам точности ИК.	В документе не приводится ни одного термина и определения. Не достаточно полно раскрыты требования по надежности к ИК. Нет требования к стабильности ИК
3	ГОСТ Р 8.596-2002	Стандарт устанавливает основные положения по метрологическому обеспечению ИС на этапах их жизненного цикла: разработка (проектирование), производство (изготовление, монтаж и наладка на объекте эксплуатации), эксплуатация.	Не раскрыты основные положения прогнозирования нестабильности МХ ИК, что должно осуществляться на этапе проектирования
4	РМГ 29-99	Устанавливает основные термины в области определения стабильности СИТ	Нет определения понятия «прогнозирование нестабильности МХ СИТ»
5	ИСО 10012-1:1992	Содержит требования к обеспечению качества, предназначенные для поставщика и гарантирующие проведение измерений с заданной точностью. Устанавливает основные характерные особенности системы подтверждения, применяемой для измерительного оборудования поставщика	В документе не раскрыта структура и основные требования к системе подтверждения. Система подтверждения не предусматривает оценку нестабильности измерительного оборудования, что важной точностной характеристикой

Продолжение табл. 2

№ п\п	Шифр	Достоинства	Недостатки
6	ГОСТ РВ 0027 - 010-2008	Устанавливает основные положения по прогнозированию надежности изделий военной техники на стадиях их разработки	Не предусмотрен порядок прогнозирования нестабильности средств измерений
7	РД 50-656-88	Устанавливают задачи, принципы, методы и порядок прогнозирования надежности для стадии эксплуатации изделия и его составных частей (изделие) в процессе исследования, разработки, производства и модернизации аппаратуры	Не рассмотрен метод и порядок прогнозирования нестабильности радиоэлектронной аппаратуры
8	РДЭО 0515-2004	Документ устанавливает диапазоны измерений, значения допустимой абсолютной и приведенной погрешности для атомных электрических станций с ВВЭР-1000	Документ не устанавливает требований к нестабильности МХ ИК АЭС
9	ГОСТ Р 13381-1 - 2011	Настоящий стандарт устанавливает руководство по разработке процедур прогнозирования технического состояния машин. Даны основные понятия, связанные с прогнозированием, перечень исходных данных для прогнозирования и общая процедура прогнозирования	Нет определения понятия система прогнозирования. Не изложена процедура разработки и внедрения системы прогнозирования
10	РД 26.260.004-91	Устанавливает требования к выбору методов прогнозирования остаточного ресурса химико-технологического оборудования по изменению параметров его технического состояния и рекомендации по применению статистических методов при прогнозировании	Не рассмотрен метод прогнозирования остаточного ресурса оборудования при небольшом сроке эксплуатации, т.е. при небольшом количестве экспериментальных данных
11	РД 153-34.0-11.117-2001	Устанавливает основные положения по метрологическому обеспечению информационно-измерительных систем на различных этапах жизненного цикла	В документе не рассмотрены вопросы, связанные с прогнозированием нестабильности МХ ИК, что должно быть заложено на этапе проектирования

Продолжение табл. 2

№ п\п	Шифр	Достоинства	Недостатки
12	МИ 2187-92	Рекомендация устанавливает критерии определения межповерочного интервала (МПИ), зависимости от МПИ показателей, соответствующих этим критериям, и алгоритмы вычисления МПИ. В приложениях 1 и 2 даны рекомендации по способам получения исходных данных о нестабильности СИТ, необходимых для определения МПИ	Отсутствует определение понятия «нестабильность». Отсутствует методика прогнозирования нестабильности СИТ
13	ГОСТ Р 51901.3 - 2007 (МЭК 60300-1:2003)	Дополняет ГОСТ Р 51901.2 - 2005 (МЭК 60300-1:2003). Рассмотрены вопросы прогнозирования надежности продукции	Отсутствует модель прогнозирования надежности продукции
14	ГОСТ 27.202 - 83	При использовании регистрационного метода для оценки показателей надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции, технологических систем информация должна удовлетворять требованиям вероятности и однородности	В технических требованиях к методам оценки комплексных показателей надежности по определению возможных методов не рассматриваются показатели надежности по критериям отказов. Отсутствует перечень комплексных показателей надежности по параметрам изготавливаемой продукции, которые характеризуют надежность и качество продукции
15	ГОСТ 27.204 - 83	Во время определения методов оценки технологических систем в стандарте представлена номенклатура, определения и математические выражения комплексных показателей качества	Приведены расчеты ритмичности изготовления продукции i -го наименования, однако его расчеты нигде не учитываются
16	ГОСТ Р 8.565 - 89	Устанавливает основные положения и требования, относящиеся к метрологическому обеспечению эксплуатации АЭС	В настоящем документе не раскрыты понятия метрологической надежности и нестабильности СИТ
17	ДСТУ 3921.1 - 99	Стандарт устанавливает общие положения системы метрологического обеспечения СИТ. Дано определение стабильности СИТ.	Отсутствуют требования к стабильности МХ СИТ

Окончание табл. 2

№ п\п	Шифр	Достоинства	Недостатки
18	РМГ 74-2004	Рекомендации содержат методы определения МПИ и межкалибровочных интервалов, основанные на предположении о непрерывном (с конечной случайной скоростью) изменении метрологических характеристик СИТ в процессе эксплуатации или хранения. Изложена методика испытаний на нестабильность (метрологическую надежность) средств измерений. Изложена методика прогнозирования показателей нестабильности метрологических характеристик средств измерений по данным о нестабильности элементов.	Не представлена модель прогнозирования нестабильности МХ СИТ . Отсутствует классификация причин нестабильности . Отсутствует зависимость нестабильности СИТ от влияющих факторов
19	ГОСТ 8.565 - 99	Стандарт устанавливает единый порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов с целью обеспечения единства измерений. В документе представлено определение нестабильности МХ эталона и его основные показатели.	Отсутствует методика прогнозирования нестабильности МХ эталона.

Анализируя совокупность конкретных недостатков, представленных в табл. 2, можно сформулировать ряд обобщенных выводов в области оценки и прогнозирования нестабильности МХ ИК:

- отсутствует единая методология прогнозирования нестабильности МХ ИК;
- отсутствует зависимость нестабильности МХ ИК от влияющих факторов (старения, деградации и т.п.);
- отсутствует классификация причин нестабильности МХ ИК.

Подход к оценке и прогнозированию нестабильности МХ ИК АЭС

Независимо от технологии производства и испытаний ИК с течением времени в его элементах неизбежно протекают разнообразные процессы старения и погрешности ИК неуклонно возрастают. Поэтому нормирование гарантированных в паспорте ИК пределов допустимой погрешности производится с 1,25 - 2,5 кратным запасом на старение [6]. Такое превышение пределов допустимой погрешности над фактическим значением погрешности ИК в момент их выпуска с производства является по существу единственным практическим способом обеспечения долговременной метрологической стабильности ИК.

Случайный процесс изменения нестабильности ИК во времени может характеризоваться некоторыми плотностями распределений $f(m, t_{1-n})$, показанными на рис. 1.

На рис. 1 интервалы времени $T_{m(1-L)}$ показывают промежутки времени, на который разрабатывается прогноз нестабильности МХ ИК.

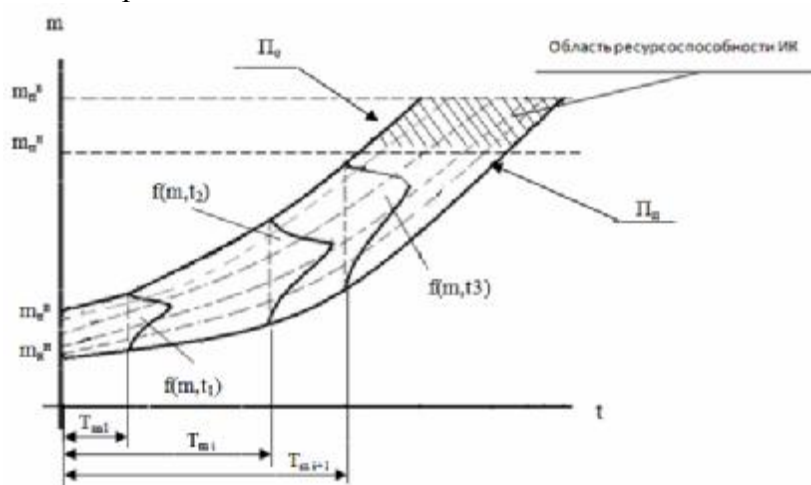


Рис. 1. Динамика временных характеристик прогнозирования нестабильности ИК: m_n^b – предельное верхнее значение уровня нестабильности; m_n^h – предельное нижнее значение уровня нестабильности; Π_0 – линия оптимистического прогноза; Π_n – линия пессимистического прогноза; m_n^b – нормированное верхнее значение уровня нестабильности; m_n^h – нормированное нижнее значение уровня нестабильности

На рис. 1 показаны оси, отражающие предельный уровень нестабильности ИК, для которого целесообразно указать его верхнее и нижнее значение m_n^b и m_n^h и тем самым выделить область ресурсоспособности ИК [7].

Для ряда средств измерений, особенно некоторых мер, нестабильность является одной из важнейших точностных характеристик.

При прогнозировании нестабильности МХ ИК можно исходить из того, что плотности распределений $f(m, t_{1-n})$ подчинены нормальному закону.

Наряду с основными параметрами плотности распределения $f(m, t_{1-n})$ (математическое ожидание, СКО, дисперсия) для описания распределений нестабильности ИК целесообразно применять коэффициенты асимметрии и эксцесса, которые характеризуют "скошенность" распределения относительно симметричного нормального распределения и острровершинность распределения относительно нормального распределения соответственно [8].

Возможные варианты плотностей распределений нестабильности МХ ИК $f(m, t_{1-n})$ представлены на рис. 2

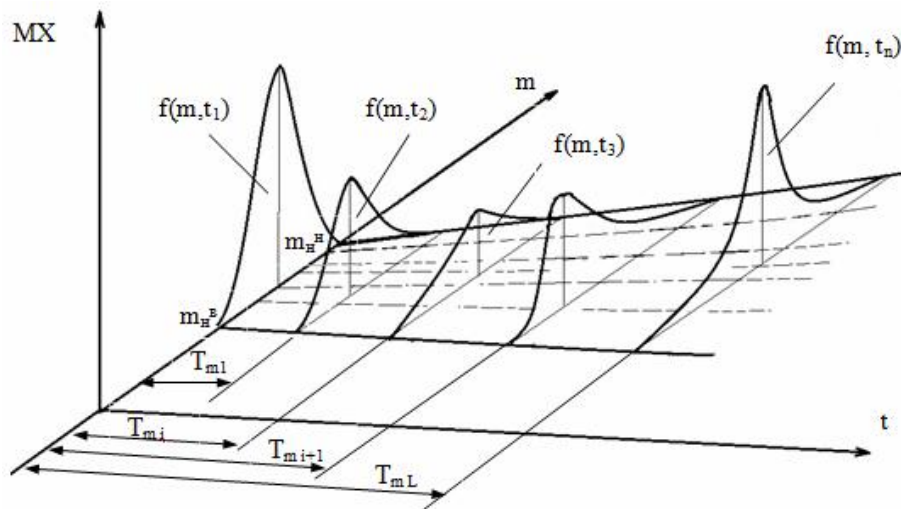


Рис. 2. Зависимость нестабильности ИК (m) от времени эксплуатации (t) и изменения метрологических характеристик (МХ)

Зависимость представленная на рис. 2 отображает подход к оценке и прогнозированию нестабильности МХ ИК АЭС. Данный подход может быть реализован на основе мониторинга метрологической надежности ИК, что позволит исследовать возможные виды плотностей распределения $f(m, t_{1-n})$.

Таким образом, прогнозирование нестабильности МХ ИК сводится к решению следующих задач:

- экспериментальное исследование плотностей распределения $f(m, t_{1-n})$;
- выявление общей зависимости (закономерности) тренда нестабильности МХ ИК и включая оценивание коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Выводы

В результате проведенного анализа нормативной базы определены научные задачи:

- разработка модели прогнозирования нестабильности метрологических характеристик измерительных каналов АЭС;
- классификация причин изменения нестабильности метрологических характеристик измерительных каналов АЭС.

Дальнейшие исследования планируется направить на проведение экспериментальных исследований нестабильности МХ ИК АЭС.

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ АЕС

Д.А. Бережний, К.М. Маловик, В.Г. Котеленець

Проведено аналіз і виявлені недоліки нормативної бази в галузі прогнозування нестабільності метрологічних характеристик вимірювальних каналів АЕС. Розглянута залежність нестабільності метрологічних характеристик при експлуатації вимірювальних каналів АЕС. Запропоновано підхід до оцінювання і прогнозування нестабільності метрологічних характеристик вимірювальних каналів АЕС.

NORMATIVE BASIS ANALYSIS in the METROLOGICAL CHARACTERISTICS INSTABILITY PROGNOSTICATION of NPP's MEASURING CHANNELS

D.A. Berezhnoi, K.N. Malovik, V.G. Kotelenets

The normative basis in the prognostication of metrological characteristics instability of the NPP's measuring channels was analyzed; its shortcomings were identified. The metrological characteristics instability dependence during the NPP's measuring channels operation was considered. The evaluation and prognostication method of NPP's measuring channels metrological characteristics instability was suggested.

Список использованных источников

1. Федин С.С. Прогнозирование и вероятностная оценка метрологической надежности прецизионных средств измерений / С.С. Федин, Н.А. Зубрецькая, Г.И. Войченко // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – Суми: СумДУ, 2009. – № 4. – С. 201 – 210.
2. РМГ 29-99 Метрологія. Основні терміни і визначення. – Взамен ГОСТ 16263 – 70; введ. 2001-01-01. – Мінськ: Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации, 2000. – 46 с.
3. Жмерев В.С. Аналіз взаємозв'язку показателів надійності і метрологічної стабільності вимірних каналів / В.С. Жмерев, К.Н. Маловик, Н.Е. Сапожников, А.В. Юдин // Зб. наук. пр. СНУЯУтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вип. 2 (30). – С. 106 – 111.
4. РМГ 74-2004 ГСИ. Методи визначення міжповерочних і міжкалибровочних інтервалів засобів вимірювань. – Взамен МИ 2187-92; введ. 2005-03-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 22 с.
5. ГОСТ 8.565 - 99 ГСИ. Порядок установлення і корекції міжповерочних інтервалів еталонів. – Введен вперше 2000-07-01. – Мінськ: Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации, 2000. – 15 с.
6. Новицкий П.В. Оценка погрешности результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
7. Маловик К.Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов: монография / К.Н. Маловик. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – 332 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. пособие. для вузов. - 8-е изд. / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 2002. – 575 с.

Надійшла до редакції 20.11.2013 р.