

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРКИ ОБОРУДОВАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Е.Е. Невская (НИЦ «Курчатовский институт»)

Рассмотрены вопросы контроля качества поверки некоторых типов средств измерений, эксплуатируемых на исследовательском ядерном реакторе. Приведены примеры расчета апостериорной достоверности поверки для случаев равноточных и неравноточных измерений с использованием программного обеспечения.

Ключевые слова: исследовательский ядерный реактор, достоверность поверки, контурное оценивание, программное обеспечение.

Введение

Исследовательские ядерные реакторы используются для проведения разносторонних фундаментальных и прикладных исследований в различных отраслях науки, в том числе в области ядерной физики, физики твердого тела, радиационного материаловедения и радиобиологии. Это многофункциональные системы, имеющие в своем составе множество различных типов средств измерений и контроля. Помимо этого, исследовательские реакторы являются объектами повышенной ядерной и радиационной опасности, следовательно к используемой в их составе аппаратуре предъявляются самые строгие требования с точки зрения точности и надежности.

Подтверждение характеристик точности средств измерений происходит по результатам их периодической поверки. В случае с оборудованием исследовательского ядерного реактора данная процедура является обязательной, поскольку деятельность в области использования атомной энергии входит в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений. Тем не менее, даже при самом строгом подходе к проведению поверки, сохраняется вероятность ошибочного признания годным фактически неисправного средства измерений. Это связано с применением в методиках поверки различных допущений, таких как:

- в качестве показания прибора в поверочной точке принимается среднее арифметическое результатов измерений, полученных в данной точке;
- априорное принятие гипотезы о нормальном распределении результатов измерений;
- использование приближенных формул для расчета основной погрешности измерений.

Таким образом, даже при успешном прохождении средством измерений поверки по текущим методикам

Таблица 1.

	, /	. 1, /	. 2, /	. 3, /	. 4, /	. 5, /
-2 (± 6%)	77,7	80	82	78	80	80
-2 (± 6%)	700	710	715	710	715	710
	, /	. 1, /	. 2, /	. 3, /	. 4, /	. 5, /
- (± 7%)	58	62	64	64	60	65
- (± 7%)	614	635	640	630	650	650

ее результат может не удовлетворять требованиям государственной поверочной схемы по доверительной вероятности. Данное обстоятельство напрямую влияет на безопасность населения, персонала и окружающей среды.

Для определения апостериорной достоверности поверки по данным протокола, установленным параметрам методики поверки и предписаниям государственной поверочной схемы в части доверительной вероятности [1] можно с большой эффективностью использовать метод контурного оценивания (МИ 2916-2005. «ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач»), а именно, его версию для функций распределения вероятностей с одинаковым числом параметров (параметры положения и рассеяния, а также два параметра усечения). Он позволяет учесть, кроме погрешностей рабочих эталонов, погрешность неадекватности функции распределения вероятностей, принятой для описания случайной составляющей основной погрешности. Кроме того, метод реализован программными средствами [2, 3, 4], что позволяет значительно облегчить его внедрение в практику поверки и обеспечить сплошной контроль и документирование качества работ.

Рассмотрим результаты контроля апостериорной достоверности поверки некоторых типов средств измерений, эксплуатируемых на исследовательском ядерном реакторе, с помощью ПО, разработанного в НИЦ «Курчатовский институт», в условиях как равноточности, так и неравноточности измерений.

Средства измерений характеристик ионизирующих излучений

Ключевыми и наиболее многочисленными средствами измерений на исследовательском реакторе являются разнообразные средства измерений характеристик ионизирующих излучений: дозиметры, радиометры, спектрометрические комплексы, транспортные и пешеходные радиационные мониторы, автоматические системы радиационного контроля и пр. Рассмотрим результаты поверки дозиметра индивидуального электронного DOSICARD в модификации DOSIMAN по мощности индивидуального эквивалента дозы гамма-излучения. Согласно описанию типа (42917-09. “Дозиметры индивидуальные электронные DOSICARD”), пределы измерений данной величины составляют $1 \cdot 10^{-3} \dots 1$ Зв/ч, пределы основ-

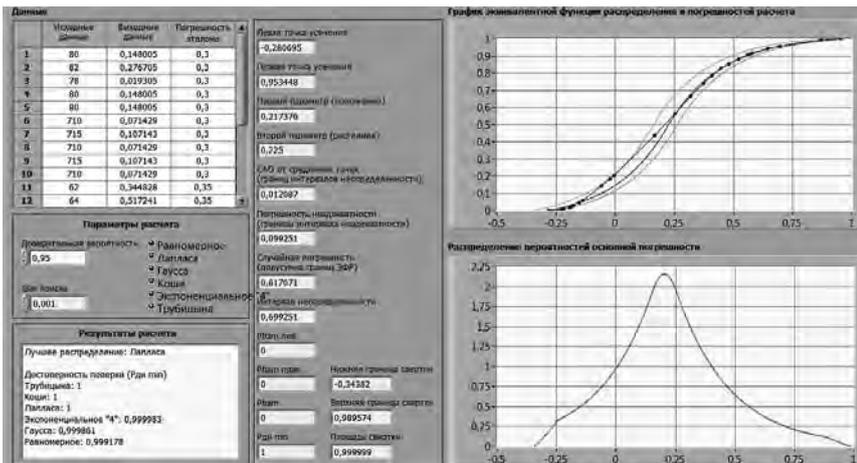


Рис. 1. Результаты идентификации наилучшего распределения по данным протокола поверки дозиметра индивидуального электронного DOSICARD в модификации DOSIMAN

достоверности поверки, выраженный как наибольшая вероятность ошибочного признания годным в действительности дефектного экземпляра средства измерений (МИ 187-86. «МУ ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки»); параметр положения — параметр, характеризующий положение центра распределения; параметр рассеяния — параметр, характеризующий рассеяние распределения относительно центра. Таким образом, генерируемый программой сравнительный отчет позволяет пользователю интерпретировать данные по всем

Таблица 2.

			bam			
	0,099251	0,012087	0	1	0,217376	0,225
	0,095479	0,012545	0	1	0,210335	0,197323
	0,305589	0,020786	0	1	0,952438	0,277581
"4"	0,204158	0,010754	0,000017	0,999983	0,208156	0,392216
	0,104432	0,008784	0,000139	0,999861	0,206156	0,253216
	0,364867	0,120129	0,000822	0,999178	0,336376	0,617071

ной относительной погрешности измерений составляют $\pm 20\%$.

В качестве средств поверки использовались рабочие эталоны 2-го разряда — дозиметрические поверочные установки УПГД-2 и УПД-Интер с доверительными границами основной относительной погрешности измерений, равными $\pm 6\%$ и $\pm 7\%$ соответственно при доверительной вероятности $P=0,95$. Результаты измерений, полученные при поверке, приведены в табл. 1.

В столбце «Эталон» табл. 1 приведены значения мощности эквивалентной дозы, воспроизводимые рабочими эталонами в поверочных точках, в столбцах «Изм. 1...5» — значения, воспроизводимые поверяемым средством измерений.

Эти данные были использованы для расчета инструментальной достоверности поверки с помощью ПО «Контур-КИ». Поскольку рабочие эталоны имеют разные значения доверительных границ основной относительной погрешности, был использован режим неравноточных измерений. Результаты идентификации наилучшего распределения вероятностей, расчета его параметров и инструментальной достоверности поверки представлены на рис. 1.

Сравнительный отчет по итогам расчета параметров всех распределений представлен в табл. 2.

В табл. 2 показаны: САО — среднее абсолютное отклонение от границ интервалов неопределенности статистической функции распределения (обозначены точками на верхнем графике рис. 1); P_{bam} — критерий

распределениям и всем параметрам в соответствии с конкретной измерительной задачей.

Программа «Контур-КИ» признает лучшим распределение Лапласа. Поскольку достоверность поверки превышает требуемую в государственной поверочной схеме норму доверительной вероятности, равную 0,95, средство измерений удовлетворяет требованиям данного нормативного документа и может применяться в дальнейшем.

Средства измерений давления

Средства измерения давления — технические манометры используются в насосных исследовательских ядерных реакторов для определения уровня давления теплоносителя. Для примера приведены результаты поверки манометра технического класса точности 1,5 с пределом измерений 10 кгс/см² по прямому и обратному ходу. В качестве средства поверки использовался рабочий эталон — манометр цифровой типа МО-05 с пределом допускаемой основной погрешности, равным 0,1% от верхнего предела измерений диапазона, составляющего 1 МПа. Поскольку

Таблица 3.

	0	2	4	6	8	10
, / 2	0	1,91	3,92	5,96	8,02	10,09
, / 2	0	1,87	3,90	5,99	8,00	10,07

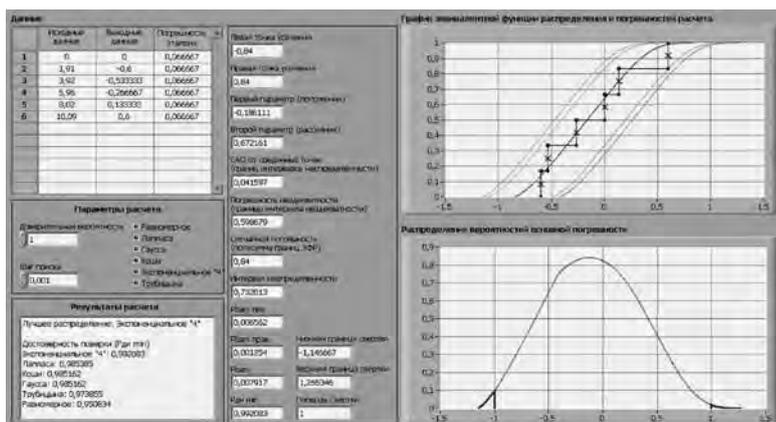


Рис. 2. Результаты идентификации наилучшего распределения по данным протокола поверки технического манометра по прямому ходу

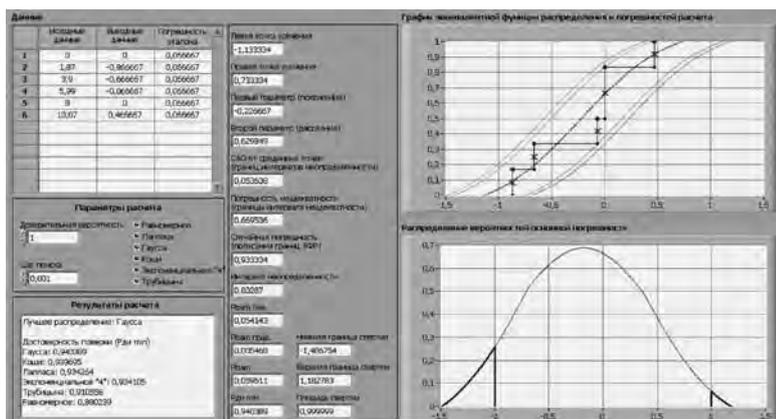


Рис. 3. Результаты идентификации наилучшего распределения по данным протокола поверки технического манометра по обратному ходу

ку как для поверяемого средства измерений, так и для рабочего эталона установлены пределы допускаемой основной погрешности. Норма доверительной вероятности принимается равной 1.

Результаты измерений, полученные при поверке, приведены в табл. 3, где в строке «Значение в поверочной точке» указано эталонное значение давления в каждой поверочной точке, в строках «Прямой/Обратный ход» — значения, воспроизводимые поверяемым манометром при поверке по прямому/обратному ходу.

Поскольку соотношение пределов основной погрешности рабочего эталона и поверяемого манометра не меняется, был использован режим равноточных измерений. Результаты идентификации наилучшего распределения вероятностей, расчета его параметров и инструментальной достоверности поверки для прямого и обратного хода представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Из рисунков видно, что максимальная достоверность поверки по прямому ходу составляет 0,992083 для двойного экспоненциального распределения с параметром формы «4», а по обратному ходу — 0,940389 для распределения Гаусса. Эти значения не соответству-

Невская Екатерина Евгеньевна — начальник лаборатории Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Контактный телефон (499) 196-74-82. E-mail: Nevskaya_EE@nrcki.ru

ют требованиям государственной поверочной схемы по доверительной вероятности. Несмотря на это, положения действующей методики поверки (МИ 2124-90. «Рекомендация. ГСИ. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры показывающие и самопишущие. Методика поверки») позволяют признать манометр годным.

Таким образом, по результатам контроля апостериорной достоверности поверки методом контурного оценивания данное средство измерений не рекомендуется применять для ответственных работ, в том числе для оценки давления теплоносителя в системе исследовательского ядерного реактора.

Закключение

Из проведенных расчетов и представленных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Текущий подход к составлению методик поверки ряда средств измерений, в том числе ионизирующих излучений, не всегда позволяет сделать правильный вывод о годности или негодности средства измерений к дальнейшей эксплуатации. Исследование протоколов поверки рабочих приборов показало, что часть из них следовало забраковать.

2. Метод контурного оценивания основной погрешности измерений позволяет оценить достоверность поверки по данным протоколов и может быть успешно применен в любой области измерений.

3. Применение программных средств для реализации метода контурного оценивания в условиях как равноточности, так и неравноточности измерений способно облегчить его внедрение в поверочных лабораториях и унифицировать представление результатов, а также помогает избежать ошибок, связанных с построением графиков и расчетами вручную.

Список литературы

1. Левин С.Ф. Обеспечение единства измерений при поверке средств измерений // Измерительная техника. 2005. № 8. С. 14-18.
2. Гогин С.С. Программа «ММИ-Поверка» // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 20-21; Gogin S.S. The MMI-check program // Measurement Techniques. 2006. V. 49. P. 657-659.
3. Сулейман И.А. Методика решения измерительной задачи поверки на основе усеченных функций распределения // Измерительная техника. 2012. № 1. С. 28-30.
4. Невская Е.Е. Программное обеспечение для контроля инструментальной достоверности поверки средств измерений // Сб. трудов XV междуна. научно-практич. конференции NIDays-2016. М.: ДМК Пресс. 2016. С. 76-78.