**Выдержки**

из стандарта Госкорпорации «Росатом» СТО 95 12073-2021 «Программное обеспечение, применяемое в измерительных целях. Основные требования»

# 1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на программное обеспечение, применяемое в измерительных целях.

1.2 Настоящий стандарт устанавливает классификацию программного обеспечения и требования по оценке влияния программного обеспечения на показатели точности измерений.

1.3 Настоящий стандарт предназначен для применения в организациях Госкорпорации «Росатом», осуществляющих и заказывающих услуги и работы по:

− разработке программного обеспечения, применяемого в измерительных целях;

− разработке и испытаниям средств измерений, в т.ч. в целях утверждения типа;

− разработке и аттестации методик (методов) измерений;

− разработке и аттестации испытательного оборудования (в части измерений);

− разработке технических систем и устройств с измерительными функциями (в части измерений).

1.4 Настоящий стандарт не распространяется на программное обеспечение, применяемое в области, связанной с разработкой, изготовлением, испытанием, эксплуатацией и утилизацией ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения.

1.5 Настоящий стандарт может применяться на добровольной основе организациями, не являющимися организациями Госкорпорации «Росатом», выполняющими на договорной основе работы для организаций Госкорпорации «Росатом». Необходимость применения стандарта в организациях, не являющихся организациями Госкорпорации «Росатом», определяется договорными соглашениями на выполнение работ для Госкорпорации «Росатом».

# 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ Р 8.596-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

ГОСТ Р 8.654-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.839-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к измерительным приборам с программным управлением

ГОСТ Р 8.883-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний

ГОСТ Р 8.997-2021 Государственная система обеспечения единства измерений. Алгоритмы оценки метрологических характеристик при аттестации методик измерений в области использования атомной энергии

ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей

ГОСТ Р ИСО 3534-2-2019 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 2. Прикладная статистика

СТО 95 12056-2019 Аттестация испытательного оборудования. Требования в области использования атомной энергии

СТО 95 12066-2020 Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Термины и определения

СТО 95 12072-2021 Метрологический надзор в области использования атомной энергии. Основные положения и процедуры проведения

Примечание―При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

# 3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по РМГ 29-2013 [1], ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019, ГОСТ Р ИСО 3534-2-2019, СТО 95 12066-2020, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **автономное программное обеспечение (применяемое в измерительных целях)**: Самостоятельный программный продукт, осуществляющий решение определенного вида измерительных задач в целях дальнейшего применения при измерениях в составе средств измерений (в том числе вычислительных компонентов измерительных систем), в составе конкретных методик измерений, а также при испытаниях или калибровке конкретных средств измерений, аттестации конкретных методик измерений.

3.1.2

|  |
| --- |
| **алгоритмы программного обеспечения:** Последовательности арифметических и логических операций, производимых над измерительной информацией (с учетом априорной информации) с целью определения результатов измерений, а также для реализации хранения, защиты и передачи измерительной информации.Примечание― Алгоритмы могут быть заданы различными способами, в том число представлены в явном виде (конечной последовательностью арифметических и логических операций) или в виде рекуррентной процедуры.[ГОСТ Р 8.883-2015, пункт 3.1] |

3.1.3

|  |
| --- |
| **идентификационные данные (признаки) программного обеспечения:** Однозначно связанная с конкретным программным обеспечением последовательность символов (букв, цифр и т.п.), например контрольная сумма.[ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.4] |

3.1.4

|  |
| --- |
| **идентификация программного обеспечения:** Проверка и подтверждение подлинности и целостности программного обеспечения, выраженное в символах (буквах, цифрах), однозначно соответствующих программному обеспечению (например, контрольная сумма).[ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.5] |

3.1.5

|  |
| --- |
| **интерфейс пользователя** (user interface)**:** Интерфейс, обеспечивающий прохождение обрабатываемой информации (данных) между пользователем и средством измерений либо между пользователем и аппаратными или программными компонентами средства измерений. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.7] |

3.1.6

|  |
| --- |
| **контрольная сумма:** Число, рассчитанное путем проведения определенных операций над входными данными (например, хеш-сумма, электронная подпись), обычно используемое для проверки правильности передачи данных по каналам связи. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.10] |

3.1.7

|  |
| --- |
| **метрологически значимая часть программного обеспечения:** Программы и программные модули, выполняющие обработку измерительной информации и реализующие функции по идентификации и защите программного обеспечения средства измерений. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.11] |

3.1.8

|  |
| --- |
| **непреднамеренные изменения программного обеспечения:** Непредумышленные, случайные воздействия на программное обеспечение и измерительную информацию, вызванные ошибками в проектировании средства измерений, в программировании, а также действиями персонала и воздействиями случайных физических факторов.[ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.12] |

3.1.9

|  |
| --- |
| **опорное программное обеспечение:** Программное обеспечение, используемое для сравнения с испытываемым программным обеспечением и отвечающее повышенным требованиям к его вычислительным и функциональным характеристикам, подтвержденным (в ряде случаев независимыми методами) при его неоднократном тестировании и применении. [ГОСТ Р 8.883-2015, пункт 3.4] |

3.1.10

|  |
| --- |
| **организации Госкорпорации «Росатом»:** Федеральные государственные унитарные предприятия, в отношении которых Госкорпорация осуществляет от имени Российской Федерации полномочия собственника имущества, акционерные общества, акции которых принадлежат Российской Федерации и в отношении которых Госкорпорация «Росатом» осуществляет полномочия акционера, их дочерние общества, хозяйственные общества, акции (доли) которых, находятся в собственности Госкорпорации, их дочерние общества, некоммерческие организации, контролируемые Госкорпорацией «Росатом» и вышеуказанными организациями, и организации, которые контролируются указанными некоммерческими организациями.[СТО 95 12072-2021 пункт 3.1.8] |

3.1.11 **оценка влияния (программного обеспечения):** Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений или на показатели точности измерений, а также проверка уровня защиты программного обеспечения и его идентификационных признаков.

3.1.12

|  |
| --- |
| **преднамеренные изменения программного обеспечения:** Сознательные воздействия на программное обеспечение и измерительную информацию с целью их искажения. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.15] |

3.1.13

|  |
| --- |
| **проверка защиты программного обеспечения:** Исследование программного обеспечения с целью подтверждения идентификационных данных (признаков) и оценки уровня его защиты в соответствии с требованиями законодательства в области обеспечения единства измерений.[ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.16] |

3.1.14

|  |
| --- |
| **программное обеспечение средства измерений:** Программы (совокупность программ), предназначенные для использования в средстве измерений и реализующие в том числе сбор, передачу, обработку, хранение и представление измерительной информации, а также программные модули и компоненты, необходимые для функционирования этих программ. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.17] |

3.1.15

|  |
| --- |
| **программное разделение** (software separation)**:** Выделение в программном обеспечении метрологически значимой и незначимой частей.[ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.18] |

3.1.16

|  |
| --- |
|  |
| **технические системы и устройства с измерительными функциями:** Технические системы и устройства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции. [[2], [статья 2](http://docs.cntd.ru/document/902107146), [пункт 23](http://docs.cntd.ru/document/902107146)]   |

3.1.17

|  |
| --- |
| **целостность программного обеспечения и данных** (integrity of data and software)**:** Состояние программного обеспечения и данных, характеризующееся отсутствием изменений преднамеренного или случайного характера. [ГОСТ Р 8.654-2015, пункт 3.20] |

Примечание – Термины и определения, приведенные в ГОСТ Р 8.654-2015 и ГОСТ Р 8.883-2015, относятся к программному обеспечению средств измерений. В настоящем стандарте эти термины относятся и к программному обеспечению методик измерений, а также к автономному программному обеспечению.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ИК | – | измерительный канал; |
| ИО | – | испытательное оборудование; |
| ИС | – | измерительная система; |
| МВИ | – | методика (метод) измерений; |
| МХ | – | метрологические характеристики; |
| ПО | – | программное обеспечение; |
| СИ | – | средство измерений; |
| СКО | – | среднее квадратическое отклонение. |

# 4 Общие положения

4.1 Программное обеспечение, применяемое в измерительных целях, может быть реализовано в:

− СИ, включая ИК, ИС, в том числе в СИ из состава технических систем и устройств с измерительными функциями;

− вычислительных средствах, применяемых в МВИ;

− вычислительных средствах многоцелевого назначения, которые могут быть использованы для решения определенного вида измерительных задач в совокупности с различными типами технических средств (СИ, ИО и т.д.).

4.2 Проверку наличия идентификационных данных (признаков) и оценку уровня защиты ПО СИ от изменений проводят в соответствии с ГОСТ Р 8.654, ГОСТ Р 8.883.

4.3 Значения вклада ПО в МХ СИ или показатели точности измерений МВИ в настоящем стандарте называются характеристиками погрешности ПО: систематической и случайной составляющими погрешности ПО.

Примечания

1 ПО не имеет случайной составляющей погрешности, поскольку при многократной обработке одного и того же набора входных данных всегда будет получен один и тот же результат. Однако, если входные данные ПО - случайные величины, результаты их обработки также будут случайными величинами.

2 Из ГОСТ Р 8.883 не ясно, какие именно характеристики влияния ПО на МХ СИ следует оценивать. Исполнительная характеристика и относительное отличие тестовых результатов вычислений от опорных (ГОСТ Р 8.883-2015 (подпункты 6.5.8.2, 6.5.8.3))безусловно дают некоторую интегральную оценку вычислительной точности ПО. Однако они основаны на постоянстве «погрешности» ПО во всем диапазоне, что не всегда выполняется, и, самое главное, не ясно, как их использовать для дальнейшего применения. Упомянутая в ГОСТ Р 8.883-2015 (пункт 6.5.1) характеристика «значение вклада ПО в суммарную погрешность СИ» более точно отражает понятие «степень влияния на МХ СИ», но «вклад ПО в суммарную погрешность СИ» не всегда надо оценивать (см. 6.1).

4.4 При метрологической экспертизе технической документации на ПО, СИ, МВИ проверяется наличие в ней учета характеристик погрешности ПО.

4.5 Оценка влияния выполняющего измерительные функции ПО является составной частью услуг и работ, приведенных в пункте 1.3. настоящего Стандарта? Результаты оценки влияния (оценки характеристик погрешности) ПО учитывают, как составную часть МХ СИ при испытаниях, в т.ч. при испытаниях в целях утверждении типа, и/или калибровке СИ, или как составную часть показателей точности измерений при аттестации МВИ.

4.6 Оценку влияния также целесообразно проводить для автономного ПО, являющегося самостоятельным продуктом, в целях дальнейшего применения результатов этой оценки при испытаниях или калибровке конкретных СИ, аттестации конкретных МВИ или для применения ПО в составе СИ, в т.ч. вычислительных компонентов ИС, с возможностью его замены на другое ПО, в т.ч. при совершенствовании (модификации) версии ПО.

4.7 В соответствии с Метрологическими требованиями [3] все ПО с измерительными функциями, применяемое в области использования атомной энергии, должно быть аттестовано[[1]](#footnote-1), если оно метрологически значимо, и вклад ПО в суммарную погрешность измерений не был учтен в процессе экспериментальных исследований ИК (ИС), комплексного компонента или МВИ в рамках испытаний для целей утверждения типа ИС или аттестации МВИ. Требования на работы (услуги) по применению ПО на объектах использования атомной энергии заказчик разработки (испытаний СИ, разработки и аттестации МВИ или отдельного ПО, применяемого в измерительных целях) должен устанавливать в техническом задании.

4.8 Методы, применяемые при оценке характеристик погрешности ПО, соответствуют методам, указанным в ГОСТ Р 8.883:

− сравнительные испытания с применением опорного («эталонного») ПО;

− сравнительные испытания с использованием моделей исходных данных, либо с применением метода генерации «эталонных» данных;

Примечание― Метод генерации является одним из способов получения моделей исходных данных.

− при наличии нескольких ПО сопоставимого уровня вычислительных возможностей и в отсутствие опорного («эталонного») ПО – сличения, подобные сличению эталонов;

− испытания на основе анализа исходного кода ПО, а также комбинации указанных методов.

4.9 Применяют два варианта оценки влияния ПО на МХ СИ или на показатели точности измерений:

а) оценка влияния ПО может проводиться отдельно от оценки влияния других компонентов СИ или МВИ;

б) влияние ПО отдельно не оценивается, а оцениваются МХ СИ или показатели точности измерений по МВИ в целом (СИ или МВИ рассматриваются как «черный ящик»), при этом вклад ПО оказывается учтенным.

В настоящем стандарте описаны условия применимости этих вариантов. При этом второй вариант в части оценки влияния ПО не рассматривается, т.к. при возможности его реализации отдельную оценку влияния ПО на МХ СИ или на показатели точности измерений можно не проводить.

4.10 В случае варианта перечисления а) 4.9? результаты оценки влияния ПО на МХ СИ или на показатели точности измерений представляют в виде доверительных границ систематической составляющей погрешности ПО и верхней границы доверительного интервала СКО случайной составляющей погрешности ПО.

4.11 Подходы к оцениванию влияния ПО на МХ СИ или на показатели точности измерений определяются приведенной в разделе 5 классификацией ПО по отношению к его назначению.

# 5 Классификация программного обеспечения

5.1 ПО классифицируют по следующим основным признакам:

− назначение в отношении к измерительной информации;

− степень автономности и привязки к конкретным техническим средствам.

Примечание ― Встречается классификация и по другим признакам (по степени защищенности, по возможности выделения метрологически значимой части, по возможности загрузки модифицированных версий ПО). Принятые здесь признаки

классификации необходимы для определения дальнейших подходов к оценке влияния ПО.

5.2 По назначению в отношении к измерительной информации ПО классифицируют на следующие виды:

а) ПО, предназначенное для обработки измерительной информации, в т.ч. измерительных преобразований и вычислительных операций (далее – «измерительное» ПО);

б) ПО, предназначенное для сбора, передачи, хранения, вывода и отображения измерительной информации (далее – «вспомогательное» ПО);

в) ПО, предназначенное для настройки и (или) градуировки СИ (далее – «градуировочное» ПО);

г) ПО, предназначенное для специальной обработки данных в целях метрологического обслуживания СИ – поверки, калибровки, определения метрологических характеристик СИ при испытаниях (в т.ч. в целях утверждения типа), выполнения процедур контроля точности измерений по МВИ (далее – «метрологическое» ПО).

5.3 По степени автономности и привязки к конкретным техническим средствам ПО классифицируют на следующие виды:

а) встроенное ПО – жестко привязанное к конкретному типу или экземпляру технического средства, разработанное специально для решения поставленных измерительных задач;

б) прикладное ПО – допускающее выделение ПО или его части как самостоятельного объекта оценки его влияния, разработанное:

1) в среде универсальных языков программирования (С++, Delphi, Jawa и т.д.),

2) в среде, предназначенной для широкого применения при проведении инженерно-технических и математических вычислений (Microsoft Excel, MathCad, MATLAB, и т.д),

3) в среде, предназначенной для создания ПО узкоспециализированного назначения (SIAMS PhotoLab для обработки изображений и т.д.).

Прикладное ПО обычно реализуется на универсальных компьютерах многоцелевого назначения и может быть использовано в совокупности с различными типами технических средств (СИ, испытательного оборудования и т.д.).

5.4 В общем случае совокупность программ (программных модулей) может включать ПО всех видов по 5.2.

Программного разделения по видам 5.2 не требуется, однако при возможности такое разделение целесообразно.

Разделение ПО рекомендуется осуществлять путем объединения всех процедур каждого из четырех видов ПО по 5.2 в отдельные программные модули.

Примечания

1 Если разделение не выполнено, то при оценке влияния такого ПО вследствие недоступности входа ПО может оказаться невозможным проведение функциональных проверок целостности измерительной информации при ее получении (сборе), передаче, хранении. Поэтому в таком случае рекомендуется проводить тестирование «вспомогательного» ПО.

2 Объединение всех процедур каждого из видов ПО по 5.2 в отдельные программные модули может осуществляться путем создания динамических библиотек и т.п. Вызов процедур из этих библиотек может осуществляться сервисной прикладной программой, не выполняющей измерительных функций, или специально разработанной программой для тестирования ПО.

Должно быть предусмотрено документирование вызова процедур и описана структура входных данных каждого вида ПО. Тем самым будет обеспечена доступность ПО по входу, согласно Метрологическим требованиям [3].

5.5 Технические средства, перечисленные в 4.1, могут содержать ПО обоих видов по 5.3. Оценка и/или учет влияния ПО на показатели точности измерений или метрологические характеристики СИ должна быть проведена для ПО каждого вида по 5.3.

Для прикладного автономного ПО в соответствии с перечислением б) 5.3, целесообразной является отдельная оценка влияния ПО, что в случае незначимости характеристик погрешности ПО позволяет проводить доработку (модернизацию, замену) ПО ИС или МВИ без проведения новых исследований в соответствии с Метрологическими требованиями [3].

5.6 В случае, если встроенное или прикладное «измерительное» ПО содержит открытые интерфейсы пользователя для задания параметров выполнения измерений или обработки измерительной информации, причем эти параметры могут влиять на МХ СИ и показатели точности измерений, то это влияние должно быть описано в документации на ПО и учитываться при оценке вклада ПО в показатели точности измерений.

# 6 Алгоритмы оценки влияния программного обеспечения

# 6.1 Условия отдельной оценки влияния программного обеспечения

6.1.1 Отдельная оценка влияния «измерительного» ПО на показатели точности измерений или МХ СИне проводится (см. перечисление б) 4.9), если выполняются следующие условия:

− программа испытаний, или методика первичной калибровки СИ, или алгоритм оценивания показателей точности МВИ при ее аттестации позволяет достоверно определить МХ СИ (показатели точности измерений) путем сравнения получаемых результатов измерений с опорными величинами (величинами, воспроизводимыми эталонами, стандартными образцами, получаемыми методом добавок и т.д.);

− выполнены все требования ГОСТ Р 8.654 по подтверждению отсутствия искажения результатов измерений;

− интерфейс пользователя не предусматривает задания параметров, влияющих на показатели точности измерений или МХ СИ.

При этом значение вклада ПО в характеристики погрешности СИ или показатели точности измерений остается неизвестным, но для пользователя это обстоятельство является несущественным, т.к. ему известны характеристики погрешности СИ или МВИ в целом.

Оценка вклада ПО в характеристики погрешности методами, указанными в 4.8, может проводиться для доработки ПО в целях уменьшения погрешности результатов измерений.

6.1.2 В случае, если «вспомогательное» ПО не влияет на показатели точности измерений или МХ СИ, то его оценку не проводят. Для случая оценки погрешности «вспомогательного» ПО, обусловленной округлением, пример приведен в 7.2.

6.1.3 Для «градуировочного» и «метрологического» ПО должна проводиться оценка влияния ПО.

Примечание―Эти виды ПО могут влиять на показатели точности измерений или МХ СИ вследствие неадекватности модели градуировочной характеристики, некорректности формул, применяемых для расчета МХ, и т.д.

6.1.4 В случае, если для «градуировочного» ПО не проводится отдельная оценка его влияния (см. 6.1), при оценке МХ СИ (при проведении испытаний, поверке или калибровке) должен применяться другой комплект эталонов, чем примененный при градуировке СИ. При применении того же комплекта эталонов необходимо оценить погрешность построения градуировочной характеристики с учетом погрешности эталонов в соответствии с приложением А.

 Примечание ― В противном случае оценка систематической составляющей погрешности СИ будет занижена.

# 6.2 Оценка влияния «измерительного» программного обеспечения на показатели точности измерений

6.2.1 Оценку влияния «измерительного» ПО на показатели точности измерений проводят способами, указанными в 4.8.

Примечание―Наиболее распространенным является способ проведения испытаний с использованием моделей входных данных. Применение остальных способов является сравнительно редким.

Возможно применение комбинации указанных способов, а также применение разных способов к разным модулям ПО, если это позволяет оценить влияние на показатели точности измерений «измерительного» ПО в целом.

6.2.2 Способ проведения сравнительных испытаний применяется при наличии опорного («эталонного») ПО, с помощью которого могут быть идентично воспроизведены функции оцениваемого ПО.

Для одного и того же набора данных, поступающих на вход ПО, оценка абсолютной погрешности оцениваемого ПО вычисляется по формуле

 $\hat{Δ}=X\_{атт}-X\_{эт}$ , (1)

где $X\_{атт}$ – результат измерения, полученный оцениваемым ПО;

$X\_{эт}$ – результат измерения, полученный опорным ПО.

Оценка относительной погрешности оцениваемого ПО вычисляется по формуле

 $\hat{δ}=100\%⨯\hat{Δ}$/$X\_{эт }$ (2)

6.2.3 Способ сличения нескольких ПО одинакового назначения применяется при наличии нескольких программ сопоставимого уровня точности в отсутствие опорного («эталонного») ПО.

Результатами такого сличения могут быть:

− выбор одного ПО в качестве опорного;

− допуск к применению нескольких ПО (возможно, с разными характеристиками погрешности);

− согласованное введение поправок к результатам измерений, получаемым с использованием разных ПО.

***Пример – Сличению подверглись три ПО и получены три результата измерений, причем X1<X2<X3. Возможны варианты:***

***а) ПО № 2 выбирается в качестве опорного;***

***б) ПО №№ 1 и 3 допускаются к применению, при этом оценки их погрешности вычисляются по формуле (1);***

***в) Во всех ПО предусматривается введение поправок*** $P\_{j}$***, вычисляемых по формуле***

$P\_{j}=\overbar{X}-X\_{j}$ ***,*** (3)

***где*** $\overbar{X}$ ***- среднее значение результатов Хj .***

6.2.4 Способ испытаний на основе анализа исходного кода «измерительного» ПО применяется для оценки вклада «измерительного» ПО в показатели точности измерений:

− для сравнительно простого «измерительного» ПО;

− для отдельных модулей «измерительного» ПО.

Основной задачей такого способа испытаний является установление адекватности выбранных алгоритмов ПО измерительной задаче (в частности, выявление неустойчивых алгоритмов). По результатам испытаний в случае выявления неадекватности разработчику ПО могут быть выданы рекомендации по доработке ПО.

Если оцениваемое ПО (часть ПО) выполняет простые преобразования входных данных $X\_{1},X\_{2},…X\_{m}$, которые описаны аналитической дифференцируемой функцией

$Y=f\left(\vec{a},X\_{1},X\_{2},…X\_{m}\right)$ , (4)

где $\vec{a } $– вектор параметров аналитической функции, то оценки характеристик погрешности оцениваемого ПО можно вычислить по формулам

 $\hat{Δ}\_{ад}=f\left(\vec{a},X\_{1},X\_{2},…X\_{m}\right)-F\left(\vec{a},X\_{1},X\_{2},…X\_{m}\right)$ , (5)

$\hat{θ}=1,96\sqrt{\sum\_{i=1}^{m}\left(\frac{∂F}{∂X\_{i}}\frac{θ\_{i}}{\sqrt{3}}\right)^{2}},$ (6)

$\hat{σ}=\sqrt{\sum\_{i=1}^{m}\left(\frac{∂F}{∂X\_{i}}σ\_{i}\right)^{2}},$ (7)

где$ \hat{Δ}\_{ад} $– оценка систематической составляющей погрешности оцениваемого ПО, обусловленной неадекватностью алгоритма ПО измерительной задаче;

 $F\left(\vec{a},X\_{1},X\_{2},…X\_{m}\right)$ – «эталонная» функция, которая адекватно описывает измерительную задачу;

$\hat{θ}$ – оценка доверительных границ систематической составляющей погрешности оцениваемого ПО, обусловленной систематическими погрешностями входных данных и нелинейностями их преобразования;

*θi* – оценки пределов систематических погрешностей входных данных;

 $\hat{σ}$ – оценка среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности оцениваемого ПО,

 *σi* – оценки СКО случайной составляющей погрешности входных данных $X\_{1},X\_{2},…X\_{m}$.

Примечания

1 В формуле (6) предполагается равномерный закон распределения систематических погрешностей входных данных.

2 В формуле (7) предполагается, что входные данные не коррелированы друг с другом.

# 6.3 Способ оценки влияния программного обеспечения с использованием моделей входных данных

6.3.1 Модели входных данных задают следующими способами:

а) в виде одномерного или многомерного массива значений, вычисляемых как значения аналитической функции, описывающей совокупность данных на входе «измерительного» ПО – при возможности описания входных данных аналитической функцией;

б) в виде одномерного или многомерного массива значений, вычисляемых по значениям, полученным из реальных входных данных путем их специальной обработки, например, аппроксимаций путем сглаживания, представлением в виде сплайна, кусочно-полиномиальной аппроксимацией и т.д. – при невозможности описания входных данных аналитической функцией, но при возможности имитировать особенности входных данных;

в) в виде совокупности реальных входных данных – при невозможности имитировать особенности входных данных;

г) в виде последовательности входных значений (потока), имитирующей поступление данных на вход «измерительного» ПО в режиме реального времени.

Примеры задания моделей входных данных приведены в приложениях Б, В, Г.

6.3.2 Во всех случаях имитируемые входные данные должны позволять рассчитать ожидаемый результат на выходе «измерительного» ПО. В случае в) 6.3.1 для оценки ожидаемого результата возможно использование экспертной обработки реальных входных данных. Такие совокупности реальных входных данных, характеристики которым приписаны путем экспертных оценок, представляют собой образы объектов – один из видов аттестованных объектов в соответствии с Метрологическими требованиями [3]. Пример применения образов объектов приведен в приложении Г.

6.3.3 Если для входных данных характерна значимая случайная составляющая погрешности, то к их вычисленным наилучшим значениям должны быть добавлены случайные числа, имитирующие наличие случайной составляющей погрешности. Рекомендуемые методы генерации случайных чисел описаны в приложении Д. В этом случае для одного и того же массива исходных данных должно быть получено несколько (рекомендуется не менее 20) наборов сгенерированных входных данных с целью оценки случайной и систематической составляющих погрешности «измерительного» ПО.

6.3.4 При моделировании потока входных значений, соответствующих перечислению г) 6.3.1, возможно статистическое моделирование не только случайной составляющей погрешности входных данных, но и разных интервалов времени между сигналами, подаваемыми на вход «измерительного» ПО, путем задания программными средствами временных задержек.

6.3.5 Оценки систематической и случайной составляющих погрешности «измерительного» ПО вычисляют по классическим формулам

$\hat{θ}=\overbar{Y}-Y\_{оп}=\frac{1}{n}\sum\_{j=1}^{n}Y\_{j}-Y\_{оп}$ (8)

 $\hat{σ}=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum\_{1}^{n}\left(Y\_{j}-\overbar{Y}\right)^{2}}$ (9)

где *Y*оп – ожидаемый результат обработки входных данных;

*Y*j – полученный результат обработки входных данных для *j*-ого набора сгенерированных входных данных.

6.3.6 Полуширину доверительного интервала для оценки систематической составляющей погрешности «измерительного» ПО вычисляют по формуле

$T=\frac{t\_{n-1,P}\hat{σ}}{\sqrt{n}}$ (10)

где *tn-1,P* – квантиль распределения Стьюдента с (*n*–1) степенями свободы для двустороннего уровня *Р* (как правило, *Р*=0,95).

Верхнюю границу доверительного интервала для оценки СКО случайной составляющей погрешности вычисляют по формуле

$=ϰ\hat{σ}=\sqrt{\frac{n-1}{χ\_{n-1,P}^{2}}}\hat{σ}$ , (11)

где $χ\_{n-1,P}^{2}$ – квантиль распределения с (*n*–1) степенями свободы для одностороннего уровня *Р* (как правило, *Р*=0,95).

6.3.7 В модели исходных данных могут быть включены (ГОСТ Р 8.883-2015, подпункт 6.5.4.3):

− данные, полностью перекрывающие диапазон возможных значений;

− данные, близкие к наибольшим и наименьшим значениям, а также ряд промежуточных значений;

− особые значения входных переменных;

− точки резкого возрастания или разрыва производных, нулевые, единичные и предельно малые численные значения переменных и т.п.

Если значения некоторой входной переменной зависят от значения другой входной переменной, то в модели исходных данных включают особые сочетания этих переменных, такие как равенство обеих переменных, малое и предельно большое их различие, нулевые и единичные значения и т.п.

Если ПО содержит открытые интерфейсы пользователя для задания параметров выполнения измерений или обработки измерительной информации согласно 5.6, то должно быть проведено исследование влияния этих параметров на показатели точности измерений.

Примечание―Примером таких параметров являются параметры фильтрации входных данных, характеристики объекта измерений, продолжительность набора измерительной информации и т.д.

6.3.8 Результаты оценки характеристик погрешности «измерительного» ПО рекомендуется представлять в виде простых функциональных зависимостей предельных значений или верхней границы доверительного интервала характеристик погрешности от значения измеряемой величины.

Если построение доверительного интервала невозможно, то функциональную зависимость строят «вручную» так, чтобы все оценки с учетом доверительного интервала (см. 6.3.6) не превышали значений, вычисленных по этой функциональной зависимости. Пример построения такой функциональной зависимости приведен в приложении В.

Примечание― Такая ситуация, например, возникает, если погрешность ПО в большей степени определяется особенностями входных данных, чем значением измеряемой величины.

6.3.9 Некоторые программные средства вычисляют оценки случайной (статистической) погрешности. Главным образом это относится к программным средствам, обрабатывающим промежуточные результаты измерений ионизирующих излучений.

В этом случае количество импульсов *N*, зарегистрированное детектором излучения в фиксированных условиях, подчиняется закону распределения Пуассона, для которого дисперсия равна математическому ожиданию. Поэтому при обработке одиночного пика в гамма спектре оценка СКО случайной составляющей погрешности измерения площади пика *N*п вычисляется по формуле

 $\hat{σ}=\sqrt{N\_{п}+2N\_{ф}}$ . (12)

В таком случае необходимо провести модельные исследования зависимости величины $\hat{σ}$ от величины полезного сигнала *N*п и величины фона *N*ф, как для случая одиночного пика, так и для случая недостаточно разрешенных пиков разной интенсивности и на этой основе проверить правильность расчета случайной (статистической) погрешности ПО.

# 6.4 Оценка влияния «градуировочного» программного обеспечения на показатели точности измерений

6.4.1 Для построения градуировочной характеристики в нескольких точках диапазона, задаваемых известными значениями источников входного сигнала (эталонов, стандартных образцов, аттестованных объектов), *Хj* проводят многократные измерения величины выходного сигнала *Yjk* и вычисляют их средние значения *Yj* по формуле

 $Y\_{j}=\left(1/L\right)\sum\_{k=1}^{L}Y\_{jk}$, (13)

где *j* – порядковый номер точки диапазона: *j* = 1, 2, ……, *n* (*n* – количество точек диапазона);

 *k* – порядковый номер результата измерений величины выходного сигналав данной точке диапазона;

 *L* – количество результатов измерений в данной точке диапазона.

Для полученных пар значений (*Хj*, *Yj*), вычисляют соответствующие им значения оценок СКО *σxj,σyj*. В качестве *σxj*принимают величины

*σxj =*Δэт*j*/$\sqrt{3}$, (14)

где Δэт*j* – границы погрешности воспроизведения входного сигнала (в предположении о равномерном распределении). Оценки $σ\_{yj}$ вычисляют по формуле

 $σ\_{yj}=\sqrt{\frac{1}{L(L-1)}\sum\_{k=1}^{L}\left(Y\_{jk}-Y\_{j}\right)^{2}}$ (15)

Далее строят градуировочную характеристику в соответствии с приложением А, т.е. находят коэффициенты $\vec{a}$ функциональной зависимости

 $Y=F\left(X,\vec{a}\right)$ (16)

и доверительные границы погрешности градуировочной характеристики

*Δгр=IX(X)*/2 . (17)

В дальнейшем при измерениях коэффициенты $\vec{a}$ используют для вычисления результата измерения *Х* по величине выходного сигнала *Y.*

6.4.3 На погрешность построения градуировочной характеристики влияют следующие факторы:

а) неправильность математической модели (вид функции, описывающей градуировочную характеристику);

б) погрешности источника входного сигнала;

в) погрешности определения величин выходного сигнала;

г) возможная некорректность алгоритма построения градуировочной характеристики.

Если эти факторы не учитываются или не полностью учитываются в конкретной реализации «градуировочного» ПО, это приведет к погрешности «градуировочного» ПО.

6.4.4 Оценка влияния «градуировочного» ПО на МХ СИ осуществляется способом сравнительных испытаний с применением опорного («эталонного») ПО, учитывающего влияние на погрешность построения градуировочной характеристики всех факторов, перечисленных в 6.4.3. В качестве эталонного ПО рекомендуется применять ПО, реализующее алгоритм, описанный в 6.4.2 и приложении А.

6.4.5 Кроме «градуировочного» ПО, осуществляющего построение градуировочной характеристики СИ, применяются и ПО, реализующие более простые алгоритмы настройки СИ. Примером является ПО, предназначенное для «установки нуля» (компенсации собственного входного тока, вычитания фонового сигнала и т.д.). Для такого ПО не требуется отдельной оценки его влияния на МХ СИ. Достаточно описания этой процедуры и регламентации условий (в т.ч. периодичности) ее проведения в эксплуатационной документации на СИ; при этом правильность регламентации условий должна быть подтверждена при испытаниях СИ.

# 6.5 Оценка влияния «метрологического» программного обеспечения на показатели точности измерений

6.5.1 В «метрологическом» ПО должен применяться тот же алгоритм получения результатов измерений, что и в «рабочем» режиме. Выполнение этого условия проверяют при метрологической экспертизе документации на ПО, или экспериментально для СИ в целом (для СИ со встроенным ПО, см. перечисление а) 5.3), путем сопоставления результатов измерений эталона в «рабочем» режиме СИ с приписанными характеристиками эталона.

6.5.2 Путем метрологической экспертизы документации на ПО и функциональной проверкой должно быть установлено соответствие алгоритмов вычисления МХ СИ или показателей точности измерений действующим нормативным документам.

Функциональная проверка проводится способом сравнительных испытаний с применением опорного («эталонного») ПО и включает:

 − фиксацию реальных или генерацию модельных результатов измерения опорных величин, воспроизводимых эталонами;

 − вычисление оценок МХ СИ или показателей точности измерений, путем обработки этих результатов «метрологическим» ПО;

− вычисление оценок МХ СИ или показателей точности измерений, путем обработки этих результатов «опорным» ПО (обычно вычисления несложные, и в качестве «опорного» ПО может использоваться программа в среде Microsoft Excel);

− сравнение оценок МХ СИ.

6.5.3 «Метрологическое» ПО должно обеспечивать вычисление оценок МХ СИ или показателей точности измерений практически с нулевой погрешностью. На практике более чем достаточно, если относительная погрешность не превышает ±0,01 %.

Если при оценке относительной погрешности ПО установлено, что она соответствует данному требованию, то такое ПО может применяться без каких-либо дополнительных процедур.

# 7 Оценка влияния программного обеспечения средств измерений

7.1 Оценка влияния ПО на МХ СИ проводится методами, описанными в разделе 6.

7.2 Если ПО верхнего уровня ИС выполняет достаточно простые вычисления, которые можно описать совокупностью аналитических дифференцируемых функций, оценку влияния ПО проводят путем анализа исходного кода. При этом в расчетных формулах (4)-(7) учитывают составляющие погрешности, обусловленные округлением и/или разрядностью представления чисел в ПО.

Если единственным источником погрешности ПО является разрядность представления чисел и представления чисел одинаковы, то верхнюю оценку относительной погрешности ПО вычисляют по формуле

$δ\_{ПО}=nδ\_{P}×max\left\{Y,X\_{1},X\_{2},…X\_{n}\right\} $, (18)

где *n* – количество арифметических операций в расчетной формуле;

*δР* – погрешность представления числа в ПО;

*Y* – результат вычислений;

$X\_{1},X\_{2},…X\_{m}$ – входные данные ПО.

Несмотря на малую величину *δР* рекомендуется проводить оценку значимости погрешности ПО.

Примечания

1 При четырехбайтном представлении вещественных чисел *δР* не превышает 0,25.10-6, а при восьмибайтном представлении 0,25.10-15, т.е. является незначимой.

2 Оценка значимости погрешности ПО упрощает процедуру получения расчетных значений МХ ИК ИС, в т.ч. и после модификации ПО (см. Метрологические требования, подраздел 6.4 [3]).

7.3 Вклад ПО в погрешность СИ считается незначимым (см. 4.4, 4.5), если погрешность ПО не превышает 1/10 от предела погрешности СИ во всем диапазоне измерений.

7.4 Для ИС, использующих при работе градуировочные и поправочные коэффициенты и т.п., следует хранить защищаемую информацию в отдельном файле в формате, не допускающем внесения исправлений текстовыми редакторами. Контрольную сумму данного файла вносят в текст ПО ИС. При оценке влияния ПО следует проводить функциональные проверки такого ПО путем записи и считывания хранящейся информации, а при эксплуатации ИС регулярно проверять целостность хранящейся информации путем проверки соответствия контрольной суммы, указываемой при запуске ПО ИС, контрольной сумме данного файла.

7.5 Для СИ с индивидуальной градуировкой следует хранить градуировочные коэффициенты в отдельном файле в формате, не допускающем внесения исправлений текстовыми редакторами. Контрольную сумму файла вносят в паспорт изделия и проверяют соответствие ее указанной в паспорте при установке ПО СИ.

# 8 Оценка влияния программного обеспечения методик (методов) измерений

8.1 Для многих МВИ характерно применение прикладного ПО, не входящего в состав применяемых в МВИ СИ, реализованного на универсальных компьютерах многоцелевого назначения (см. 5.3). Это ПО во многих случаях является универсальным, т.е. может быть применено вместе с СИ одного назначения, но разных типов.

8.2 При невозможности оценки характеристик МВИ в целом должно быть отдельно оценено влияние ПО МВИ на показатели точности измерений. Оценка производится методами, описанными в разделе 6. Оцененные характеристики погрешности ПО должны быть включены как составляющие в характеристики погрешности МВИ.

8.3 Вклад ПО в погрешность измерений считается незначимым (см 4.4, 4.5), если погрешность ПО не превышает 1/10 от нормированной погрешности МВИ во всем диапазоне измерений.

8.4 ПО МВИ должно быть идентифицировано аналогично требованиям, предъявляемым к ПО СИ. Идентификационные данные (признаки) должны быть указаны в тексте МВИ.

8.5 В случае, если ПО является «открытым» и может быть непреднамеренно или преднамеренно изменено, должны быть разработаны тестовые объекты (файлы), позволяющие тестировать правильность работы ПО (см. Метрологические требования, подпункт 6.4.5 [3]). Тестовые объекты выбирают из числа объектов, использованных при аттестации МВИ.

Примечание―Такая ситуация возникает при реализации прикладного ПО в среде автономного коммерческого ПО (см. 5.3). При этом возможности коммерческого ПО часто не позволяют обеспечить высокий или даже средний уровень защиты прикладного ПО (см. ГОСТ Р 8.654), т.е. такое ПО является «открытым» и может быть непреднамеренно или преднамеренно изменено.

8.6 Тестовые объекты должны быть идентифицированы. Их идентификационные данные (признаки) должны быть указаны в тексте МВИ. Для них также должны быть определены и указаны в тексте МВИ значения величин, которые получаются при их обработке в соответствии с оцениваемым ПО.

8.7 При эксплуатации прикладного ПО МВИ тестовые объекты должны периодически обрабатываться. Различия в результатах обработки с ожидаемыми значениями не допускаются.

8.8 Количество тестовых объектов и периодичность проверки сохранности «открытого» ПО должна быть установлена в тексте МВИ. Рекомендуемое количество тестовых объектов – не менее трех; периодичность – не реже одного раза в месяц при постоянном применении ПО и после перерывов в применении.

**9 Оценка влияния программного обеспечения технических систем и**

**устройств с измерительными функциями**

9.1 Общий подход к оценке влияния ПО, входящего в состав технических систем и устройств с

измерительными функциями, включает:

− анализ назначения и конструкции технического устройства, результатом которого должно быть выделение всех СИ и самостоятельных вычислительных компонентов;

− рассмотрение по отдельности каждого СИ и каждого вычислительного компонента;

− если СИ содержит ПО, то проведение оценки его влияния в соответствии с разделом 6;

− если вычислительный компонент выполняет измерительные функции, определяют необходимость оценки влияния ПО как самостоятельного средства; в случае необходимости выделяют метрологически значимую часть ПО и оценивают влияние ПО на показатели точности измерений в соответствии с разделом 6.

9.2 Пример анализа по 9.1, применительно к ИО, в общем случае являющийся техническим устройством с измерительными функциями, приведен в СТО 95 12056-2019.

# Приложение А(рекомендуемое) Построение функциональной зависимости между двумя величинами

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

# **Приложение Б**(справочное) Пример оценки влияния программного обеспечения для обработки диаграмм деформации при проведении механических испытаний

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

# Приложение В(справочное) Рекомендуемый алгоритм оценки влияния программного обеспечения для обработки гамма-спектров, измеренных полупроводниковым детектором

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

# Приложение Г(справочное)Пример оценки влияния программного обеспечения обработки изображений микроструктуры ядерного топлива

………………………………………………………………….…………………………….…………….………………………………………………………………….…………………………….……...

# Приложение Д(справочное)Методы генерации случайных чисел

………………………………………………………………….…………………………….…………….………………………………………………………………….…………………………….……..

# Библиография

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1] | РМГ 29–2013 | Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения |
| [2] | Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» |
| [3] | Приказ Госкорпорации «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии» |

|  |
| --- |
| ОКС 17.020 Ключевые слова: методики (методы) измерений, программное обеспечение, средства измерений |

1. В Метрологических требованиях [3] применяется термин «аттестация ПО», использовавшийся на момент его утверждения в нормативных документах Государственной системы обеспечения единства измерений. В настоящее время под этим термином подразумевается оценка влияния ПО по настоящему стандарту. [↑](#footnote-ref-1)