

## ПРОБЛЕМЫ АТТЕСТАЦИИ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

А.А. Дудыкин, Ю.А. Кудеяров, А.Н. Паньков

(Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы)

Парк современных автоматизированных средств измерений (СИ) в своем большинстве состоит из приборов со встроенным программным обеспечением, в которых микропро-цессор, интерфейс для подключения периферийных устройств и инструментальная часть заключены в общий корпус. В настоящее время при испытании таких СИ с целью утверждения типа оценка качества используемого программного обеспечения (ПО) в виде аттестации (сертификации), как правило, не проводится. Так в Примечании к п.3.3.3 ГОСТ Р 8.596 [1] записано:

"В отдельных случаях вычислительный компонент (т.е. цифровое устройство с программным обеспечением, выполняющее функции вычисления результатов ... измерений по результатам первичных измерительных преобразований в ИС (измерительной системе)), может входить в состав измерительного компонента (т.е. в средство измерений), метрологические характеристики которого нормированы с учетом программы, реализуемой вычислительным компонентом".

Это означает, что ПО таких СИ отдельно не испытывается и такие его показатели качества, как влияние на метрологические характеристики прибора или степень защищенности измерительной информации, в большинстве случаев не оцениваются и не документируются. Во всяком случае, авторам не приходилось видеть в описаниях типа автоматизированных СИ какие-либо упоминания об этом.

Такая ситуация является отражением точки зрения, согласно которой важно, чтобы метрологические характеристики СИ, которые определяются экспериментально в ходе испытаний, в целом находились в пределах допуска. Если они выходят за эти пределы, то разбираться в том, какая часть прибора, инструментальная или программная, ответственна за неисправность - это проблема изготовителя прибора.

С другой стороны, в том же ГОСТ Р 8.596. пункт 7.4 гласит:

"Программы, реализуемые вычислительным компонентом, подлежат метрологической аттестации ..., если они влияют на результаты и погрешности измерений, но при этом не использованы в процессе экспериментальной проверки измерительных каналов при испытаниях ИС или комплексного компонента, или если предусмотрена возможность модификации этих программ в процессе эксплуатации ИС...".

К сожалению, убедиться в степени влияния вычислительной программы на результаты и погрешность измерений можно только в процессе самой аттестации. Оговорка "...но при этом не использованы в процессе экспериментальной поверки измерительных каналов..." на практике приводит к тому, что ПО не оценивается и не документируется вообще, поскольку считается, что метрологические характеристики СИ уже нормированы с учетом программы, реализуемой вычислительным компонентом.

Описанная ситуация находится в серьезном противоречии с рекомендациями международных организаций по стандартизации и метрологии и с требованиями большинства пользователей автоматизированных СИ, которые настаивают на проведении оценки качества (аттестации, сертификации) встроенного ПО. Так в Рекомендации [2] на примере простого автономного измерительного прибора, состоящего из датчика (или преобразователя, включая аналоговую электронику), других аналоговых компонент (например, ЦАП), микропроцессора, жидкокристаллического экрана и аппаратного интерфейса для подключения периферийного устройства, заключенных внутрь корпуса, детально рассмотрены требования к соответствующему ПО. При этом предполагается, что в ПО не вносятся никаких изменений после утверждения типа, отсутствует разделение на части, подвергаемые метрологическому контролю, и на другие неконтролируемые части. Метод обнаружения возможных ошибок сводится к вычислению контрольной суммы по содержимому памяти. Основная концепция Рекомендации сводится к так называемому пошаговому подходу, заключающемуся в том, чтобы после назначения уровней защиты, испытаний и соответствия для каждой области применения прибора устанавливаются специфические требования, учитывающие его технические особенности. Дальнейшие испытания проводятся с учетом этих требований. В свою очередь, выполнение этих требований сопровождается рядом проблем, возникающих при испытаниях встроенного ПО. Рассмотрим некоторые из них.

Иногда при испытаниях ПО алгоритм обработки входных сигналов оказывается неизвестным. Это может приводить к неправильному заключению о плохом качестве используемого алгоритма, который, на самом деле, работает правильно. Например, если на вход прибора подается частотно-импульсный сигнал, то, как правило, возможны два алгоритма обработки при его преобразовании в значение физической величины, а именно,

- подсчет числа импульсов и его умножение на коэффициент преобразования,
- измерение частоты сигнала и ее интегрирование по времени с последующим умножением на коэффициент преобразования.

Во втором случае результат вычисления зависит от выбранного временного интервала интегрирования и при малых его значениях погрешность вычисления с помощью такого алгоритма может оказаться значительной, что может привести к неверной оценке его качества. Эта погрешность уменьшается при увеличении времени тестирования, которое, в принципе, может оказаться неоправданно большим. Из сказанного следует, что необходимо добиваться того, чтобы алгоритм обработки входных сигналов при аттестации встроенного ПО был, по меньшей мере, известен.

Такое же требование необходимо предъявлять и к используемому алгоритму обработки измерительной информации (алгоритму вычислений). Кроме того, при косвенных измерениях часто приходится вычислять свойства измеряемых сред (газов, жидкостей, неф-тепродуктов). Исходные данные для вычисления этих свойств могут задаваться либо в виде таблиц, либо в виде функциональной (как правило, полиномиальной) зависимости. При этом часто при расчете свойств используется несколько вариантов расчета или их комбинаций. Основная проблема, возникающая при работе с таблицами, сводится к необходимости проведения большого объема работы, поскольку при определении погрешности расчета свойств в большинстве случаев задействуются все узлы таблицы. Если при этом используется несколько вариантов расчета или их комбинаций, то это обстоятельство существенно усложняет процедуру тестирования ПО.

Если в программном продукте СИ используется алгоритм вычисления в соответствии с заданным уравнением косвенных измерений, то при его аттестации может возникнуть проблема, связанная с отличием разрядности результатов, выдаваемых средством измерений и компьютером, который используется для тестирования и на котором реализован аналогичный алгоритм.

Часто результаты измерений, полученные с помощью СИ, предназначенных для измерений с нарастающим итогом, имеют большую разрядность и малое количество знаков после запятой, что может приводить к большой методической погрешности. Для того, чтобы эта погрешность была минимальной, следует добиваться того, чтобы погрешность, обусловленная младшим разрядом (погрешность округления), по меньшей мере, не превышала 1/5 погрешности вычислений.

В большинстве случаев при проведении аттестации встроенного ПО используется сопоставление результатов тестирования с "эталонными" вычислениями. Для окончательного определения погрешности обработки измерительной информации необходимо знать нормируемую погрешность вторичного преобразования электрических сигналов в значения физических величин, а также то, насколько нормируемая погрешность обработки информации соответствует заложенному в средство измерений алгоритму обработки. Сказанное поясним таким примером.

В счетчиках тепла с водным теплоносителем датчики давления часто не используются, хотя информация о давлении необходима для расчета плотности и энтальпии воды. В отечественных счетчиках тепла вместо измерения давления иногда просто вводят его постоянные значения, что может приводить к существенной методической погрешности измерений. В некоторых импортных счетчиках для расчета количества тепла используются так называемые коэффициенты Штюка, сведенные в таблицы. В таблицах обычно принимается, что давление в подающем трубопроводе равно 1,6 МПа, а в обратном - 0,1 МПа, и для этих условий коэффициенты рассчитываются. Однако в реальных условиях эксплуатации давления в подающем и обратном трубопроводах могут существенно отличаться от приведенных значений, особенно при малых разностях температур в трубопроводах (до единиц процентов). При этом, естественно, возникает вопрос: относительно чего нормировать погрешность обработки, относительно значений коэффициентов, рассчитанных при указанных значениях давления, или определять максимальную погрешность при других значениях давления в трубопроводах. В настоящее время идут по первому пути, при этом возникающая методическая погрешность, особенно в условиях эксплуатации, как правило, никак не учитывается.

При испытаниях (тестировании) ПО больших измерительных систем может возникнуть проблема несинхронного опроса датчиков. В большинстве случаев при проверке вычислений оказывается невозможным получить и использовать те значения входных параметров, которые используются в средстве измерений (измерительной системе), поскольку при большом количестве таких параметров их индикация, как правило, идет на разных экранах, и при их считывании они успевают измениться по отношению к значениям, используемым средством измерений. Проблема большого количества входных параметров может быть решена путем разделения общей задачи тестирования на подзадачи.

Одно из требований, предъявляемых к ПО СИ, сводится к соответствию тестируемого ПО тому, которое было установлено (зафиксировано, документировано) при испытаниях СИ с целью утверждения типа. Проверка такого соответствия сейчас по возможности осуществляется

при поверке СИ, однако, такой подход (проверка соответствия) не всегда встречает понимание со стороны изготовителей СИ.

Наконец, для большинства цифровых приборов, в том числе для приборов, используемых для учета энергоресурсов (счетчики воды, газа, тепла, электроэнергии), на предприятии - изготовителе разрабатывается калибровочное ПО, необходимое для настройки прибора при выпуске из производства, а также для корректировки калибровочных коэффициентов в случаях, когда прибор не прошел очередную проверку. Понятно, что калибровочные программы должны быть недоступны широкому кругу лиц. К сожалению, нередки случаи, когда изготовители приборов передают калибровочные программы вне-дренческим организациям. Анализ причин такой передачи не входит в цели статьи. Следует только констатировать, что в настоящее время сложилась такая ситуация, когда и изготовители приборов, и сервисные (внедренческие) фирмы, и потребители энергоресурсов в ряде случаев заинтересованы в негласном распространении специальных программ, способных в обход существующих защит, блокировок и пломб проникать в память микро-процессорных вычислителей с целью ее несанкционированной корректировки. Из сказанного следует актуальность разработки надежных методов защиты измерительной информации и проведения испытаний цифровых приборов по обеспечению защиты от несанкционированного вмешательства в условиях эксплуатации.

И это только некоторые из проблем, с которыми приходится сталкиваться при аттестации встроенного ПО.

Решение большинства перечисленных проблем возможно путем введения разработчиками в средство измерения специального режима (обычно это делается для поверки), позволяющего реализовать необходимое тестирование программного обеспечения. Без выполнения этого условия аттестация (сертификация) встроенного ПО становится трудно-разрешимой задачей.

Для иллюстрации особенностей аттестации встроенного ПО, рассмотрим ее на примере аттестации ПО электронного счетчика количества тепла MULTIDATA S1 (фирма "Цен-нер" (ФРГ)). Этот счетчик является типичным примером прибора со встроенным ПО. В его состав

входят:

- расходомер для измерения количества теплоносителя, прошедшего через прибор;
- температурные датчики, предназначенные для измерения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- необходимые АЦП;
- контроллер, состоящий из микропроцессора с программной и оперативной памятью;
- жидкокристаллический индикатор;
- оптический и шинный интерфейсы для подключения к персональным или ручным компьютерам;
- ряд дополнительных устройств для расширения возможностей счетчика и удобства контроля и управления.

Расчет количества тепла (МВт·час, гига- или мегаджоуль), измеренного прибором, ведется по формуле

где  $V$  - измеренный объем теплоносителя,  $\Delta T$  - разность температур в прямом и обратном трубопроводах,  $k$  - тепловой коэффициент (коэффициент Штюка), учитывающий температурную зависимость плотности и энтальпии теплоносителя и обеспечивающий необходимую размерность правой части написанной формулы с учетом того, что измерение объема теплоносителя осуществляется импульсным методом, т.е. необходимо знать цену импульса в литрах или в кубометрах.

Особенность прибора заключается в том, что значения коэффициентов Штюка зависят от того, куда установлен прибор - в прямой или в обратный трубопровод. Существуют таблицы коэффициентов Штюка, рассчитанные для разных пар значений разностей температур в прямом и обратном трубопроводах.

При аттестации рассматриваемого ПО необходимо, по сути, убедиться в двух моментах, а именно: в правильности расчета коэффициентов Штюка и в правильности работы АЦП, преобразующего аналоговый сигнал от температурных датчиков в цифровой код. Если предположить, что коэффициенты Штюка рассчитаны верно (с точностью до погрешности, отмеченной выше и связанной с тем, что эти коэффициенты рассчитываются только для одного значения разности давлений) и АЦП работает в соответствии с его заявленными характеристиками, что достаточно легко проверяется, то вся аттестация сведется к проверке правильности работы микропроцессора при вычислениях по приведенной формуле. Для этого достаточно записать эту формулу в каком-нибудь программном пакете, например, в Microsoft Excel, и сравнить результаты вычислений в этом пакете с тем, что дает микропроцессор прибора.

Таким образом, видно, что в рассматриваемом случае аттестация встроенного ПО сводится к использованию "эталонного" ПО. Предложенный метод аттестации встроенного ПО, по всей видимости, может быть использован для большого числа приборов рассматриваемого типа,

поскольку, как правило, алгоритмы, "защитые" в них, являются достаточно простыми.

Иногда для аттестации встроенного ПО можно использовать испытательные стенды, аналогичные тем, которые применяются при поверке автоматизированных СИ. Это не означает, что такие стенды должны полностью воспроизводить поверочные установки. Достаточно ограничиться имитацией таких входных сигналов, которые инициируют основные функции ПО, как это было сделано, например, при аттестации программного обеспечения счетчика импульсов - регистратора типа "Пульсар". При тестировании этого программно-го продукта был использован контроллер испытаний игровых автоматов КИА 8x12, который представляет собой персональный компьютер с программным и аппаратным обеспечением, позволяющим моделировать поступление импульсов по одному из 12 входов управления и описывать их поступление в любой логически удобной последовательности.

Для цифровых приборов, используемых при коммерческом учете энергоресурсов, процедура аттестации должна обязательно включать в себя, как уже отмечалось, проверку способов защиты ПО и данных от несанкционированного вмешательства. Некоторые методы, применяемые при такой проверке, изложены в Рекомендации МИ 2955-2005 [3].

#### Список литературы.

1. ГОСТ Р 8.596-2002. ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
2. Руководство WELMEC 7.1. Требования к ПО на основе директивы по измерительным приборам.
3. МИ 2955-2005. ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения.

#### Аннотация.

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при аттестации (сертификации) встроенного программного обеспечения средств измерений, и предложены возможные методы их решения.