

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР – ОПЕРАТОР

Антон Ионов¹⁾, Надежда Чернышева²⁾

Омский ГТУ, 644050 Россия, г. Омск, пр. Мира, 11,
e-mails: ¹⁾ antionov@mail.ru, ²⁾ nadejda13.90@mail.ru

Резюме: Рассматриваемое в рамках доклада исследование посвящено разработке и обоснованию ключевых положений новой концепции обмена информацией между измерительным прибором и обслуживающим персоналом (оператором). Основная цель подхода заключается в повышении качества результатов измерений за счет использования дополнительной (априорной) информации, поступающей от оператора, при одновременном исключении возможности преднамеренного или непреднамеренного неадекватного вмешательства персонала в процесс измерения. В качестве примера в докладе рассматривается разработанная авторами модель взаимодействия оператора с интеллектуальной системой пирометрического мониторинга промышленного назначения.

Ключевые слова: интеллектуальное средство измерения, человеческий фактор, априорные данные, достоверность информации, измерительная модель, адаптация, пирометрия.

Введение

В настоящее время для всего многообразия областей метрологии можно выделить два противоположных подхода к проведению процедуры измерения: без участия оператора, с участием оператора. Особое значение это имеет для систем непрерывного мониторинга (к примеру – технологических процессов), поскольку внезапный неконтролируемый рост ошибки измерения может немедленно привести к неблагоприятным последствиям.

Организация измерений без участия оператора предполагает принципиальное отсутствие возможности внесения в прибор внешней коррекции (рис. 1а). Достоинством данного подхода является устранение проблемы, связанной с возможным неквалифицированным вмешательством в алгоритм работы устройства за счет ввода неадекватных значений параметров. При этом допустимые условия измерения оказываются существенно ограниченными.

Противоположная концепция (рис. 1б) направлена на расширение универсальности прибора в плане сферы его возможного применения. Данный подход, безусловно, является более перспективным, однако, в этом случае на результат измерения начинают оказывать влияние факторы, напрямую связанные с индивидуальными особенностями оператора (профессионализм, утомленность, внимательность, личная заинтересованность и т.п.).

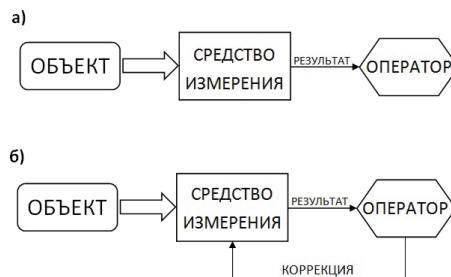


Рис. 1. Иллюстрация двух основных подходов к проведению процедуры измерения:

- а) без участия оператора;
б) с участием оператора

Таким образом, следует выделить два типа неблагоприятных ситуаций, которые могут возникнуть при некорректном исполнении оператором своих обязанностей:

а) ввод неадекватных значений корректирующих параметров (по причине отсутствия достоверных знаний или недостатка профессионализма);

б) ввод заведомо ложных данных для целенаправленного искажения результатов (сокрытие признаков предаварийной ситуации).

При использовании классических приборов возможен только апостериорный (несвоевременный) контроль действий оператора, что во многих практических случаях неприемлемо. Однако, появление в последние годы средств измерений

нового класса (интеллектуальных датчиков и систем) позволяет реализовать на их основе более эффективный механизм двустороннего взаимодействия между прибором и оператором.

1. Концепция интеллектуального средства измерения

В соответствии со стандартами [1-2] под интеллектуальным прибором мы будем понимать средство измерения, которое: а) осуществляет функцию метрологического самоконтроля; б) способно в широких пределах адаптироваться к текущим внешним условиям (поддерживать качество результата измерения на требуемом уровне вне зависимости от влияния основных дестабилизирующих факторов). Подобная функциональность обеспечивается за счет наличия в интеллектуальном приборе информационной избыточности, среди подвидов которой следует особо выделить структурную и временную [3-4].

Обобщенная функциональная схема интеллектуального измерительного прибора, рассматриваемого в докладе, изображена на рис. 2. Многопараметрическая модель, реализованная в устройстве, включает в себя, в общем случае, два типа параметров: динамические (вычисляемые в каждом цикле измерения на основе данных от объекта $x_1 \dots x_N$) и статические (неизменные). При этом, итоговым результатом измерения, как правило, является вычисленное значение соответствующего динамического параметра модели.

Для выполнения условия избыточности,

общее число входных информационных параметров N должно быть больше числа динамических параметров модели M . Кроме того, оптимальный алгоритм работы прибора должен предусматривать автоматический перевод динамических параметров в разряд статических при относительном постоянстве их значений в течение определенного периода времени.

Наличие в приборе информационной избыточности позволяет ему проводить внутреннюю проверку используемой модели на адекватность текущим внешним условиям за счет вычисления значений одних и тех же параметров разными способами (на основе различных комбинаций входных данных) и последующим их сравнением (с целью установления факта их согласованности [5]). Другой способ выявления неадекватности модели предполагает проверку вычисленных значений ее динамических параметров на предмет априорных или фундаментальных ограничений.

В том случае, если одним из указанных способов была установлена неадекватность модели, то, помимо информирования об этом факте оператора, интеллектуальный прибор может инициализировать процедуру самоадаптации, при которой:

- а) подбираются новые значения ряда статических параметров;
- б) часть статических параметров переходит в разряд динамических.

Следует особо отметить, что процесс адаптации может занять длительное время, особенно – при использовании сложной нелинейной измерительной модели.

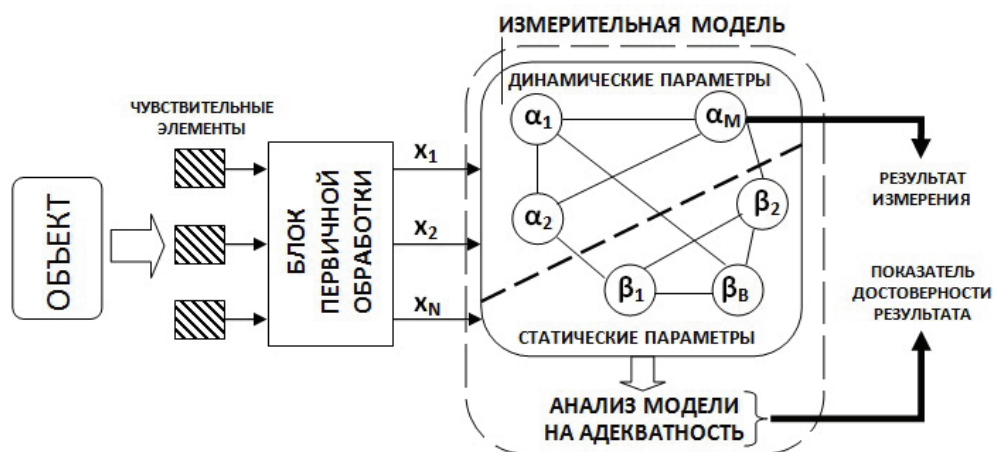


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема интеллектуального средства измерения

2. Основные положения подхода

Краеугольным камнем предлагаемой концепции является утверждение о том, что интеллектуальное средство измерения может получать дополнительную информацию только путем полноценного взаимодействия с другими интеллектуальными субъектами (главным образом – с человеком). Из данного постулата следует пять основных положений, более подробно раскрывающих его сущность.

1. *Вся информация, поступающая от оператора, должна быть принципиально проверяемой (в будущем).* Указанное требование говорит о необходимости критического рассмотрения прибором поступающих извне данных (вводимая информация должна обязательно проходить внутреннюю проверку на адекватность, пусть даже растянутую во времени).

2. *Интеллектуальный прибор всегда является ведущим (управляющим) звеном при информационном обмене с оператором,* поскольку именно он в первую очередь ответственен за качество итогового результата. Кроме того, это положение означает, что любые априорные сведения не являются для прибора принципиально необходимыми, однако при возникновении затруднений он может инициировать запрос на их получение для повышения степени информационной избыточности данных.

3. *Внешняя информация от оператора должна вводиться в прибор дискретными «порциями».* При использовании обычных средств измерений для внесения коррекции используются, как правило, поправочные коэффициенты, при этом оператор должен все время поддерживать актуальность их значений (в том числе, когда они равны нулю), что невозможно с практической точки зрения. Поэтому в предлагаемом подходе каждая порция внешних данных воспринимается прибором однократно, а не постоянно, при этом актуальность ее содержания напрямую связывается с соответствующим моментом времени.

4. *Оператору следует информировать прибор о степени достоверности (уровне неопределенности) вводимых им данных.* Подобные сведения делают вносимую информацию более полной и способствуют максимально корректному ее восприятию прибором.

5. *Интеллектуальный прибор вправе составлять свое собственное мнение о профессионализме каждого конкретного оператора на основе анализа достоверности поступающей от него*

информации. В дальнейшем эта персональная оценка уровня компетенции может быть использована при интерпретации новой партии поступающих от него данных. Оператор должен быть ответственен при общении с прибором!

3. Роль оператора

Одно из основных противоречий, рассматриваемых в настоящей работе, касается распределения ответственности за качество итогового результата измерения между производителем (разработчиком) прибора и его обслуживающим персоналом (пользователем). С одной стороны, оператор, как человек, приближенный к конкретной практической задаче (знающий об ее особенностях), должен иметь максимально широкие возможности управления средством измерения. С другой стороны – уровень профессиональной подготовки пользователя заведомо значительно уступает уровню квалификации разработчиков прибора.

В рамках представляемой концепции основная задача оператора – *ускорить процесс адаптации измерительной модели интеллектуального прибора к текущим внешним условиям.* При этом, окончательное решение о степени адекватности модели (ее пригодности для выполнения последующих расчетов) принимает алгоритм средства измерения. Таким образом, оператор может внести в прибор только такие априорные данные, которые соответствуют структуре применяемой измерительной модели.

В те моменты времени, когда модель, используемая интеллектуальным прибором, является адекватной текущим условиям (по мнению самого устройства), какая-либо внешняя информация ему не требуется. Другими словами, в этот период оператор не может оказать никакого влияния на процесс измерения, и в случае возникновения значительной ошибки вся ответственность будет лежать на разработчиках прибора.

Априорная информация может оказаться полезной только тогда, когда в результате резкого изменения внешних условий модель потеряла свою адекватность (и запущен процесс ее самокоррекции). При этом, для алгоритма адаптации измерительной модели интеллектуального прибора представляют интерес следующие внешние сведения:

- а) текущие значения параметров модели (как статических, так и динамических);
- б) информация о том, какие параметры следу-

ет рассматривать как статические (а какие – как динамические) в изменившихся условиях.

Таким образом, основная роль оператора сводится, в итоге, к частичному управлению алгоритмом поиска новой структуры и новых значений статических параметров модели с целью сокращения периода адаптации.

Поскольку окончательное решение о степени адекватности модели выносит интеллектуальный прибор, то с течением времени он способен проверить качество априорных данных, внесенных оператором. Если подобные сведения подтверждаются, то уровень доверия к конкретному оператору повышается (и, наоборот). Формируемый персональный рейтинг показывает прибору, насколько внимательно нужно относиться к каждой последующей гипотезе, высказанной тем или иным оператором (насколько быстро следует ее проверять). Подобная схема позволяет дополнительно бороться с возможным неадекватным вмешательством: если рейтинг у оператора низкий, то прибор в процессе адаптации может совсем не ориентироваться на его данные.

4. Пример реализации концепции: интеллектуальный пирометр

С целью дополнительного разъяснения характерных особенностей предлагаемой модели взаимодействия рассмотрим разработанный в научно-исследовательской лаборатории «Бесконтактных тепловых измерений» ОмГТУ интеллектуальный пирометр, предназначенный для удаленного мониторинга температур в условиях промышленности (в диапазоне 200...600°C). Основным недостатком пирометрии связан с неустраняемым влиянием внешних факторов на процесс измерения, поэтому разработка способов повышения качества ее результатов представляет собой важную задачу [6-7].

Измерительная модель, реализованная в приборе, содержит 7 параметров (рис. 3): T (температура объекта), $a_{0...2}$ (коэффициенты модели излучательной способности объекта), K (интегральный коэффициент пропускания среды распространения), n_{H_2O} (концентрация паров воды в атмосфере), n_{CH_4} (концентрация метана). При этом, только температура объекта является динамическим параметром.

Пирометр содержит пять каналов регистрации излучения (чувствительных элементов) и, соответственно, параллельно может определять 5 альтернативных оценок температур. Критери-

ем адекватности модели является совпадение (с заданным допуском) всех пяти вычисляемых значений. В случае, когда данное требование не выполняется, прибор инициализирует процесс адаптации, заключающийся в постепенном переборе значений всех статических параметров модели (до тех пор, пока пять вычисляемых оценок температур не станут удовлетворять условию взаимной совместимости).

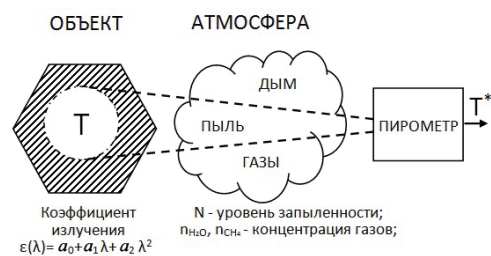


Рис. 3. Иллюстрация измерительной модели пирометра

Запустив процесс адаптации, пирометр сигнализирует оператору о желательности ввода априорной информации. При этом, пользователю предлагается взаимодействие в двух режимах (на его выбор): «эксперт» и «обслуживающий персонал». В режиме «эксперт» оператору предлагается ввести интервальные оценочные значения тех параметров модели, которые ему известны в изменившихся условиях (при этом ему доступна статистическая информация об их предыдущих значениях).

В режиме «обслуживающий персонал» пользователю предлагается ответить на ряд простых вопросов, вида:

- «Изменилось ли состояние объекта?» (варианты ответов: «да», «если да, то неизвестительно», «нет», «не знаю»);
- «Изменился ли уровень запыленности?» («повысился», «снизился», «не знаю», «практически нет») и т.п.

Собственный алгоритм адаптации прибора ориентируется на накопленную статистическую информацию об изменении параметров во времени, которая может не совпадать с априорными данными. В случае выбора режима «обслуживающий персонал» параллельно идет два процесса адаптации: с учетом и без учета данных оператора (до первого выполнения условия адекватности). Рейтинг пользователя в этой ситуации не форми-

руется и не используется.

В случае выбора режима «эксперт» для каждого оператора рассчитывается оценка его профессионализма, которая зависит от степени совпадения его данных с итоговыми (когда процесс адаптации был завершен). При высоком рейтинге пользователя его гипотеза проверяется в первую очередь, а при низком – адаптация происходит без участия его данных (однако в конце они также сопоставляются с получившимися). При среднем уровне рейтинга оба процесса идут параллельно.

На рис. 4 демонстрируются возможные варианты развития событий при внесении информации в режиме «обслуживающий персонал» (графики построены на основе имитационного моделирования). В течение представленного цикла измерений истинная температура объекта (350°C) не изменяется. В момент времени «А» происходит резкое изменение характеристик атмосферы, в момент времени «В» оператор вносит внешние данные (отвечает на вопрос: «Изменилось ли состояние объекта?»). Кривая 1 соответствует процессу адаптации при корректном ответе на данный вопрос («нет»), кривая 2 – при ложном («да»). Как следует из анализа рис. 4, ввод оператором достоверной информации приводит к заметному сокращению периода адаптации, в то время как неадекватные данные не могут ввести прибор в заблуждение.

Заключение

Предложенная модель взаимодействия ориентирована, прежде всего, на системы непрерывного мониторинга, хотя область ее применения может быть расширена и на краткосрочные (бытовые) измерения. Как было показано, основное преимущество данного подхода заключается в отсутствии принципиальной возможности искажения пользователем итогового результата.

Следует отметить, что перспективным направлением развития данной концепции является организация «интеллектуального» взаимодействия между двумя (несколькими) измерительными приборами (системами). Это позволит фактически объединить их измерительные модели при одновременном строгом разграничении зон ответственности, что требуется для построения действительно автоматических систем принятия решений.

Литература

- [1] ГОСТ Р 8.673-2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010, 12 с.
- [2] M. Henry, G. Wood. Sensor Validation: Principles and Standards. *ATP International*, № 3, 2005, P. 39-52.

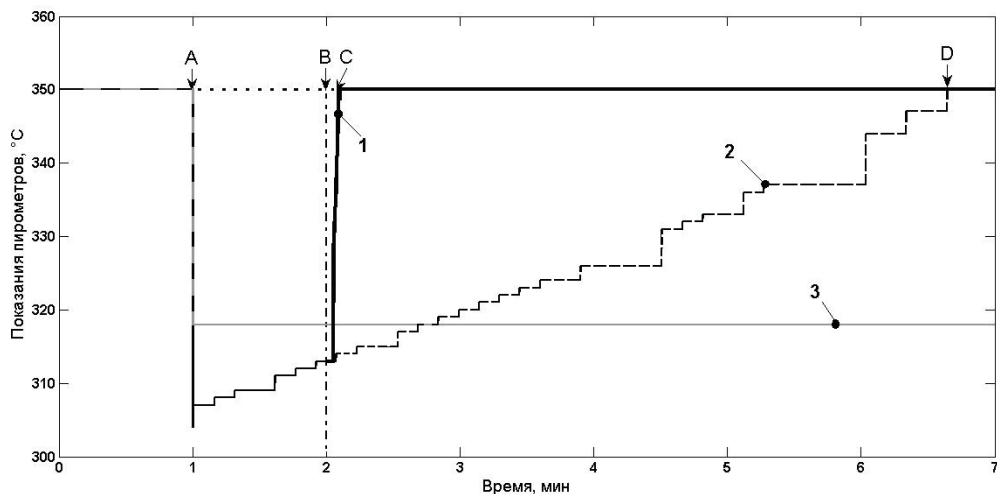


Рис. 4. Результаты моделирования процесса адаптации: “1” – априорные данные корректны; “2” – априорные данные ложны; “3” – показания классического одноканального пирометра; “А” – момент изменения внешних условий; “В” – момент внесения априорных данных; “С” – момент окончания адаптации (случай 1); “D” – момент окончания адаптации (случай 2)

[3] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova.** Metrological Self-Check and Evolution of Metrology. *Measurement*, № 43, 2010, P. 869-877.

[4] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova, I. Druzhinin.** Sensor Devices with Metrological Self-Check. *Sensors & Transducers*, V. 10, 2011, P. 30-45.

[5] **M. Duta, M. Henry.** The Fusion of Redundant SEVA Measurements. *IEEE Trans. on Control Systems Tech.*, V. 13, № 2, 2005, P. 173-184.

[6] **A. B. Ionov.** Metrological Problems of Pyrometry: an Analysis and the Prospects for Solving Them. *Measurement Techniques*, V. 56, № 6, 2013, P. 658-663.

[7] **W. Minkina, S. Dudzik.** *Infrared Thermography. Errors and Uncertainties.* N.Y.: John Wiley & Sons, 2009, 248 p.

Сведения об авторах

Ионов Антон Борисович. Омский государственный технический университет – Радиотехника (2005); к.т.н. (2009). Омский государственный технический университет, кафедра «Радиотехнические устройства и системы диагностики» – ст. преподаватель. Научные интересы: интеллектуальные измерительные системы, пирометрия.

Чернышева Надежда Сергеевна. Омский государственный технический университет – Приборы и методы контроля качества и диагностики (2013). Омский государственный технический университет, кафедра «Радиотехнические устройства и системы диагностики» – м.н.с. Научные интересы: интеллектуальные измерительные системы, пирометрия.

DESIGNING OF EFFICIENT INTERACTION MODEL: INTELLIGENT MEASURING DEVICE – OPERATOR

Anton Ionov¹, Nadezhda Chernysheva²

Omsk STU, 644050 Russia, Omsk, Mira av., 11,

e-mails: ¹antionov@mail.ru, ²nadejda13.90@mail.ru

Abstract: The research described in the paper explains the key points of the new concept of the information interchange between a measuring device and service staff (an operator). This approach's aim is to improve the results' quality by the use of supplementary (a priori) information received from the operator. At the same time the possibility of deliberate or undeliberate staff's inadequate interference into the measuring process should be absent. As an example, the designed model of the interaction of the operator and intelligent radiation thermometry monitoring system for industrial application is described.

Key words: intelligent measuring device, human factor, a priori data, reliability of information, measurement model, adaptation, radiation thermometry.

References

[1] GOST R 8.673-2009. GSI. Datchiki intellektualnye i sistemy izmeritelnye intellektualnye. Osnovnye terminy i opredeleniya. M.: Standartinform, 2010, 12 s.

[2] **M. Henry, G. Wood.** Sensor Validation: Principles and Standards. *ATP International*, № 3, 2005, P. 39-52.

[3] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova.** Metrological Self-Check and Evolution of Metrology. *Measurement*, № 43, 2010, P. 869-877.

[4] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova, I. Druzhinin.** Sensor Devices with Metrological Self-

Check. *Sensors & Transducers*, V. 10, 2011, P. 30-45.

[5] **M. Duta, M. Henry.** The Fusion of Redundant SEVA Measurements. *IEEE Trans. on Control Systems Tech.*, V. 13, № 2, 2005, P. 173-184.

[6] **A. B. Ionov.** Metrological Problems of Pyrometry: an Analysis and the Prospects for Solving Them. *Measurement Techniques*, V. 56, № 6, 2013, P. 658-663.

[7] **W. Minkina, S. Dudzik.** *Infrared Thermography. Errors and Uncertainties.* N.Y.: John Wiley & Sons, 2009, 248 p.

ПОСТРОЯВАНЕ НА ЕФЕКТИВЕН МОДЕЛ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ: ИНТЕЛЕГЕНТЕН ИЗМЕРВАТЕЛЕН УРЕД – ОПЕРАТОР

Антон Ионов¹⁾, Надежда Чернышева²⁾

Омски ДТУ, 644050 Русия, г. Омск, пр. Мира, 11,
e-mails: ¹⁾antionov@mail.ru, ²⁾nadejda13.90@mail.ru

Резюме: Разглежданото в доклада изследване е посветено на разработване и обосноваване на основни положения на новата концепция за обмен на информация между измервателния уред и обслужващия персонал (оператор). Основната цел на подхода се състои в подобряване на качеството на резултатите от измерванията на базата на използване на допълнителна (априорна) информация, постъпваща от оператора, като същевременно се изключва възможността от преднамерено или непреднамерено неадекватно вмешателство на персонала в процеса на измерване. Като пример в доклада се разглежда разработеният от авторите модел на взаимодействие на оператора с интелигентна система за пирометрически мониторинг с промишлено предназначение.

Ключови думи: интелигентно измервателно средство, човешки фактор, априорни данни, достоверност на информацията, модел на измерване, адаптация, пирометрия.