

## Перспективы сокращения затрат на метрологическое обеспечение в нефтегазовой отрасли

К. В. САПОЖНИКОВА, А. Н. ПРОНИН, Р. Е. ТАЙМАНОВ, Н. П. ГЕРАСИМОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия, e-mail: k.v.s@vniim.ru

Намечены основные направления сокращения затрат на метрологическое обеспечение в нефтегазовой отрасли. Одно из них связано с применением средств измерений и измерительных систем, снабженных функцией метрологического самоконтроля, а второе — с использованием виртуальных средств и систем.

**Ключевые слова:** метрологические самоконтроль и надежность, интеллектуальный датчик, виртуальное средство измерений.

The basic trends in reducing costs of the metrological assurance in oil-and-gas industry are outlined. One of them is connected with application of measuring instruments and measuring systems with the function of metrological self-check. The second one provides for application of the virtual measuring instruments and measuring systems.

**Key words:** metrological self-check and reliability, intelligent sensor, virtual measuring instrument.

Нефтегазовая отрасль России, в основном, развивается в районах, отличающихся суровым климатом и слабо развитой инфраструктурой. Многие средства измерений (СИ) для нефтегазовой отрасли применяются в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и эксплуатируются в тяжелых условиях без участия человека. Последствия аварий, в том числе из-за недостоверной измерительной информации, как правило, приводят к трудно устранимым последствиям экологического характера. Поэтому требования к метрологической надежности измерительной аппаратуры здесь должны быть максимальными, а трудозатраты на ее эксплуатацию минимальными. Ниже рассмотрены экономически эффективные, доступные в последние годы возможности для реализации этих требований.

**Автоматизация контроля метрологической исправности СИ.** Межповерочный интервал (МПИ), который должен быть косвенной оценкой метрологической надежности СИ, в действительности таковой не является. Как показано в [1], даже если длительность МПИ обоснована в соответствии с действующими рекомендациями (что на практике бывает не так уж часто), нельзя гарантировать, что СИ будут метрологически исправны между поверками: достоверных данных для расчета недостаточно. В странах Европы более 10 % измерительных средств, поступающих на калибровку с промышленных предприятий, имеют погрешность, превышающую допускаемую [2]. Вряд ли для СИ, работающих в условиях, характерных для нефтегазовой отрасли России, принятые методики расчета МПИ обеспечат лучший результат.

Для повышения уверенности в том, что измерительная информация, поступающая от встроенных в оборудование СИ, достоверна, длительность МПИ стремятся ограничить одним—двумя годами. Однако такой подход предопределяет значительные эксплуатационные затраты, а кроме того, и столь короткие интервалы не исключают вероятности поступления недостоверной информации.

Выход из этой тупиковой ситуации — применение так называемых интеллектуальных СИ и измерительных систем

(ИС) [3, 4]. Их отличает функция метрологического самоконтроля, которая опирается на дополнительную измерительную информацию, получаемую за счет избыточности (структурной, функциональной, временной или комбинированной), имеющейся или сформированной в них искусственно. Интеллектуальные СИ и ИС позволяют обоснованно устанавливать для них многолетние МПИ.

Целенаправленные разработки СИ и ИС с метрологическим самоконтролем, а также нормативных документов, стимулирующих их внедрение, выполняются в России и Украине с 80-х годов. Позднее аналогичные работы были развернуты в Великобритании, Германии, США, Китае и других странах.

В настоящее время по результатам работ, проведенных во ВНИИМ, вступили в силу государственные стандарты, устанавливающие терминологию, методы организации метрологического самоконтроля и требования к интеллектуальным СИ и ИС [3, 4], ведется разработка стандарта по их ускоренным испытаниям.

Метрологический самоконтроль может быть реализован в двух формах: прямой или диагностический.

Метрологический прямой самоконтроль осуществляется путем оценки отклонения значения измеряемой величины от принятого опорного значения, формируемого встроенным средством (измерительным преобразователем или мерой) более высокой точности. Например, такой самоконтроль термопары может быть реализован, если включить в состав датчика капсулу с металлом. При изменении измеряемой температуры во время расплавления (отвердевания) металла в капсуле сигнал термопары стабилизируется, формируя плато. При калибровке значение измеренной температуры, соответствующее плато, устанавливают в качестве принятого опорного значения. При эксплуатации по отклонению значения измеренной температуры в зоне плато от принятого опорного может быть оценена метрологическая исправность датчика [4, 5].

Другой пример: метрологический прямой самоконтроль может быть реализован в датчике температуры, выполненном на основе термодатчика, но содержащем дополнительно встроенный платиновый термометр сопротивления. При малой скорости изменения значения температуры, измеряемой термометром сопротивления, который в данном случае является измерительным преобразователем более высокой точности, принимают в качестве опорных значений. В этом случае оценить метрологическую исправность датчика можно по отклонению значения температуры, измеренной термодатчиком, от принятого опорного значения [4, 6].

Метрологический диагностический самоконтроль датчика осуществляется путем оценки отклонения диагностического параметра, характеризующего критическую составляющую погрешности, от принятого опорного значения этого параметра [3]. Критическая составляющая погрешности — это доминирующая или склонная к быстрому росту составляющая, которая в наибольшей степени определяет риск получения недостоверного результата измерений и выявляется на этапе разработки посредством анализа результатов теоретических и экспериментальных метрологических исследований.

Указанный самоконтроль датчика расхода газа может быть реализован на основе сопоставления измерительной информации, поступающей от двух измерительных преобразователей, различающихся принципом действия: вихревого с обтекаемым телом и времяпролетного корреляционного, соответственно [7].

Метрологический диагностический самоконтроль может быть реализован в емкостном датчике расстояния до плоского проводящего тела, содержащем плоские электроды, сдвинутые относительно друг друга в направлении, перпендикулярном их поверхности. В тех случаях, когда критическая составляющая погрешности обусловлена неодинаковым загрязнением поверхности электродов, в качестве принятого опорного значения может служить разность значений напряжения на сдвинутых электродах на расстоянии, измеренном при помощи одного из них, определенная на этапе предшествующей калибровки. По отклонению значения разности этих напряжений от принятого опорного значения можно оценить метрологическую исправность датчика [3, 8].

Этот самоконтроль может быть реализован при использовании в датчике нескольких измерительных преобразователей одного и того же типа. Такое решение эффективно при условии, что изменения критической составляющей погрешности у отдельных преобразователей в их совокупности имеют случайный характер, т. е. вероятность практически одинакового дрейфа градуировочных характеристик для всех преобразователей можно считать ничтожной.

В качестве параметра, характеризующего критическую составляющую погрешности датчика, можно взять среднее отклонение выходных сигналов преобразователей от их среднего значения. Это отклонение, определенное при предшествующей калибровке, принимают в качестве опорного значения. По изменению среднего отклонения выходных сигналов преобразователей от принятого опорного значения устанавливается метрологическая исправность датчика.

Аналогичные подходы могут быть применены и к ИС, которая при организации в ней метрологического самоконт-

роля становится интеллектуальной. Она может быть построена на основе:

интеллектуальных датчиков;

информационно-избыточных датчиков, подключенных к устройству обработки сигналов;

нескольких пространственно-разнесенных датчиков одной и той же величины, из которых один имеет более высокую точность и формирует принятое опорное значение (для ИС, при эксплуатации которой может быть реализован режим с одним и тем же значением измеряемой величины в пространстве);

нескольких пространственно-разнесенных, близких по точности датчиков одной и той же величины, формирующих принятое опорное значение на основе среднеарифметического значения выходных сигналов (для ИС, при эксплуатации которой может быть реализован режим с одним и тем же значением измеряемой величины в пространстве);

датчиков, измеряющих различные величины, связь между которыми в технологическом процессе известна с требуемой точностью и т. д. [3].

На взгляд авторов статьи, метрологический самоконтроль датчиков является более эффективным средством, чем аналогичный самоконтроль ИС, однако самоконтроль, организуемый для ИС, может быть полезным дополнением к нему [9].

Метрологический самоконтроль рассматривается как дополнительная процедура метрологического обеспечения, позволяющая резко снизить, хотя и не исключить полностью, риск возникновения необнаруженного метрологического отказа. В ряде СИ и ИС самоконтроль позволяет корректировать погрешность, многократно увеличить МПИ. Во ВНИИМ накоплен опыт разработки и анализа собственных и других — отечественных и зарубежных — проектов интеллектуальных датчиков давления, температуры, расхода, содержания, перемещений, мутности и т. д. [10—14]. По предварительным оценкам длительность МПИ для интеллектуальных датчиков и ИС может достигать 8—10 лет и более, приближаясь к сроку, при котором замена отдельных компонентов оборудования необходима в связи с их моральным устареванием.

Себестоимость серийных интеллектуальных СИ и ИС больше себестоимости аналогов без этой функции, зависит от выбранного типа избыточности и принятого метода самоконтроля. При оптимальном проектировании рост себестоимости в среднем составляет 30—40 %. Однако многократное сокращение эксплуатационных затрат и возможных потерь, связанных с авариями, должно обеспечить быструюкупаемость и эффективность таких устройств.

К сожалению, в настоящее время в России не ощущается роста предложений по поставке интеллектуальных датчиков и других интеллектуальных СИ. Отчасти это, по-видимому, связано с недостаточной информированностью потенциальных потребителей о возможностях таких средств, но в большей степени, с монополизацией производства СИ и услуг по метрологическому обеспечению. Крупные фирмы заинтересованы в сбыте продукции, производству которой поставлено на поток. Метрологи, специализирующиеся на обслуживании сторонних предприятий и организаций, не заинтересованы в сокращении спроса на свою работу. В России надежды, в первую очередь, связаны с небольшими

фирмами, успех которых определится сравнительно свободной нишей на рынке, которая еще не занята, но имеет перспективу роста.

Тем не менее, ощущение неудовлетворенности потребителей СИ современным состоянием обеспечения единства измерений достаточно заметно. Оно проявляется и в форме публикаций в журналах, ориентированных на метрологов-практиков [15].

В последние годы появились публикации, например [16], в которых для многоканальных ИС рекомендовано между поверками, выполняемыми по полной программе, проводить «контрольные проверки», реализуемые по сокращенной программе, организациями, аккредитованными на право поверки. Предполагается, что в этом случае МПИ можно увеличить в несколько раз. «Контрольные проверки» по сокращенной программе предлагается проводить с опорой на избыточность измерительной информации, имеющейся в ИС. На взгляд авторов, такое предложение не устраняет значимую вероятность поступления недостоверной информации в интервале между «контрольными проверками», да и вряд ли будет способствовать кардинальному сокращению эксплуатационных затрат сравнительно с существующей практикой. Иными словами, предложение следует рассматривать как полумеру, некий паллиатив на переходной период.

Создание интеллектуальных СИ и ИС с многолетним МПИ требует достаточно серьезной работы и представления доказательной аргументации в Росстандарт для увеличения длительности МПИ. Поэтому некоторые предприятия выбирают другой путь. Они сводят метрологический контроль к диагностике электрической цепи и, игнорируя вероятность возрастания погрешности первичного преобразователя, которую реализованная в СИ диагностика не позволяет выявить, называют средство интеллектуальным. С учетом положений действующих стандартов [3, 4] такой рекламный ход можно рассматривать как обман потребителей. Именно поэтому стандарт [4] ориентирует разработчиков интеллектуальных СИ и ИС так реализовывать метрологический самоконтроль и устанавливать МПИ, чтобы в течение его длительности вероятность появления необнаруженной метрологической неисправности была сведена к минимуму.

**Виртуальные СИ и ИС.** В настоящее время все чаще применяют многофункциональные компьютеризированные СИ, значительное преимущество которых — возможность быстрой замены программного обеспечения (ПО) и его модернизации.

Такие средства, называемые виртуальными, позволяют сократить затраты на измерение различных величин, используя для решения задач общую вычислительную часть, оперативно изменять алгоритмы управления процессом измерений и обработки данных. В сфере государственного регулирования внедрение таких средств тормозится действующими нормативными документами. Возникающие проблемы частично решаются в инициированном метрологами, работающими в промышленности, проекте национального стандарта «ГСИ. Средства измерений и системы измерительные виртуальные. Общие положения», разработанном во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Любое совершенствование ПО в его метрологической части требует проведения новой дорогостоящей процедуры утверждения типа, причем ее стоимость не зависит от риска, связанного с использованием средства в сфере государственного регулирования, а орган, выполнивший эту процедуру, ответственности за ошибку в ПО не несет.

По мнению авторов (в развитие [17]), фирмой-изготовителем СИ, ранее внесенного в Госреестр, при модернизации ПО достаточно сообщить в соответствующий орган о его изменении и необходимости внесения нового номера версии в описание типа. При этом новую процедуру утверждения типа можно заменить страхованием ответственности при эксплуатации за последствия возможных потерь, обусловленных ошибкой в модернизированном ПО [18]. Страхование мог бы выполнять как производитель, так и пользователь ПО. Производитель должен страховать пользователей на сумму, удовлетворяющую их большую часть, а ряд пользователей может выполнить дополнительную страховку, оплатив экспертизу страховой компании. В целях защиты потребителей контроль оценки риска в особых случаях следует осуществлять с участием государственного органа.

При этом страхование обяжет разработчиков ПО оперативно устранять недоработки во избежание исков от страховых компаний.

Экономическая эффективность предлагаемого подхода обусловлена возможностью быстрой модернизации программного обеспечения СИ и ИС, в наибольшей степени удовлетворяющей требованиям потребителя, и повышением ответственности разработчиков за качество своей продукции.

Таким образом, на взгляд авторов, нефтегазовая отрасль, как, впрочем, и атомная энергетика, нуждается в организации центра, который на основании анализа частных метрологических проблем предприятий мог бы выявлять общие задачи и обеспечивать научное руководство их решением, исключая тем самым затраты на дублирование работ. При этом такой центр мог бы оперативно оказывать методическую помощь предприятиям. Межотраслевой метрологический центр мог бы быть создан, например, на базе ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Практическая потребность в подобном органе подтверждается как опытом создания комплексных программ метрологического обеспечения в советский период [19], так и примерами ряда стран с развитой и быстро развивающейся экономикой. Постоянное взаимодействие метрологического центра с промышленными предприятиями эффективно организовано, в частности, в Республике Корея на базе KRISS (Корейского исследовательского института стандартов и науки). Этот опыт полезно было бы учесть в России.

## Л и т е р а т у р а

1. **Тайманов Р. Е., Сапожникова К. В.** Метрологическое обеспечение средств измерений — взгляд в ближайшее будущее // Главный метролог. 2011. № 5. С. 4—13.

2. **Генкина Р. И. и др.** Говорим ВНИИМС, подразумеваем — законодательная метрология! // Законодательная и прикладная метрология. 2010. № 5. С. 8—20.

3. **ГОСТ Р 8.673—2009.** ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Термины и определения.

4. **ГОСТ Р 8.734—2011.** ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля.

5. **Bernhard F. e. a.** Application of self-calibrating thermocouples with miniature fixed-point cells in a temperature range from 500 °C to 650 °C in steam generators // Proc. XVII IMEKO. World Congress, Dubrovnik, Croatia, 2003. P. 1604—1609.

6. **Barberree D.** Dynamically self-validating contact temperature sensors // Proc. Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry. AIP Conference / Eds. D. C. Ripple e. a. N.Y., Melville, 2003. V. 7. P. 1097—1102.

7. **Hans V., Ricken O.** Self-monitoring and self-calibrating gas flow meter // Proc. 8<sup>th</sup> Intern. Symp. on Measurement Technology and Intelligent Instruments. Sendai, 2007. P. 285—288.

8. **А. с. 922498 СССР.** Емкостной датчик расстояния до проводящей поверхности / К. В. Сапожникова, Р. Е. Тайманов // Бюл. изобрет. 1982. № 15.

9. **Пронин А. Н., Сапожникова К. В., Тайманов Р. Е.** Контроль достоверности информации, поступающей от датчиков // Датчики и системы. 2008. № 8. С. 58—63.

10. **Taymanov R., Sapozhnikova K.** Metrological self-check and evolution of metrology // Measurement. 2010. V. 43. N 7. P. 869—877.

11. **Taymanov R., Sapozhnikova K., Druzhinin I.** Sensor devices with metrological self-check // Sensors & Transducers J. February 2011. V. 10. (special issue), N 2. P. 30—44.

12. **Baksheeva Y., Sapozhnikova K., Taymanov R.** Metrological self-check of pressure sensors // Proc. Seventh Intern. Conf. on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies. Stratford-upon-Avon, England, 2010.

13. **Бакшеева Ю. В., Сапожникова К. В., Тайманов Р. Е.** Резистивные датчики температуры с метрологическим самоконтролем // Датчики и системы. 2011. N 4. P. 57—64.

14. **Sapozhnikova K., Taymanov R.** Sensor devices with high metrological reliability // Nuclear Power — Control, Reliability and Human Factors / Ed. P. Tsvetkov, InTech, 2011, P. 3—26.

15. **Боровиков В. А.** Главный метролог должен быть не только метрологом, но еще и немного экономистом // Главный метролог. 2011. N 2. С. 7—17.

16. **Храпов Ф. И.** Анализ источников избыточной информации о состоянии измерительных каналов измерительных систем для корректировки межповерочных интервалов измерительных систем // Военный метролог. 2011. № 4. С. 6—10.

17. **Пронин А. Н. и др.** Виртуальные средства измерений и их метрологическое обеспечение // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: Труды 3-й Рос. конф. с междунар. участием УКИ-12. ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН М.: 2012. С. 631—633.

18. **Тайманов Р. Е. и др.** Особенности обеспечения единства измерений с использованием программируемых средств // Мир измерений. № 11. С. 3—8.

19. **Тайманов Р. Е. и др.** Метрологическое обеспечение решения проблемы эффективности топливно-энергетического комплекса страны // Метрология и повышение качества продукции, выпускаемой ленинградскими предприятиями: Материалы семинара. Л.: ЛДНТП, 1982, 47—50.

Дата принятия 10.01.2013 г.