



Метрология цифровых измерений

Аркадий Гуртовцев

Проведён анализ основных понятий метрологии измерительных систем (ИС) и их разновидности — АСКУЭ. Показаны недостатки исторически сложившихся методов метрологической аттестации цифровых ИС и АСКУЭ. Предложено выделять и метрологически аттестовывать в качестве средств измерений в современных ИС и АСКУЭ только их входную часть — первичные цифровые средства измерений или измерительные каналы с цифровым выходом; при этом остальные системные средства рассматривать как вторичные средства неизмерительного назначения, требующие не метрологической, а цифровой аттестации. Такой подход позволяет существенно сократить затраты на метрологическое обеспечение ИС и АСКУЭ.

Часть 1

Предисловие

Причиной пересмотра основных понятий метрологии измерительных систем (ИС) послужили современные цифровые автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ). Позиция автора по данному вопросу изложена в ряде публикаций [1-6]. В России в области метрологии электрических измерений существует большая нормативно-правовая и нормативно-техническая база, включающая в себя более двухсот документов различного уровня и назначения [7]. Тем не менее как в России, так и в странах СНГ (включая Белоруссию) отсутствуют метрологические документы (стандарты, методики, рекомендации, методические указания) на цифровые ИС и АСКУЭ, отражающие особенности современных цифровых технологий. Более того, отсутствует даже среди специалистов чёткое понимание того, что представляют собой цифровые ИС и чем они в метрологическом отношении принципиально отличаются от нецифровых систем.

Поэтому на цифровые ИС в странах СНГ до сих пор автоматически распространяется действие метрологических документов, разработанных ещё 20-30 лет назад для систем различного назначения (измерительных информационных, информационно-измерительных и измерительно-вычислительных комплексов), или новых документов, кото-

рые некритически, без учёта достижений современных информационных технологий заимствовали устаревшие представления и положения прежней метрологии ИС. В частности, для России в настоящее время действуют в области ИС такие метрологические документы, как [8-23], для Украины — [8, 10, 24-28], для Белоруссии — [8, 10, 24-37].

ИС вчерашнего дня были ориентированы на технологии глобальной обработки измерительной информации в виде унифицированных аналоговых и дискретных сигналов. Современные же цифровые ИС и АСКУЭ используют в своей основе новейшие технологии обработки измерительной информации, представленной в виде рациональных чисел известной точности, с применением вычислительных машинных алгоритмов арифметики ограниченной точности. Например, в рамках цифровых АСКУЭ процессы аналоговых измерений сосредотачиваются только в их входной части, на нижнем уровне — уровне масштабных преобразователей и электронных электросчётчиков с длительно хранимой в них базой данных учёта, представленных в цифровом виде, и с внешним доступом к этой базе по цифровым интерфейсам [5]. Аналогичные подходы внедряются сегодня и в другие цифровые ИС. Новые технологии построения цифровых ИС и АСКУЭ требуют пересмотра и переосмысления целого ряда метрологических понятий, сформировавшихся ещё в эпоху аналоговых измерений и пре-

обладающих в действующих метрологических документах.

В настоящей работе проводится ревизия таких базовых метрологических понятий, как измерение, средство измерений, измерительная система, измерительный канал и т.д. На основе критического анализа различных метрологических документов выявляется неудовлетворительное состояние ряда понятий и положений метрологии ИС: их неоднозначность, размытость, противоречивость. Становится очевидным, что существующие метрологические документы нельзя применять по отношению к цифровым ИС и АСКУЭ. Необходимо сформировать в метрологии, по крайней мере, относительно современных цифровых ИС, подвидом которых являются цифровые АСКУЭ, новый подход. Необходимо создать новое направление метрологии — метрологию цифровых измерений.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ МЕТРОЛОГИИ

О понятии «измерение»

Согласно рекомендации РМГ 29-99 [10] метрология определяется как «наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности». Именно поэтому ключевым понятием метрологии является измерение.

Одни и те же термины, приводимые в разных метрологических документах,

имеют, как правило, различные определения, что затрудняет их согласованное понимание, порождает неопределённости или даже противоречия. Так, например, согласно [30] *«Измерение — совокупность операций, выполняемых для определения значения величины»*. Такая трактовка чрезвычайно широка, она охватывает процессы, которые относятся не только к измерению, а в содержании понятия остаются неясными определяющие термины: о какой величине идёт речь (физической, математической, психической и т.п.), какая совокупность операций относится к измерению, что должно являться значением величины (число, сигнал, код)?

В ГОСТ 16263-70, на смену которому пришли современные рекомендации РМГ 29-99, измерение определялось столь же расплывчато: *«нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств»*. Такая трактовка породила в 70-90-е годы на страницах научных журналов ожесточённую полемику относительно того, как же надо понимать термин «измерение» и другие сопутствующие ему категории метрологии. Уже тогда многие авторы предостерегали от необоснованного расширения понятия измерения на любые операции приписывания чисел объектам материального мира (операции арифметизации), отмечая, что хотя измерение и сводится, в конце концов, к числовому представлению физических величин, но не всякое числовое представление этих величин есть измерение. В частности, отмечалось, что «...имеется озабоченность неопределённостью ряда понятий в метрологии и навязываемой «экспансией» метрологических терминов в другие сферы...», «...из определения понятия «измерение» исчезла его сущность — сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу...» [38], «...имеется явная необходимость ограничить степень обобщения понятия «измерение», исходя из пользы научной и практической...» [39].

Тогда же из-за отсутствия чёткого определения и общепризнанного понимания термина «измерение» произошла путаница между близкими понятиями «измерение», «контроль», «сравнение». Любое измерение есть процесс сравнения с единицей измерения, контроль может рассматриваться как частный случай измерения (когда требуется знать не конкретные значения физических величин, а только их

соотношения типа «больше», «меньше» или «равно»), но не каждая операция сравнения или контроля является операцией измерения. Поскольку границы распространения метрологии полностью зависят от того содержания, которое вкладывается в понятие «измерение», постольку важно правильное его определение. Чрезмерное расширение этого понятия приводит к тому, что оно охватывает как измерения, так и вычисления, и под измерение попадают любые действия, связанные с приписыванием величине числового значения. Вместе с тем следует помнить, что метрология оперирует результатами, полученными экспериментально, то есть путём измерений, а не вычислений. Поэтому процедуру по приписыванию числового значения величине без сопоставления её с единицей измерения нельзя назвать измерением.

Рассмотренные замечания учтены в определении термина, данного в РМГ 29-99: *«Измерение физической величины — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с её единицей и получение значения этой величины»*. Здесь речь идёт, в-первых, не о какой-то величине вообще, а о физической величине, во-вторых, о совокупности операций по применению особого технического средства, хранящего единицу физической величины, в-третьих, о совокупности операций, обеспечивающих нахождение соотношения измеряемой величины с её единицей, в-четвертых, о получении значения этой величины. Важно примечание к этому определению в документе: *«Приведённое определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нём учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины)»*.

Отметим, что согласно РМГ 29-99 под значением физической величины подразумевается *«выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц, а под её числовым значением — «отвлечённое число, входящее в значение величины»*. Таким образом, результатом окончания процесса измерения должно быть опре-

делённое число, выражающее количество единиц измерения в измеряемой величине. Если говорить строго, то результатом измерения должно быть рациональное число, определённое с известной точностью. Вспомним, что целые и дробные числа (положительные, отрицательные и нуль) образуют множество рациональных чисел, которое *замкнуто* по отношению к арифметическим действиям, *упорядочено* в отношениях порядка «больше» и «меньше» и обладает свойством *плотности*, что и позволяет представлять при помощи этих чисел результаты измерений и вычислений с любой степенью точности.

В заключение отметим, что *счёт* решает проблемы количественной идентификации множества дискретных объектов и их дискретных качеств, а *измерение* — количественной идентификации непрерывных (аналоговых) качеств этих объектов. В том случае когда непрерывное качество физического объекта или процесса дискретизируется и результат такого аналого-цифрового преобразования (оцифровывания) может быть выражен совокупностью рациональных чисел известной точности, процесс измерения можно считать окончанным. Последующие преобразования цифрового результата следует относить к процессу вычисления, а не измерения.

О результатах измерений. Прямые и косвенные измерения

Конечным результатом измерения физической величины должно стать определение её значения, то есть выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц. Размер физической величины — это её количественная определённость, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу, а единица измерения физической величины — физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин [10]. Размер физической величины имеет именование её единицы измерения (например, Вт), а значение физической величины содержит как её числовое значение (отвлечённое число), так и именование её размера (например, 10 Вт).

Согласно [10] *«результат измерения физической величины — значение величины, полученное путём её измерения»*. Заметим, что именно путём измерения, то

есть экспериментально, а не путём вычислений вне средства измерений. Вместе с тем значения многих вторичных физических величин являются результатом вычислений, выполненных над значениями первичных физических величин. В соответствии с этим метрология разделяет все измерения на прямые и косвенные. Согласно [10] *«прямое измерение — измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно»* (уравнение измерения $Q=q[Q]$, где Q — измеряемая величина, а $q[Q]$ — результат измерения, причём q — числовое значение величины, а $[Q]$ — её размер). Важно примечание к данному определению: *«Термин „прямое измерение“ возник как противоположный термину „косвенное измерение“. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с её единицей». Соответственно „косвенное измерение“ — определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной»* (уравнение измерения $Q=f(X, Y, Z)$, где X, Y, Z — результаты прямых измерений, а Q — искомая величина).

При выполнении косвенных измерений необходимо в системе физических величин (согласно [10] *«система физических величин — совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин»*) различать основные (*«основная физическая величина — физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы»*) и производные (*«производная физическая величина — физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы»*) физические величины.

По линии глобального разделения всех измерений на прямые и косвенные (разновидностью косвенных измерений являются совокупные и совместные) проходит наиболее спорная область метрологии, вызывающая различное понимание того, что является измерением, а что им не является, где кончается измерение и начинается иной, неизмерительный процесс, что является средством измерения, а что им не является. Поскольку метрология должна обеспечить решение измери-

тельных задач (согласно [10] *«измерительная задача — задача, заключающаяся в определении значения физической величины путём её измерения с требуемой точностью в данных условиях измерений»*) для основных, или первичных (при прямых измерениях), и производных, или вторичных (при косвенных измерениях), физических величин, то следует определиться, в каких случаях вычисления (и другие операции неизмерительного назначения) являются неразрывной составной частью процесса измерения, а в каких случаях их можно (и нужно!) отделить от процесса измерения и рассматривать автономно.

В действующих документах по метрологии такая постановка вопроса до сих пор отсутствует [8–37]. Более того, под косвенные измерения и средства измерений, независимо от вида их реализации и свойств, до сих пор подгоняются все технические средства, в которых имеется хотя бы одна операция над результатом измерения, причём независимо от её вида: хранение, передача, обработка, отображение, документирование и т.п.

О понятии «средство измерений»

Согласно РМГ 29-99 [10] *«средство измерений (СИ) — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени»*. Важно примечание в документе к указанному определению: *«Приведённое определение вскрывает суть СИ, заключающуюся, во-первых, в „умении“ хранить (или воспроизводить) единицу физической величины; во-вторых, в неизменности размера хранимой единицы. Эти важнейшие факторы и обуславливают возможность выполнения измерения (сопоставление с единицей), то есть „делают“ техническое средство средством измерения»*.

Корректное, то есть в соответствии с их содержанием, применение на практике понятий «измерение» и «средство измерений», изложенных в РМГ 29-99, приводит к противоречиям со всеми другими метрологическими документами, в которых эти понятия некритично и необоснованно распространяются на все технические операции и средства, используемые совместно с «истинными» СИ. Достаточно в качестве примера привести определение СИ из стан-

дарта [8], до сих пор действующего на территории стран СНГ: *«СИ — средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины, или воспроизводящее величину заданного (известного) размера. СИ — это меры, компараторы, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные системы. Для СИ должны быть установлены МХ»* (МХ — метрологические характеристики).

Примечательно, что в этом определении проявилась та технология построения СИ, которая и позволила метрологам чрезвычайно расширить объём этого понятия в ущерб его содержанию, — технология обработки сигналов. Об этом подробнее будет сказано в последующих разделах статьи. По существу же во всех самых последних российских документах на ИС и АСКУЭ [12–23] проводится та же устаревшая метрологическая практика. Но ведь технологии-то с тех пор изменились, причём существенно!

Об измерительной информации и первичных СИ

Числовое значение физической величины, о котором говорилось ранее, не является единственным способом представления результата измерения. Более общий термин, отражающий как числовые значения физической величины, так и её значения в иной форме (сигнал, отсчёт, код), — *«измерительная информация»* (согласно [10] определяется как *«информация о значениях физических величин»*). Покажем противоречивость понятий «значение физической величины» и «измерительная информация»: в первом значении физической величины выражается в виде некоторого числа принятых для неё единиц, а во втором подразумевается, что значения физических величин могут отличаться от числового (в противном случае, если нет отличий, то нет и смысла вводить термин «измерительная информация» дополнительно к термину «значение физической величины»).

Итак, разновидностью измерительной информации является сигнал и отсчёт. Согласно [10] *«измерительный сигнал — сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине», а «отсчёт показаний средства измерений — фиксация значения величины или числа по показывающему устройству средства измерений в заданный момент времени»*. Помимо пред-

ставления значения физической величины в виде **числа, сигнала и нецифрового отсчёта** – регламентированных разновидностей измерительной информации – возможно её представление и в виде некоего **кода** (двоичного, шестнадцатеричного, двоично-десятичного и др.). Но в РМГ29-99 определение такого способа представления измерительной информации отсутствует.

То, что в большинстве СИ (в частности, в ИС) до сих пор результат измерения представляется не в виде числа, а в виде сигнала, отсчёта или кода, является одной из причин того, что любые операции над данными видами измерительной информации трактуются как измерительные, а технические средства, в которых реализуются эти операции, определяются как СИ. Имеются и другие причины такого положения, о которых будет сказано в последующих разделах статьи.

Прежде чем перейти к анализу особенностей ИС, кратко рассмотрим первичные СИ, к которым относят меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи и датчики, измерительные устройства, измерительные установки. Приведём соответствующие определения согласно [10]:

- **«мера физической величины – СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью»;**
- **«измерительный прибор – СИ, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне»;**
- **«измерительный преобразователь (ИП) – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи»** (важно примечание к данному определению: *«По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи. По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные преобразователи. Выделяют также масштабные и передающие преобразователи»*), **«первичный измерительный преобразователь (ПИП) – ИП, на который непосредственно воздействует изме-**

ряемая физическая величина, то есть первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы)», а «датчик – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы» (важно примечание: *«Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от СИ, принимающего его сигналы»*);

- **«измерительное устройство – часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение», «измерительная цепь – совокупность элементов СИ, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода»;**
- **«измерительная установка – совокупность функционально объединённых мер, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте».**

Заметим, что в приведённых определениях первичных СИ форма представления измерительной информации либо не указывается (полагается, что

она не имеет значения, хотя это и не так, как показано далее), либо определяется как измерительный сигнал.

Рассмотрим понятия ИС, которые являются основным предметом данной статьи.

О понятии «измерительная система»

Согласно [10] *«измерительная система (ИС) – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях»*. Важно примечание к определению: *«В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролируемые, измерительные управляющие системы и др.»*.

Обратим внимание на то, что в определении ИС превалирует как результат измерения измерительный сигнал, а не числовое значение величины. Кроме того, в самом определении ИС не делается различий между СИ и другими тех-

ническими средствами, включая ЭВМ, то есть средства неизмерительного назначения. Полагается, что все эти средства применяются «с целью измерения».

Аналогичные, только более детальные определения ИС приведены в документе СНГ [26] и российском стандарте [9]:

● *«ИС – техническое устройство, предназначенное для измерений и представляющее собой, в общем случае, совокупность измерительных приборов, измерительных преобразователей (в том числе устройства согласования сигналов), мер, измерительных коммутаторов, линий связи, цифровых и аналоговых вычислительных устройств, объединённых общим алгоритмом функционирования и предназначенных для автоматического (автоматизированного) получения данных о состоянии объекта путём измерительных преобразований множества изменяющихся во времени и распределённых в пространстве величин, характеризующих это состояние; машинной обработки результатов измерений; регистрации и индикации результатов измерений и результатов их машинной обработки; преобразования этих данных в выходные сигналы системы»;*

● *«ИС – совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих измерительные каналы (ИК), и вспомогательных устройств (компонентов измерительных систем), функционирующих как единое целое, предназначенная для получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований в общем случае множества изменяющихся во времени и распределённых в пространстве величин, характеризующих это состояние; машинной обработки результатов измерений; регистрации и индикации результатов измерений и результатов их машинной обработки; преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях»*.

Эти определения при общем сходстве с предыдущим отличаются от него наличием большего количества компонентов, характеризующих внутреннее устройство (структуру) системы, а также большим перечнем выполняемых системой функций.

Характерными свойствами ИС являются размещение *«технических средств ... в разных точках контролируемого объекта и т.п.»* (первое определение) и получение *«данных о состоянии объекта»*

путём измерительных преобразований множества изменяющихся во времени и распределённых в пространстве величин» (второе определение). Таким образом, из сути двух определений ИС следует важный вывод: **различные технические средства ИС размещаются в разных точках пространства и используются для измерения физических величин, изменяющихся во времени и распределённых в пространстве.** Как следствие, процесс измерения с использованием пространственно-распределённых, различных, обособленных в функциональном и конструктивном исполнении технических средств ИС порождает пространственное и временное распределение исходной, промежуточной и результирующей измерительной информации (в форме чисел, отсчётов, сигналов, кодов). Для интеграции такой распределённой во времени и в пространстве информации необходимо обеспечить соответствующие условия её хранения, передачи, обработки, отображения, регистрации, документирования и дальнейшего распространения.

На рис. 1 приведена типовая структурная схема нецифровой ИС, содержащей датчики, измерительные преобразователи (одноканальные и многоканальные), коммутаторы, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и цифровой вычислительный компонент (ЦВК) [26]. Из схемы ясно, что большая часть ИС (её первичная и вторичные части) осуществляет аналоговые преобразования измерительных сигналов, и только на выходе вторичной части (на выходе АЦП) появляются промежуточные значения физических величин, представляемые в виде цифрового кода. Получение числовых результатов измерений происходит только в

конечном компоненте ИС – в ЦВК в процессе приёма им в реальном масштабе времени кодов с АЦП и их последующей дискретной обработки (вычислений) в своей разрядной сетке (с достаточной разрядностью для достижения требуемой точности вычислений) с использованием соответствующих форматов данных и алгоритмов.

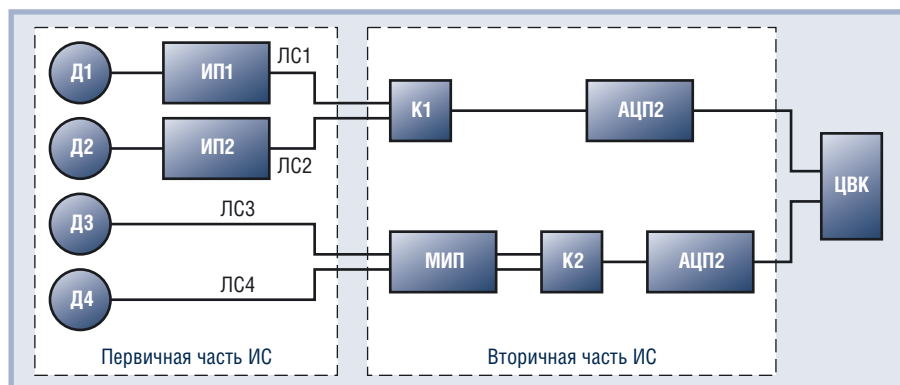
В рассматриваемой структуре ИС преобразования измерительной информации распределены пространственно между компонентами системы, но жёстко связаны во времени: информация на выходе одного компонента должна в реальном масштабе времени и с минимальными задержками быть обработана следующим в измерительной цепи компонентом. Длительное хранение информации, представленной в аналоговом или дискретном виде в том или ином компоненте ИС (за исключением ЦВК), невозможно и недопустимо. Такую структуру системы можно назвать слабо связанной в пространстве (компоненты конструктивно и пространственно обособлены друг от друга), но сильно связанной во времени (связь во времени между функционирующими компонентами нельзя прервать даже на короткий период). В этой ИС все операции, производимые теми или иными компонентами, независимо от их вида (измерительные, связующие, вычислительные), являются составной частью процесса измерения и не могут быть из него вычленины. Неправильная работа какого-либо компонента, даже такого пассивного, как линия связи, автоматически приведёт к ошибочному результату, то есть к метрологическому отказу.

В итоге, хотя ИС содержит пространственно, конструктивно и функцио-

нально обособленные компоненты различного назначения, система в целом должна рассматриваться как единое СИ с вытекающими из этого соответствующими метрологическими последствиями: утверждением или аттестацией типа СИ и его метрологическим контролем. Такая ИС по своей метрологической сути идентична первичному СИ, выполненному в виде законченного изделия. Внутри системы могут выполняться различные операции как измерительного, так и неизмерительного назначения, но в целом она должна рассматриваться как СИ. Основой реализации всех подобных систем является технология глобальной обработки измерительной информации в виде аналоговых или дискретных сигналов. Поэтому такие ИС можно с полным основанием назвать нецифровыми (в них цифровой результат формируется не внутри системы, а только на её выходе).

Совсем иная картина складывается в случае цифровых ИС, типичным представителем которых являются цифровые АСКУЭ. Современные цифровые ИС и АСКУЭ используют в своей основе новейшие технологии глобальной машинной обработки измерительной информации, представленной в цифровом виде. В частности, в цифровой АСКУЭ процессы аналоговых измерений сосредотачиваются только в её первичной части, на уровне измерительных трансформаторов тока, напряжения и электронных электросчётчиков. Все иные процессы на других уровнях цифровой системы представляют собой исключительно процессы неизмерительного назначения: передача, хранение, обработка, анализ, отображение, документирование и распространение цифровой информации известной точности (точность представления и обработки такой информации может быть существенно выше точности результатов измерений, представленных в цифровом виде внутри системы на её нижних уровнях). Эти процессы не относятся к процессам измерений, а только используют их результаты.

Принципы создания цифровых АСКУЭ широко распространяются сегодня и в других цифровых ИС, использующих на нижнем уровне первичные измерительные преобразователи с цифровым выходом и длительно хранимой цифровой базой данных, формируемой в точке измерения. Результатом применения таких технологий является то, что ИС становятся



Условные обозначения:
 ИС — измерительная система; ЛС — линия связи; Д — датчик; ИП — измерительный преобразователь;
 К — измерительный коммутатор; АЦП — аналого-цифровой преобразователь;
 МИП — многоканальный групповой измерительный преобразователь;
 ЦВК — цифровой вычислительный компонент.

Рис. 1. Структурная схема ИС

слабо связанными системами не только в пространстве, но и во времени: доступ к цифровым измерительным данным нижнего уровня систем возможен практически в любое время при полной гарантии сохранения результатов измерений в точке измерения и их неискажённого получения для дальнейшей обработки на верхних уровнях системы. Новые технологии построения цифровых ИС и АСКУЭ требуют пересмотра метрологических понятий, сформировавшихся в эпоху аналоговых измерений и преобладающих в метрологии до сих пор.

О понятии «измерительный канал»

Важнейшей частью ИС являются измерительные каналы. Предшественник понятия «измерительный канал» — это понятие «измерительная цепь», которое в соответствии с [10] было определено ранее. Для ИС измерительная цепь превращается в измерительный канал (ИК).

Согласно [30] *«ИК системы — функционально объединённая совокупность технических средств, предусмотренная алгоритмом его функционирования, выполняющая законченную функцию от*

восприятия измеряемой величины до индикации или регистрации результата измерения включительно или преобразование результата измерения в сигнал, удобный либо для дальнейшего использования вне ИС, либо для ввода в цифровое или аналоговое устройство, входящее в состав ИС». Согласно [26] *«ИК ИС — последовательное соединение измерительных каналов измерительных компонентов ИС, предусмотренное алгоритмом её функционирования, выполняющее законченную функцию от восприятия измеряемой величины до индикации или регистрации результата измерения включительно или преобразование его в сигнал, удобный либо для дальнейшего использования вне ИС, либо для ввода в цифровое или аналоговое вычислительное устройство, входящее в состав ИС»*. Идентичное определение дано в [28].

В других документах [24, 27, 31, 33, 34] определения ИК существенно отличаются друг от друга. Общее в них только то, что ИК представляет собой цепь последовательно соединённых технических средств, образующих непрерывный путь прохождения измерительной информации от её входа до выхода и предназначенных для измерения одной физической величины. Расхождения

начинаются далее: по использованию ИК, по его структуре, по виду измерительной информации в ИК, по трактовке того, где и чем оканчивается ИК. Так, в одних определениях ИК понимаются как часть ИС, а в других — как отдельные, самостоятельные средства. Относительно структуры ИК в одних определениях все их технические средства представляются как СИ, в других — частично как СИ и иные технические средства, в третьих — как комплекс измерительных преобразователей (то есть СИ конкретного вида), в четвёртых — просто как функционально объединённая совокупность технических средств. Под измерительной информацией, проходящей через ИК, большинство определений понимает аналоговый сигнал. По поводу места и вида окончания ИК также существует разногласия: в одних случаях ИК выполняет законченную функцию от восприятия измеряемой величины до её индикации или регистрации результата измерения включительно (не уточняется, в каком виде), в других — до преобразования результата измерений в сигнал, удобный для использования вне ИС, в третьих — до преобразования результата измерений в сигнал, удобный для ввода

в цифровое или аналоговое устройство, входящее в состав ИС, в четвёртых — вообще отсутствует указание на то, где и чем кончается процесс измерения физической величины в ИК.

Такие размытые, не согласованные друг с другом определения ИК, приведённые в различных метрологических документах, ничего, кроме путаницы, вызвать не могут. В следующей части статьи рассматриваются решения проблем метрологии применительно к цифровым ИС. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуртовцев А.Л. Современные принципы автоматизации энергоучёта в энергосистемах // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. № 4.
2. Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П. Приборный учёт электрической энергии. Система новых взглядов // Энергетика и ТЭК. 2003. № 3, 4.
3. Гуртовцев А.Л. Правила приборного учёта электроэнергии. Глобальный проект белорусских энергетиков // Новости электротехники. 2004. № 6.
4. Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П. Концепция приборного учёта электрической энергии в Республике Беларусь // Энергетика и ТЭК. 2005. № 12 — 2006. № 1.
5. Гуртовцев А.Л. О метрологии цифровых АСКУЭ и границах метрологической экспансии // Электрика. 2006. № 10.
6. Гуртовцев А.Л. Современные принципы приборного учёта электроэнергии. Опыт Беларуси // 10-я научно-практическая конференция-выставка «Метрология электрических измерений в электроэнергетике», 26-30 марта 2007 г., Москва : [сб. докл.].
7. Нормативно-правовая и нормативно-техническая база метрологии электрических измерений в электроэнергетике / Составители: Комкова Е.В., Калашник Л.Н., Туркина О.В. // 10-я научно-практическая конференция-выставка «Метрология электрических измерений в электроэнергетике», 26-30 марта 2007 г., Москва : [сб. докл.].
8. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
9. ГОСТ Р 8.596-2002. ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
10. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
11. МИ 1317-2004. ГСИ. Результаты измерений и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытани-
- ях образцов продукции и контроле их параметров.
12. МИ 2439-97. ГСИ. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура. Принципы регламентации, определения и контроля.
13. МИ 2440-97. ГСИ. Методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов измерительных систем и измерительных комплексов.
14. МИ 2539-99. ГСИ. Измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки.
15. МИ 2891-2004. ГСИ. Общие требования к программному обеспечению средств измерений.
16. МИ 3000-2006. ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учёта электрической энергии. Типовая методика поверки.
17. РД 34.11.206-94. Методические указания. Информационно-измерительные системы. Методика обработки экспериментальных данных метрологической аттестации.
18. РД 34.11.202-95. Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.
19. РД 34.11.333-97. Учёт электрической энергии и мощности на энергообъектах. Типовая методика выполнения измерений количества электрической энергии.
20. РД 34.11.334-97. Учёт электрической энергии и мощности на энергообъектах. Типовая методика выполнения измерений количества электрической мощности.
21. РД 153-34.0-11.204-97. Методика приёмки из наладки в эксплуатацию измерительных каналов информационно-измерительных систем.
22. РД-34.11.114-98. Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии и мощности. Основные нормируемые метрологические характеристики. Общие требования.
23. РД 153-34.0-11.117-2001. Основные положения. Информационно-измерительные системы. Метрологическое обеспечение.
24. ГОСТ 8.437-81. ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
25. МИ 219-80. Информационно-измерительные системы. Организация и поряд-
- ок проведения метрологического надзора.
26. МИ-202-80. Методика. Метрологические характеристики измерительных систем. Принципы регламентации и контроля. Основные положения.
27. МИ 222-80. Методика расчёта метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов.
28. МИ 2002-89. Рекомендации. Государственная система обеспечения единства измерений. Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.
29. Об обеспечении единства измерений : [закон Республики Беларусь: № 163-3 : принят 20 июля 2006 г.].
30. СТБ 8004-93. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений.
31. МИ 200-80. Методика контроля метрологических характеристик измерительных информационных систем встроенными средствами контроля. Основные положения.
32. ГОСТ 26.203-81. Комплексы измерительно-вычислительные. Признаки классификации. Общие требования.
33. ГОСТ 4.199-85. Система показателей качества продукции. Системы информационные электроизмерительные. Комплексы измерительно-вычислительные. Номенклатура показателей.
34. МИ 1999-89. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Системы измерительные информационные. Общие требования к метрологическому обеспечению.
35. МИ 2168-91. Рекомендация. Системы измерительные информационные. Методика расчёта метрологических характеристик измерительных каналов по метрологическим характеристикам линейных аналоговых компонентов.
36. ГОСТ 22315-77. Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие положения.
37. ГОСТ 22316-77. Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие требования к организации взаимодействия средств при построении систем.
38. Марков Н.Н. О терминах «измерение» и «контроль», их определении и понимании // Измерительная техника. 1988. № 1.
39. Земельман М.А. К вопросу о понятии «измерение» // Измерительная техника. 1988. № 2.