

М. А. ЗЕМЕЛЬМАН, В. И. КИПАРЕНКО
(Москва)

СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Измерительные информационные системы (ИИС) применяются там, где необходимо получить информацию о количественных значениях физических свойств каких-либо объектов непосредственно от самих объектов.

Точностью ИИС определяется соответствие режима работы управляемого объекта заданному режиму. При недостаточной точности ИИС автоматические системы не выполняют своих функций, причем в процессе работы автоматической системы это не выявляется. Таким образом, точность ИИС имеет исключительно важное значение для народного хозяйства.

Измерительная система (ИС) состоит из цепи компонентов (датчик — первичный преобразователь, промежуточные преобразователи — вторичная измерительная аппаратура), каждый из которых, являясь локализованным схемным и конструктивным элементом, выполняет вполне определенную, но частную функцию в процессе измерения.

Создание ИС возможно двумя путями: либо разработкой индивидуальной совокупности компонентов, каждый из которых предназначен для работы только с другим конкретным компонентом в данной ИС, либо разработкой нормализованных взаимозаменяемых компонентов, из которых можно комплектовать требуемую ИС. Очевидно, что второй путь заслуживает большего внимания, поскольку именно этим путем должно создаваться подавляющее большинство ИС.

Второй путь создания ИС практически невозможен без единой системы нормирования метрологических характеристик всех компонентов ИС с учетом их возможных взаимных сочетаний в системах. Такая единая система нормирования метрологических характеристик ИС и их компонентов должна обеспечивать возможность определения точности ИС в целом в реальных условиях ее эксплуатации по заданным характеристикам компонентов (анализ систем) и оптимальных метрологических характеристик компонентов по заданной реальной точности ИС в целом (синтез систем).

Без наличия системы нормирования технических (метрологических) характеристик ИС и их компонентов, позволяющей решать задачи син-

*Материал доложен на VIII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1966 года в Новосибирске.

теза и анализа ИС, невозможны ни научно обоснованная, технико-экономически целесообразная разработка компонентов ИС и комплектация их в системы, ни рациональная эксплуатация ИС; невозможны также ни стандартизация компонентов ИС, ни технико-экономически рациональная специализация выпускающих их предприятий.

Изучение отечественной и иностранной нормативной технической документации на различную измерительную аппаратуру показало, что применяемые способы нормирования метрологических характеристик измерительной аппаратуры не позволяют решать указанные выше задачи. Более того, существующее нормирование метрологических характеристик измерительной аппаратуры построено таким образом, что диапазон, за пределы которого с заданной вероятностью не будет выходить погрешность даже одного отдельно взятого прибора в реальных условиях его эксплуатации, определить по нормируемым характеристикам не представляется возможным. Следовательно, дело обстоит так, что в настоящее время по нормируемым характеристикам нельзя обоснованно определить реальную точность даже одного отдельно взятого измерительного прибора в процессе его эксплуатации.

Фактически, применяемые способы нормирования метрологических характеристик направлены на решение хотя и важной, но другой задачи: обеспечение возможности контроля аппаратуры на соответствие предусмотренным в технической документации нормам. Однако эти способы нормирования не позволяют установить, удовлетворяет ли аппаратура потребителя в действительности.

Кроме того, для различных видов измерительных приборов нормируются разные метрологические характеристики, в общем случае между собой не связанные, так что комплекс нормируемых характеристик не позволяет ни определять реальную точность аппаратуры, ни обоснованно сравнивать между собой приборы различных видов, в частности различные компоненты определенной ИС.

Что касается упомянутых выше задач синтеза и анализа ИС, то, по-видимому, при нормировании метрологических характеристик измерительной аппаратуры они вообще не учитываются. Во всяком случае, в изученных нами документах об этом не упоминается.

Нормирование метрологических характеристик измерительных приборов и преобразователей, как правило, построено по следующей общей схеме. По отдельности нормируются наибольшие допустимые: 1) основная (при внешних условиях, принятых за нормальные) статическая погрешность; 2) некоторые характеристики, в какой-то (неопределенной) степени отражающие возможность появления статических случайных погрешностей, — вариация, непостоянство показаний; 3) дополнительные статические погрешности, обусловленные влиянием отклонения каждого из внешних условий по отдельности от его нормального значения на выходной сигнал (показание) измерительного устройства; 4) время изменения выходного сигнала, вызванного скачкообразным изменением входного сигнала от некоторого одного до некоторого другого уровня, как характеристика динамических свойств измерительного устройства. Кроме того, для устройств, входным сигналом которых является колебательный процесс с различными частотами, в той или иной форме нормируются частотные характеристики.

Одна из основных причин невозможности оценки точности измерительных устройств в реальных условиях их эксплуатации по нормируемым характеристикам заключается в том, что внешние условия, часто оказывающие решающее влияние на реальную точность измерительных устройств, практически являются случайными функциями времени и

вызывают случайные погрешности. Это требует их вероятностных оценок, что невозможно при принятой системе нормирования.

Кроме того, характеристики, предназначенные для отражения возможных случайных погрешностей, не связанных с внешними условиями, во-первых, нормируются таким образом, что оценить случайные погрешности не представляется возможным, и, во-вторых, для разных измерительных устройств нормируются разные характеристики. Например, для электроизмерительных приборов нормируется вариация показаний, а для приборов измерения давления и некоторых преобразователей нормируется вариация выходного сигнала и его непостоянство, причем хотя последние две характеристики часто отражают одни и те же физические явления, для устройств с разными принципами действия эти характеристики погрешностям установлены быть не могут. Поэтому суммарная погрешность может быть определена только экспериментально. А так как выполнение подобных весьма трудоемких и громоздких экспериментов большинству потребителей недоступно, то они вынуждены принимать за суммарные погрешности различные произвольные оценки, которые, как правило, далеки от действительных погрешностей.

Изложенное показывает невозможность оценки реальной точности даже отдельных измерительных устройств по их нормируемым метрологическим характеристикам. Тем более это относится к системам, состоящим из нескольких измерительных устройств.

Возможно, что с таким положением в какой-то степени можно мириться в отношении лабораторных приборов, не представляющих собой системы из нескольких самостоятельных компонентов и применяемых в условиях весьма малых внешних воздействий. Что же касается измерительных информационных систем, то отсутствие возможностей рационального выбора метрологических характеристик компонентов системы по заданным метрологическим требованиям к системе, определения метрологических характеристик системы по нормируемым метрологическим характеристикам ее компонентов, а также невозможность оценки реальной точности как компонентов, так и систем в целом по нормируемым метрологическим характеристикам компонентов приводит к существенным техническим и экономическим последствиям.

Разработка любой ИС основывается на заданных заказчиком метрологических требованиях к системе. Даже когда заказчик знает, какова необходимая ему реальная точность системы, он вынужден задавать ее метрологические характеристики в принятой форме, так что не может быть уверенности в обеспечении действительно требуемой точности. В результате заказчик часто задает заведомо завышенные требования к отдельным метрологическим характеристикам, не обращая должного внимания на другие характеристики, что приводит к удорожанию как разработки, так и самой измерительной аппаратуры.

Например, весьма широкое распространение при измерениях температуры получила простейшая измерительная система, состоящая из термомпары и автоматического потенциометра. Помимо того, что по нормируемым характеристикам автоматического потенциометра определить его точность в реальных условиях эксплуатации не представляется возможным (по причинам, аналогичным рассмотренным выше), нормируе-

мые метрологические характеристики автоматического потенциометра плохо увязаны между собой и с характеристиками термопары. ГОСТ 7164—58 на автоматические потенциометры предусматривает три класса точности — 0,2; 0,5 и 1,0. Одновременно нормируется наибольшее допустимое изменение показаний, вызванное изменением температуры среды, окружающей потенциометр, в диапазоне от 0 до 50°С: 0,2% на каждые 10°С независимо от класса точности.

Очевидно, что при этих условиях применение приборов класса точности 0,2 является неоправданным, так как только из-за влияния температуры окружающей среды (при 50°С) разница погрешностей приборов кл. 0,2 и 0,5 оказывается весьма малой: поскольку основная погрешность нормируется для окружающей температуры 20°С, то при 50°С погрешность прибора кл. 0,2 может достигнуть 0,8%, а погрешность прибора кл. 0,5 — 1,1%, т. е. оба прибора имеют одинаковый уровень точности. В то же время уменьшение основной погрешности в 2,5 раза достигается ценой существенного усложнения схемы и технологии изготовления прибора, т. е. за счет снижения его надежности и повышения стоимости.

Это положение значительно усугубляется, если учесть влияние погрешности термопары на погрешность системы в целом. Возьмем для примера термопару ХК, предназначенную для измерения температуры в диапазоне от 0 до 150°С. По ГОСТу 3044—61 (Термопары. Градуировочные таблицы) наибольшая допустимая погрешность данной термопары нормируется равной $\pm 0,2$ мВ, а номинальный диапазон т. э. д. с. составляет примерно 10 мВ. При этих условиях допустимая основная погрешность автоматического потенциометра кл. 0,2 равна 0,02 мВ, кл. 0,5 — 0,05 мВ и кл. 1,0 — 0,1 мВ. Сопоставление допустимых погрешностей термопар и автоматического потенциометра показывает, что выпуск автоматических потенциометров кл. 0,2, и даже кл. 0,5 для этих целей нецелесообразен.

Исходя из необходимости повышения качества измерительной аппаратуры, от приборостроителей требуют повышения классов точности автоматических потенциометров, в то время как в действительности решающим здесь является не «класс точности» (допустимая основная погрешность), а стабильность т. э. д. с. термопар и температурная стабильность манганина, определяющая температурную погрешность потенциометра. Последние же две проблемы относятся не к приборостроению, а к металлургии.

Такое положение обусловлено, в частности, тем, что существующее нормирование, во-первых, предусматривает разделение погрешностей на «основные» и «дополнительные», создавая впечатление о наибольшем влиянии на общую точность основных погрешностей, и, во-вторых, не предусматривает общей оценки погрешностей измерения в реальных условиях эксплуатации как отдельных приборов, так и системы в целом.

Рассмотренный пример касается одной из наиболее элементарных ИС. В более сложных ИС, содержащих промежуточные аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, сложные датчики, каналы передачи измерительной информации, многоканальную вторичную аппаратуру и т. п., метрологические характеристики компонентов ИС не согласованы в еще большей степени.

Во многих случаях потребитель не знает необходимой ему реальной точности системы. Это происходит из-за того, что, имея опыт эксплуатации ИС в каком-либо конкретном процессе, потребитель может судить лишь о том, насколько известные ему конкретные ИС выполняли свои функции в этом процессе. Но как и с какими именно

нормируемыми метрологическими характеристиками ИС связаны ее результирующие свойства, при существующих способах нормирования обоснованно определить невозможно. Это также приводит к тому, что заказчик задает необоснованные требования к ИС.

Во многих случаях заказчик бывает вынужден задавать метрологические требования не к ИС в целом, а к ее отдельным компонентам. В принципе это было бы правильным, если бы по нормируемым метрологическим характеристикам компонентов можно было бы определить реальную точность измерения и при условии взаимозаменяемости компонентов. Но в современных условиях первое, а иногда и второе не обеспечиваются. Однако разработчики и изготовители аппаратуры в другой форме заданий, как правило, не принимают, поскольку они также не в состоянии связать заданные требования к системе в целом с нормируемыми метрологическими характеристиками отдельных компонентов, обычно разрабатываемых разными организациями. Лишь в отдельных случаях, когда разработку всех компонентов системы принимает на себя одна организация, задаются требования к системе в целом, но и тогда эти требования задаются в такой (принятой) форме, что обоснованно определить по ним реальную точность измерений системы невозможно. Такой порядок разработок (а также и выпуска) аппаратуры не может быть признан целесообразным, поскольку он противоречит принципам специализации конструкторских и производственных предприятий и приводит, следовательно, к удорожанию как разработок, так и самой аппаратуры.

Следует отметить, что существующие способы нормирования метрологических характеристик применимы для измерительных приборов, мало подверженных влиянию различных воздействий и обладающих относительно малыми случайными погрешностями. Но, очевидно, эти способы нормирования неприменимы для ИС, состоящих из отдельно нормируемых компонентов, обладающих существенными случайными погрешностями и сильно подверженных различным влияниям.

Вследствие того, что научно обоснованные методы, предназначенные для практической оценки реальной точности ИС по их нормируемым метрологическим характеристикам, методы сравнения метрологических характеристик различных компонентов ИС, методы определения оптимальных метрологических характеристик компонентов ИС в целом отсутствуют, приходится констатировать отсутствие необходимых метрологических основ для стандартизации, разработки, эксплуатации и инженерных методов нормирования метрологических характеристик ИС.

Созданию методов нормирования метрологических характеристик ИС, по-видимому, препятствовало то обстоятельство, что до последнего времени усилия метрологов были направлены в основном на развитие метрологии отдельных областей измерений, в то время как решение рассматриваемой задачи возможно лишь при общем подходе к оценкам метрологических характеристик любой измерительной аппаратуры, включая ИС.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что одной из наиболее актуальных задач метрологии является разработка таких единых методов нормирования метрологических характеристик ИС и их компонентов (датчиков — первичных преобразователей, промежуточных преобразователей и вторичной измерительной аппаратуры), которые позволяли бы по нормируемым характеристикам обоснованно решать задачи анализа и синтеза измерительных информационных систем.

В последние годы в литературе появился ряд работ, в которых рассматриваются различные метрологические оценки измерительной аппа-

ратуры, отличающиеся от принятых в нормативной технической документации и учитывающие с разной степенью полноты и в различной форме факторы, упоминавшиеся выше, влияющие на реальную точность ИС и их компонентов. Однако, как нам представляется, большинство работ, касающихся данного вопроса, носит чрезмерно абстрактный характер, а физический смысл и целесообразность применения предлагаемых оценок и критериев недостаточно ясны.

Целью любого измерения является определение действительного значения измеряемой величины. Учитывая, что современная автоматизированная измерительная аппаратура всегда обладает существенными случайными погрешностями, обусловленными внутренними шумами и характером изменения влияющих воздействий, по-видимому, надо считать, что основным метрологическим критерием для ИС и их компонентов должна являться связь между вероятностью, с которой действительное значение измеряемой величины лежит в некотором диапазоне, и самим этим диапазоном при определенных значениях выходного сигнала измерительного устройства.

Любые нормируемые метрологические характеристики измерительных устройств должны быть такими, чтобы по ним можно было более просто определить эту связь между доверительной вероятностью и доверительным интервалом в реальных условиях измерений. Если эту связь по нормируемым характеристикам установить нельзя, то нельзя и считать, что нормируемые характеристики определяют точность измерительной аппаратуры, к которой они относятся. Поэтому нам представляется, что разработка научных основ нормирования метрологических характеристик ИС и их компонентов должна включать в себя следующие основные этапы:

1) разработку общего подхода к оценкам погрешностей измерительных устройств, предназначенных для измерений различных меняющихся величин в условиях воздействия разнообразных влияний;

2) исследование возможности установления типовых законов распределения вероятностей функций преобразования различных групп датчиков, промежуточных преобразователей, вторичной измерительной аппаратуры;

3) изучение возможности установления типовых, специфичных для определенных групп предприятий, законов распределения вероятностей различных воздействий, влияющих на характеристики измерительных устройств.

*Поступила в редакцию
19 сентября 1966 г.*