

В.И. Кудрявцев, профессор

ЦИКЛОКОРРЕКЦИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

This article is concerning the classification of the methods of improvement accuracy which is based on operations under the parts and components of the measuring process.

В одной из своих работ Норберт Винер сделал заключение о том, что кибернетика не даёт никакого выигрыша при анализе простых систем управления, к которым, несомненно, относится двухпозиционное управление в случаях, не осложнённых значимыми динамическими процессами и неопределённостью. Исходя из этого, основным способом повышения качества такого двухпозиционного управления является метрологический анализ контура двухпозиционного регулирования как измерительной системы.

В [1] дается следующая классификация методов и способов повышения точности измерений, которую мы условно назовем метрологической.

Замена средства измерения на более точное.

Ограничение условий применения средств измерений.

Разработка специального средства измерения повышенной точности и его метрологическая аттестация.

Выполнение многократных измерений с последующим усреднением их результата.

Использование более точной формулы измерений.

Метод сравнения с мерой и его разновидности.

Использование тестовых сигналов.

Использование информационной избыточности, включая структурную и функциональную информационные избыточности.

Очевидная эклектичность данной классификации показывает, что в ней не ставилось иной цели, кроме простого укрупненного перечисления соответствующих способов и методов, сгруппированных по принципу удобства их описания. В самом деле, первые три пункта классифицированы по признаку разработки, выбора и условий применения метрологически апробированных средств, а остальные относятся к способам текущей коррекции измерений. При этом в пп. 1–7 речь идет об отдельных приборах, а в п. 8 – о приборных комплексах. В пп. 1–3 говорится о средстве измерения, в п. 4 непосредственно о процессе измерения, в п. 5 объектом способа является формула измерений, пп. 5–7 характеризуются по средствам, используемым для коррекции. Наконец, п. 8 характеризуется по условию информационной избыточности, которое необходимо для любой коррекции, осуществляе-

мой информационным путем, используются ли для создания этого условия тестовые сигналы, образцовые меры, приборная избыточность или что-либо другое. Более того, поскольку использование функциональной информационной избыточности опирается на математический анализ системы уравнений связи или системы формул измерений, то она может быть представлена как частный случай уточнения формулы измерений путем сравнения ее с формулами других измерений в измерительной системе.

Опыт автора показал, что повышение точности управления, практически совпадающей с точностью измерений, опираясь только на метрологический анализ измерительной системы двухпозиционного управления вне реалий системы управления не всегда эффективно для решения проблем простых систем управления. Эти исследования нашли выражение в разработке группы способов повышения точности простых систем управления, которую автор назвал циклокоррекцией.

Циклокоррекция может быть разделена на циклокомпенсацию и информационную циклокоррекцию. Циклокомпенсация заключается в определении метрологических характеристик фазы или момента циклического процесса измерений для целенаправленного воздействия на состояние или факторы измерительной схемы, уменьшающие ошибку измерений, достигаемое взаимодействием структурных элементов измерительной схемы или путем создания дополнительных устройств и узлов для активного воздействия на измерительную схему.

Информационная циклокоррекция заключается в таком информационном взаимодействии двух параллельно протекающих процессов измерения основного, – прямого или косвенного, – и прогнозного измерения, в котором существуют моменты или фазы цикла измерения, где создаются основания для коррекции основного процесса измерений. При этом учитывается не только абсолютная точность основных и прогнозных измерений, но и структура ошибок. Так, например, в прогнозном измерении может отсутствовать прогрессирующая ошибка, которая часто сопровождает основные измерения и которая связана с постепенными эксплуатационными изменениями характеристик измерительной схемы и изме-

рительного преобразователя. Тогда при статистической обработке множества значений рас- согласований между прогнозом и основным измерением она может быть обнаружена и устранена.

Циклокоррекция измерений в единстве своей физической, в виде циклокомпенсации, и информационной форм существует только благодаря циклической природе изменения измеряемой величины, которая задается системой управления, и не может быть отнесена ни к одному пункту существующей классификации способов повышения точности измерений, что свидетельствует о невозможности использования этой классификации для анализа и выбора способов повышения точности измерений. Инженер, занимающийся проблемой повышения точности измерений в каком-либо производственном процессе, всегда определяет измеряемую величину, строит измерительную схему, устанавливает уравнения связи и погрешности измерений, которые описывают метрологическую модель измерений, выявляет другие факторы, влияющие на измерительную схему, кроме измеряемой величины, учитывает режим измерений. Таким образом, все, что может предпринять инженер с целью повышения точности, связано с теми или иными операциями над основными элементами процесса измерения, а именно над измерительной схемой, факторами измерительной схемы, метрологической моделью и режимом измерения. Классификация способов повышения точности измерений, которую мы условно будем называть инженерной, представлена ниже. Она построена на операциях, которые могут быть произведены над основными классификационными элементами, отображающими процесс измерений, с целью повышения его точности.

Операции над измерительной схемой:

замена, дополнение или исключение элементов или изменение схемных связей измерительной схемы;

понижение или повышение уровня измерительной схемы;

оказание на измерительную схему регламентированного метрологического воздействия.

Операции над метрологическими моделями:

уточнение, замена или дополнение модели того же типа;

замена типа модели на детерминистскую или стохастическую.

Операции над факторами измерительной схемы:

выбор измеряемых факторов, полное или частичное устранение факторов помехи путем

учета, конструктивных и технологических решений, активного, пассивного или организационного кондиционирования;

феноменологизация факторов.

Операции над режимом измерений:

замена режима измерений соответственно на непрерывное, дискретное или позиционное измерение, последовательное или параллельное измерение;

метрологическое усреднение результатов измерений;

конкурентное измерение;

метрологическое разделение измерительного сигнала.

Оказание на измерительную схему регламентированного метрологического воздействия может быть подразделено следующим образом:

метод сравнения с мерой и его разновидности;

использование тестовых сигналов;

циклокоррекция.

Данная классификация имеет несколько аспектов своего применения, принципиально отличающие ее от метрологической классификации и имеющие важное значение с точки зрения развития методов циклокоррекции.

Операции

вместо методов и способов

В представленной классификации отражены все методы метрологической классификации. При этом раскрыт п. 8 «Использование информационной избыточности», который сведен к операциям над метрологической моделью и режимом измерений. Однако сами операции не являются полными аналогами соответствующих методов повышения точности измерений. В частности, важной операцией, приводящей к повышению точности, служит операция феноменологизации факторов измерительной схемы, которая сама по себе не является отдельным способом повышения точности измерений. Феноменологизация факторов заключается в том, что в отличие от генетического подхода, при котором выявляются причины ошибки измерений и осуществляется то или иное взаимодействие с причиной этой ошибки, в данном случае определяются проявления ошибки в измерительной схеме и осуществляется взаимодействие с этими проявлениями, а именно информационное, конструктивное, физическое или иное. При этом собственно феноменологизация факторов лишь звено в цепочке операций, входящее в разные способы повышения точности, в частности при циклокоррекции. Во многих случаях циклокоррекция становится возможной только после феноменологизации факторов.

Прогнозные измерения

Не будет преувеличением сказать, что теория автоматического управления строится на прогнозировании оптимального управляющего воздействия. В простых системах управления прогнозирование управляющего воздействия сводится к прогнозированию результата измерений. В настоящее время прогнозные измерения не являются метрологически аттестованными и не оцениваются в метрологическом анализе технических измерений. В метрологическом анализе учитываются только прямые и косвенные измерения. Между тем в циклических процессах измерения практически всегда имеют основания для прогноза в процессе измерений.

Прогнозные измерения имеют явные отличия от прямых и косвенных, которые можно сформулировать следующим образом. При прогножном измерении по прямым измерениям отдельных значений одной или нескольких величин может определяться не одно значение измеряемой величины, а сразу целое поле значений, каждое из которых имеет собственные характеристики точности. Кроме того, искомое поле временных или иных значений измеряемой величины отъединено от моментов времени или иных моментов измерений, входящих в основание прогноза.

Прогнозные измерения не рассматривались в качестве технических измерений, поскольку нормирование метрологических характеристик прогнозных измерений для технических измерений не произведено, например, не существует «классов точности» для прогнозных измерений. Тем не менее прогнозные измерения в неявном виде широко применялись в коррекции технических измерений в виде ограничений, накладываемых на измерительный сигнал, в частности частотная фильтрация измерительного сигнала – это рутинный способ отсева грубых ошибок измерений. Процесс измерения может быть рассмотрен в виде двух, а иногда более процессов измерений, в одном из которых производится прямое или косвенное измерение измеряемой величины, а в другом – прогножное, представляемое в виде прогноза или ретропрогноза. В ретропрогнозе осуществляется расчет событий измеряемой величины, состоявшихся ранее событий измерений, результаты которых присутствуют в основании прогноза. Для моделирования процессов циклокоррекции необходимо свободное оперирование возможностями повышения точности по двум и более, например, основному, прогнозному и ретропрогнозному, параллельно протекающим процессам измерений, что утверждается в методическом подходе, отраженном в инженерной классификации.

Общесистемный характер

Очевидно, что представленная классификация носит общесистемный характер. Структура инженерной классификации может быть использована и для других целей инженерного анализа. Например, в целях повышения надежности измерений или надежности производственного процесса, где тоже могут рассматриваться операции над основными классификационными элементами, а именно над производственной схемой, факторами производственной схемы, режимом производственного процесса или установки, математической моделью производственного процесса.

Уровни измерительной схемы

Часто при анализе целесообразно расширять представления измерительной схемы, включая в нее разные уровни детализации.

Основным следует считать уровень измерительной схемы, в котором присутствует объект измерений и измерительный преобразователь как метрологически аттестованный прибор. Кроме того, следует различать уровень измерительного комплекса и приборный уровень, или уровень измерительного преобразователя.

Основания для перехода на разные уровни измерительной схемы могут быть разнообразны. Например, на измерительную схему, в которой задействован измерительный преобразователь, воздействует некий фактор помехи и возникает необходимость сравнительного изучения воздействия этой помехи на измерительную схему измерительного преобразователя и на измерительную схему, в которой задействован этот преобразователь. Может возникнуть возможность анализа уточнения измерений в связанных измерительных процессах – измерительная схема представляется в совокупности связанных измерительных схем. Во всех случаях при переходе на разные уровни измерительной схемы инженер, использующий методологию инженерной классификации повышения точности, имеет единый методологический подход к решению стоящих перед ним проблем, не ограничивая себя в выборе методов, в том числе и применении циклокоррекции.

Литература

1. Брюханов В.А. Методы повышения точности измерений в промышленности. – М.: Стандарты, 1991.
2. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. – М.: Стандарты, 1991.
3. Пронкин Н.С. Основы метрологии динамических измерений. – М.: Логос, 2003.