

УДК 621.9.08

А.А. Прыгин¹, Е.В. Зимина², В.Н. Кайнова²**АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С БАЗИРОВАНИЕМ
НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ МАШИНУ**ЗАО «Магна Технопласт»¹,Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Изложена методика анализа точностных характеристик измерительных систем с помощью статистических методов. Выполнено ряд экспериментов для измерительных систем с координатно-измерительной машиной ZEISS PRO Compact. Работа имеет универсальный характер и методика может быть применима для других измерительных систем.

Ключевые слова: системы менеджмента качества, измерительная система, координатно - измерительная машина, стабильность, смещение, линейность смещения, эксперимент, пригодность, измерительный процесс.

Управление деятельностью предприятия, повышение качества и конкурентоспособности продукции стало важной и актуальной проблемой современной рыночной экономики. Автомобилестроительные предприятия работают с большим количеством поставщиков, которые должны обеспечивать высокое качество комплектующих. Ведущие производители автомобильной техники применяют международный стандарт ISO/TS 16949:2002, которому существует российский аналог ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 «Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части».

Один из принципов, лежащих в основе стандартов ISO серии 9000 – **принятие решений, основанных на фактах**. Таким образом, чтобы принимать решения, сначала необходимо собрать факты (достоверную информацию). Процессы мониторинга, измерения и анализа нужны как раз для этих целей. Но полученная из этих процессов информация не всегда достоверна в силу различных причин, а применение недостоверной информации приводит к неправильным решениям. Следовательно, нормальное функционирование системы менеджмента качества (СМК), в рамках ISO/TS 16949, невозможно без подтверждения достоверности получаемых данных. Современные процессы измерения базируются на сложной измерительной технике, к которой не применим традиционный подход по оценке ее пригодности. Исследования, проведенные на некоторых российских предприятиях, показывают неприемлемость большинства применяемых измерительных систем (процессов) [2].

Приобретение и внедрение измерительной техники должно сопровождаться исследованиями конкретных измерительных процессов, чтобы не тратить ресурсы на ненужные или неэффективные процессы, в том числе измерительные. Ведущие автомобильные компании для подтверждения пригодности данных, полученных в результате измерений, должны использовать метод анализа измерительных систем (MSA). MSA представляет собой набор экспериментов и статистических методов, адаптированных для получения оценок приемлемости результатов измерений [1].

MSA (аббревиатура от Measurement System Analysis) — это метод, призванный дать заключение относительно приемлемости используемой измерительной системы (ИС) через количественное выражение ее характеристик. Под измерительными системами понимаются совокупность приборов, стандартов, операций, методов, персонала, компьютерных программ,

окружающей среды, используемых для придания количественных значений измеряемым величинам.

В данной статье будет рассматриваться измерительная система с координатно-измерительной машиной (КИМ) ZEISS PRO Compact. Данная КИМ имеет одностоечное конструктивное исполнение с консолью и пневматической системой, диапазон измерений: $Y=1600$ мм, $Z=2100$ мм, $X=8000$ мм, разрешающая способность – $0,0001$ мм; программное обеспечение: CMM-OS; графическая обработка: Holos-NT. Движение КИМ осуществляется в трёх плоскостях с помощью специальных платформ на сверхточных электронных датчиках. Все элементы данной машины выполнены с высочайшей степенью точности.

ЗАО «Магна Технопласт» производит такую продукцию как бампера, решетки и рамки радиатора, приборные панели, дверные панели, накладки порога и др. Производство сертифицировано по ISO/TS 16949 «Системы менеджмента качества. Частные требования по применению ISO 9001:2008 для производства автомобилей и комплектующих». Заказчиками ЗАО «Магна Технопласт» являются: Volkswagen, Skoda, Renault, Nissan, Peugeot, Citroen, ГАЗ, Mitsubishi. В рамках производства осуществляются процессы прессовки, сборки, литья пластмасс, измерения и окраски.

На предприятии функционирует измерительная лаборатория, аккредитованная ФГУ «Нижегородским центром стандартизации, метрологии и сертификации». Для выполнения процесса измерения и контроля детали на КИМ используются специальные контрольные приспособления. Детали фиксируются на них так, как они будут впоследствии установлены на автомобиль. На контрольном приспособлении расположены базирующие отверстия, по координатам центра которых производится расчёт местоположения приспособления и детали относительно системы координат самой КИМ. Деталь закрепляется на контрольное приспособление с помощью различных фиксаторов и клипс.

Важно заметить, что контрольные приспособления также являются предметом измерения. Перед их использованием и в процессе эксплуатации все приспособления измеряются для подтверждения соответствия математической модели.

Анализ измерительных систем начинается с понимания цели и процесса измерения. Все источники хаотичных и недопустимых ошибок должны быть устранены. Исследование измерений следует концепциям Деминга:

- **определите** значительные источники ошибок и устраните их,
- **позвольте** одному или нескольким факторам изменяться;
- **измеряйте** несколько раз;
- **анализируйте** результаты действий.

Измерительная система может быть подвержена влиянию различных источников изменчивости, поэтому при повторных измерениях одной и той же части полученные результаты будут отличаться друг от друга, что обусловлено обычными и особыми причинами изменчивости. Влияние различных источников изменчивости на измерительную систему должно быть оценено за короткий и длительный промежутки времени.

Возможность измерительной системы — это ошибка измерительной системы за короткий промежуток времени. Это комбинация ошибок, вызванных линейностью, сходимостью и воспроизводимостью.

Пригодность измерительной системы, как и пригодность процесса, — это влияние всех источников изменчивости за длительный период времени.

Измерительная система пригодна, если: процесс измерений находится в статистически управляемом состоянии (т. е. он стабилен и неизменен или присутствуют только обычные причины изменчивости), настроен на цель (нет смещения) и изменчивость процесса (сходимость и воспроизводимость) приемлема и находится в ожидаемых пределах.

Одна из целей изучения измерительной системы – получить информацию о величине и типах изменчивости в измерениях, вызванных измерительной системой при ее взаимодействии со средой. Эта информация имеет большую ценность, поскольку для производствен-

ного процесса часто намного практичнее учесть сходимость и смещение при калибровке и установить для них разумные пределы, чем использовать точные приборы с очень высокой сходимосью.

Выполнено три эксперимента по оценке стабильности показаний, смещению центра настройки и линейности ИС.

Для анализа стабильности ИС используются контрольные карты. Проводится несколько циклов экспериментов. Каждый цикл эксперимента заключается в измерении параметра одного отобранного образца одним оператором определённое количество раз. По полученным данным строится $\bar{X}-R$ – карта среднеквадратичных значений и размахов.

В качестве образца было взято контрольное приспособление для рамки радиатора ГАЗель Next. Измеряемый параметр – диаметр базирующего отверстия $\varnothing 8H6^{(+0,009)}$. Измерения проводились на КИМ в ручном режиме. Необходимое количество измерений ($n=5$) в одном цикле измерений. Расчеты по построению контрольной карты выполнены по рекомендациям [5]. Обработка данных производилась в программе Excel.

Построены:

Карта средних арифметических значений (рис. 1) по следующим расчетным значениям:

- среднее результатов всех измерений – $\bar{X}_{cp}=8,0437$ мм;
- верхняя контрольная граница – $UCL=8,0598$ мм;
- нижняя контрольная граница – $LCL=8,0275$ мм.

Карта размахов (рис. 2):

- средний размах – $R_{cp}=0,02786$;
- верхняя контрольная граница – $UCL=0,0587$;
- нижняя контрольная граница – $LCL= 0$

Константы для расчета контрольных границ приняты при $n=5$ [5].

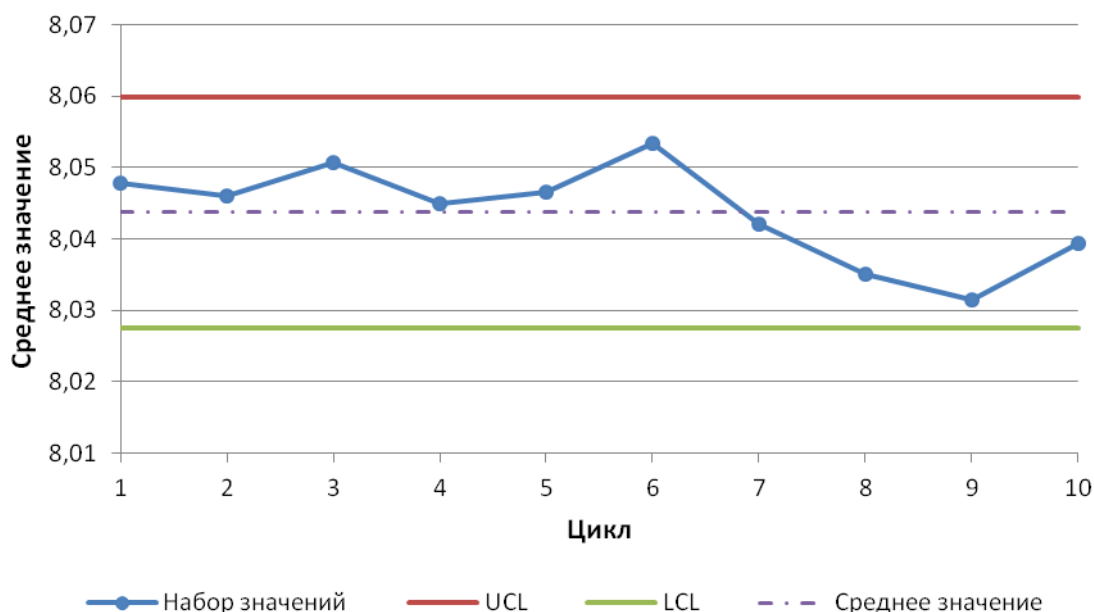


Рис. 1. Карта средних значений

Процесс считается нестабильным, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- одна или несколько точек находятся за пределами контрольных границ;
- присутствуют серии точек – семь точек подряд находятся по одну сторону от среднего значения или семь точек подряд возрастают или убывают;
- процесс проявляет другие признаки неслучайного поведения (например, большинство точек группируется около линии среднего, либо около линии контрольных границ).

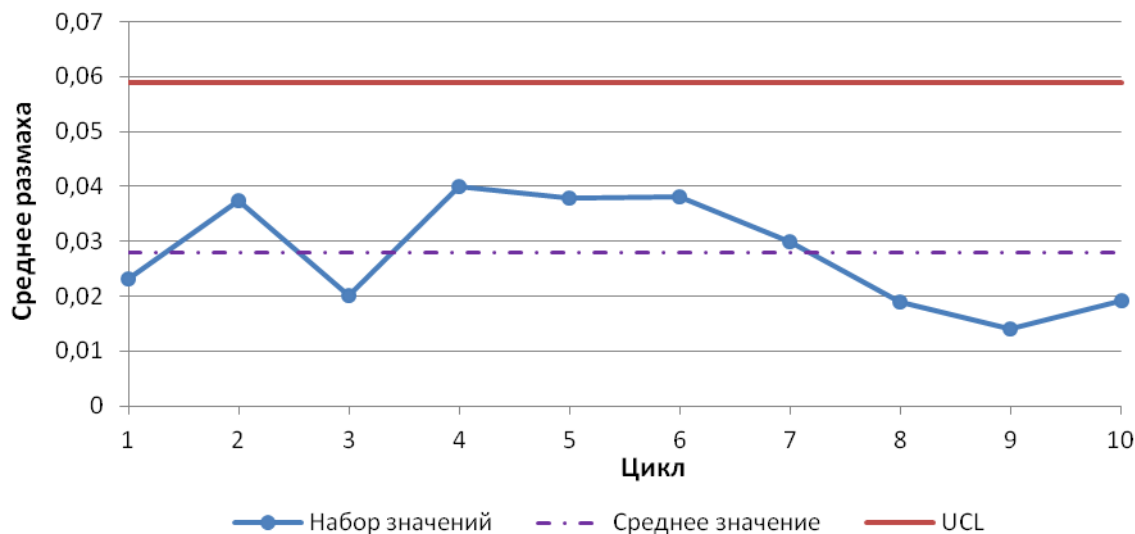


Рис. 2. Карта размахов

Анализ карты средних и размахов показывает, что ни одно из перечисленных условий не нарушается. Исходя из этого, можно сделать вывод, что система стабильна и можно проводить дальнейшие исследования измерительного процесса.

В случае нестабильности процесса специалист должен выявить источники нарушения стабильности, устранить их и повторить эксперимент.

Во втором эксперименте производилась оценка смещения. Смещение ИС (процесса) оценивается как отклонение среднего результатов измерений от опорного значения измеряемого параметра. Таким образом, для получения оценки смещения необходимо знание опорного значения, при этом необходимо, чтобы анализируемая ИС была стабильна.

Опорное значение - это величина предмета или группы, служащая для сравнения в качестве одобренного образца. В качестве опорного значения может быть выбрано среднее значение нескольких измерений выполненных оборудованием высокого уровня (например, в метрологической лаборатории), законное значение и др. варианты.

В качестве исследуемого образца был взят блок контрольного приспособления. Исследуемый параметр – диаметр отверстия под специальный индикатор КИМ, равный $\varnothing 12\text{H}6^{(+0,011)}$. Измерения проводились с помощью КИМ в ручном режиме.

Для определения опорного значения было выполнено последовательно 20-ть измерений диаметра отверстия. Результаты записаны в контрольный листок.

Опорное значение исследуемого параметра – $X_{\text{опор}} = 12,0495$ мм, получено как среднее арифметическое всех результатов.

Далее последовательно было выполнено 10 измерений исследуемого параметра образца в автоматическом режиме. Полученные значения были округлены и сгруппированы, рассчитано среднее арифметическое значение всех измерений, которое равно - $\bar{X} = 12,0492$ мм. Определено абсолютное значение смещения по формуле:

$$B = \bar{X} - X_{\text{опор}} = 0,0003 \text{ мм} = 0,3 \text{ мкм.}$$

Относительное значение смещения определяется в процентном отношении от допуска:

$$\%B = 100 B / T = 100 \cdot 0,3 / 11 = 2,7 \text{ \%}.$$

Смещение системы приемлемо, так как не превышает 10 % [1]. Смещение не является критерием приемлемости ИС, его следует учитывать при проведении дальнейших измерений при помощи исследуемого измерительного процесса.

Третий эксперимент – определение линейности измерительной системы.

Под линейностью смещения ИС понимается линейное изменение смещения в пределах рабочего диапазона измерительного процесса. Линейность смещения оценивается величиной наклона прямой, которая наилучшим образом аппроксимирует зависимость средних значений смещения для различных образцов от их предполагаемых истинных (опорных) значений.

Для этого оценивается смещение в нескольких точках в пределах рабочего диапазона и изучается зависимость изменения смещения от опорного (предполагаемого истинного) значения образца.

Выполнить данное условие не представляется возможным из-за большой величины рабочего диапазона измерительного прибора (КИМ передвигается в трёх плоскостях, в пределах лаборатории). Так как на предприятии нет деталей такого масштаба, было принято решение взять параметры, максимально разбросанные по рабочему диапазону КИМ.

Для проверки линейности в качестве измеряемых частей были взяты шаблоны, закрепленные на контрольном приспособлении. Контролируемый параметр – расстояние от одной точки шаблона до другой точки следующего шаблона. Измерения проводились с помощью КИМ в **автоматическом режиме** с предварительным базированием.

Этапы проведения эксперимента и обработки данных

- Было выбрано 5 частей шаблонов с максимально возможной разницей в размерах (40,0; 497,0; 800,0; 1000,0 и 1970,0).
- Каждая часть была измерена 20 раз для получения опорных значений, аналогично предыдущему эксперименту;
- Опорные значения каждой части шаблона составили: 40,0849 мм; 497,3764 мм; 799,9645 мм; 999,9866 мм; 1969,7516 мм.
- Произведен расчет среднего значения для каждого образца.
- Осуществлен расчет абсолютного значения смещения каждого образца и среднее смещений для каждой части.
- Выполнен расчет коэффициента корреляции между опорными значениями соответствующими смещениями. $R^2 = 0,87$.
- Рассчитан угол наклона линии регрессии, которая наносится на график.
- Рассчитан доверительный интервал по методике руководства [1].
- Построен график индивидуальных и средних смещений в отношении опорных значений (рис. 3).

На графике присутствует прямая (линия наилучшего приближения), которая показывает зависимость смещения от опорного значения и границы доверительного интервала для неё.

При аналитическом методе оценка степени связи (качества приближения) производится по коэффициенту корреляции R^2 .

При значениях (0,75; 0,9) – линейная связь между величинами средняя (изменение смещения в пределах рабочего диапазона можно считать линейным), а при (0,9; 1,0) – линейная связь между величинами сильная (изменение смещения в пределах рабочего диапазона линейно).

В данном процессе $R^2 = 0,87$, т.е. изменение смещения в пределах рабочего диапазона можно считать линейным.

Из графика (рис. 3) видно, что линия нулевого смещения (значение 0,0 по оси смещений) полностью лежит в доверительном интервале линии тренда. Это говорит о том, что линейность данной ИС приемлема, однако, могут быть проблемы линейности в других плоско-

стях. Поэтому необходимо для данной ИС исследование зависимости величины линейности смещения от значения параметра в трех плоскостях.

Выполненные эксперименты позволяют сделать вывод о пригодности исследуемой измерительной системы для измерения и оценки качества деталей ЗАО «Магна Технопласт».

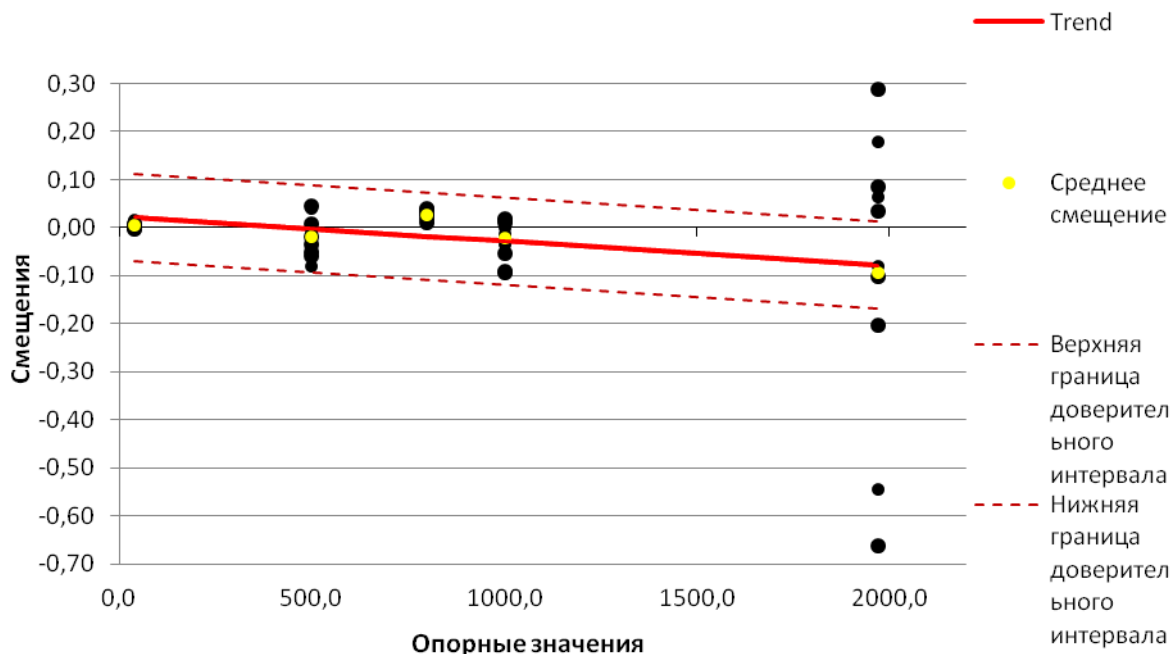


Рис. 3. График индивидуальных и средних смещений в отношении опорных значений

Выводы

На рассматриваемом предприятии функционирование СМК осуществляется в соответствии со стандартом ISO/TS 16949 - 2009. Это значит, что инструмент «MSA» должен использоваться в полной мере для подтверждения приемлемости всех измерительных систем предприятия.

MSA позволяет делать выводы о пригодности измерительных процессов. Это даёт возможность совершать коррекционные действия по улучшению ИС и, как следствие, гарантировать качество измеряемых параметров.

Библиографический список

1. Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство. – 3-е изд., испр. Перевод с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007. – 242 с.
2. Васильчук А.В. Анализ измерительных и контрольных процессов (MSA) в автомобилестроении / А.В. Васильчук [и др.]. – Самара: ЗАО «Академический инжиниринговый центр»; ООО «Офорт», 2006. – 190 с.
3. ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
4. ГОСТ Р 51814.5-2005 Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов.
5. ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. A. Pryguin¹, E. V. Zimina², V. N. Kaynova²

**MEASURING SYSTEM ANALYSIS BASING ON A COORDINATE
INSPECTION STATION**

JSC "Magna Tekhnoplast"¹,
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev²

The methods of accuracy characteristics of measuring systems analysis, using the statistical approach, are described. A series of experiments for the measuring systems using ZEISS PRO Compact coordinate inspection station takes place. The research is of a universal character and the methods can be used for other measuring systems.

Key words: quality management systems, measuring system, coordinate inspection station, stability, displacement (shift) linearity, experiment, usability, measuring process.