**Упрощенный анализ межкалибровочных интервалов**

из материалов международного симпозиума и семинара NCSL, 2006,

автор: Allen Bare, Savannah River National Laboratory

На сегодняшний день существуют различные подходы к назначению межкалибровочных интервалов. К сожалению, многие из них достаточно сложны и трудоемки, что послужило поводом для разработки упрощенного метода назначения межкалибровочных интервалов для средств измерений, применяемых в лабораториях, в отношении которых имеется небольшая статистика последовательных калибровок.

Данный метод может быть легко изменен для того, чтобы отвечать задачам обеспечения достоверности результатов измерений в отдельно взятой лаборатории. Калибровочные лаборатории и их заказчики заинтересованы в установлении и корректировке межкалибровочных интервалов в целях повышения своей эффективности и каждый из них имеет свои ожидания относительно предлагаемых средств их регулирования. Рассмотрим один из методов анализа истории калибровок с точки зрения упрощенного подхода, базирующегося на текущем состоянии средства измерений (в или вне допуска) и подхода, учитывающего степень превышения допуска, при наличии такой ситуации (превышение допуска в один или несколько раз). В контексте данного документа допуск означает установленную изготовителем средства измерений погрешность (error), которая отвечает поставленной измерительной задаче на производстве. Анализ двух вышеуказанных состояний, являющихся ключевыми факторами в истории калибровок, может являться инструментом корректировки интервалов между калибровками в рамках принятой на предприятии программы поддержания качества измерений (требования к качеству измерений могут быть установлены в рамках систем качества согласно ISO/IEC 17025, ISO 9001, внутренними документами и др.).

Рассматриваемый метод является модификацией алгоритмов, описанных в документе NCSL Recommended Practice 1 (RP-1) и дает упрощенный подход к анализу полученных результатов калибровок, в рамках принятых систем качества. Одним из важных моментов в обеспечении качества измерений является периодичность калибровок средств измерений. Как правило, периодичность калибровок назначается согласно рекомендациям изготовителя средства измерений или рекомендациям калибровочных лабораторий, имеющих большую статистику калибровки данного средства измерений. Однако следуя этим походам мы не можем говорить об эффективном использовании наших измерительных ресурсов, с точки зрения затрат на калибровку. Каждый раз, когда средство измерений изымается из производственного процесса на калибровку увеличиваются затраты на само производство. Если же средство измерений используется с превышением межкалибровочного интервала, повышается вероятность выхода его метрологических характеристик за установленные пределы. При этом последствия в такой ситуации сложно предсказать, что вынуждает сильно перестраховываться, необоснованно занижая межкалибровочные интервалы. С учетом этого правильно выбранные межкалибровочные интервалы важны как для калибровщиков, так и конечных пользователей калиброванных средств измерений.

Требования стандартов, например, ISO/IEC 17025 устанавливают, что «сертификат калибровки не должен содержать указаний межкалибровочных интервалов, если только это не согласовано с заказчиком. Однако указание межкалибровочного интервала может быть установлено иными законодательными актами». ISO 9001 говорит, что «в случае необходимости обеспечения правильности результатов измерений, измерительное оборудование должно калиброваться или верифицироваться в установленные интервалы или непосредственно перед проведением измерений…». Исходя из этого многие органы по сертификации систем качества, устанавливаю собственные критерии относительно периодичности калибровок, например, минимальные и максимальные интервалы или предельные значения метрологической надежности средств измерений в виде отношения количества средств измерений в допуске к общему количеству, прошедших калибровку. При этом при уменьшении межкалибровочного интервала надежность должна увеличиваться за счет большего количества средств измерений, находящихся в допуске. При принятии решения о назначении межкалибровочных интервалов необходимо решить:

какие средства измерений должны быть калиброваны

какие специальные требования должны быть выполнены при калибровке

как будет использовано калиброванное средство измерений

какие требования безопасности должны соблюдаться при калибровке

нужна ли калибровка

После этого проводится калибровка и назначается межкалибровочный интервал. В зависимости от целей межкалибровочный интервал может быть минимизирован или калибровка может проводиться непосредственно перед использованием с учетом рисков, обусловленных жесткими требованиями по соблюдению допусков на измерения. В некоторых случаях средство измерений используется исключительно для целей индикации измеряемой величины (без нормирования допусков), что указывает на нецелесообразность калибровки. Если средство измерений используется в жестких условиях эксплуатации, межкалибровочный интервал принимается в несколько раз меньше обычного и это-аксиома. При измерениях параметров безопасности межкалибровочному интервалу уделяется особое внимание с учетом необходимости предупреждения несчастных случаев или поломки производственного оборудования и конструкций. Иногда заказчики ставят вопрос о переводе средств измерений в статус «не требует калибровки». В этом случае при принятии решения следует учитывать важность результатов измерений с помощью такого средства измерений на конечном этапе выпуска продукции, обеспечения безопасности работ и т.п. Документ RP-1 приводит несколько примеров, когда калибровка средств измерений нецелесообразна. При этом используются следующие аргументы:

средство измерений не используется для измерений или выдачи нормируемого выходного сигнала;

средство измерений используется в качестве проверочного устройства, показания которого или нормируемый выходной сигнал не имеют прямого применения в производственном процессе;

средство измерений является частью калиброванного измерительного оборудования;

средство измерений располагает функцией безотказной работы, выраженной в способности работать в пределах допуска, что является очевидным для оператора;

средство измерений выполняет измерения или генерирует выходной сигал, которые контролируются калиброванным средством измерений во время использования;

средство измерений выполняет измерения, которые позволяют осуществлять мониторинг работоспособности производственного оборудования, нежели получение числовых значений, характеризующих данное состояние.

средство измерений списывается после выполнения измерений в рамках производственной задачи, в рамках которой его надежность находится на приемлемом уровне.

средства измерений, реализующие фундаментальные методы (например, квантово-механический) воспроизведения величин.

Межкалибровочные интервалы устанавливаются для обеспечения достижения конечной точки надежности, принятой на основании истории калибровки конкретного средства измерений, рекомендаций изготовителя или практикой применения. Целевая точка надежности может быть определена в лаборатории (на производственном метрологическом участке) или установлена заказчиком или изготовителем продукции. Надежность средства измерений выражается вероятность того, что средство измерений будет находиться в допуске в течение установленного интервала времени. Это позволяет оператору быть уверенным в нахождении средства измерений в пределах допуска или установленной неопределенности измерений в течение требуемого времени – межкалибровочного интервала. Калибровка средства измерений через определенные интервалы времени дает оператору уверенность в получении правильных и точных результатов измерений. Многие организации устанавливают целевые точки надежности, которые достигаются только за счет корректировки межкалибровочных интервалов. Межкалибровочные интервалы устанавливаются на основании рекомендаций изготовителя, метрологического подразделения предприятия, сторонних обзоров надежности и частотой обращения клиентов. Все четыре метода предполагают, в некотором роде, инженерный анализ, отличии которого обусловлены лицом, его выполняющим и целями данного анализа. Изготовители средств измерений располагают значительной статистикой надежности, собранной на этапе разработке и изготовления средства измерений и могут рекомендовать наиболее реалистичный для установления межкалибровчного интервала в эксплуатации. Тем не менее, статистические данные изготовителя не достаточно однородны, поскольку в генеральной совокупности образцов одного типа средств измерений присутствуют образцы, находящиеся в стороне от среднего значения для данной выборки и даже выходящие по своим параметрам за нормы спецификации. Как следствие, многие пользователи принимают решение о назначении необходимого межкалибровочном интервале самостоятельно. Такие решения являются внутренним вопросом отдельного предприятия или же корпорации с различным местонахождением производств. Проблема назначения межкалибровочного интервала в первом случае связана с недостатком статистических данных калибровок для проведения анализа. Тем не менее, исходя из того, что данный анализ индивидуален для каждого предприятия или лаборатории, анализ можно подстроить под специальные требования и задачи, получив на выходе уникальный взгляд на работу измерительного оборудования при его эксплуатации конкретным пользователем. Это чрезвычайно важно, поскольку анализ учитывает специфику условий эксплуатации и технику использования прибора оператором, которые могут значительно влиять на надежность прибора.

Определенные риски неустранимы при применении прибора в течение межкалибровочного интервала. Минимизация возможных рисков является задачей, решаемой межкалибровочным интервалом. Правильно выбранный интервал снижает риск использования эталона, который больше не соответствует своей погрешности. Риск калибровки средства измерений «несоответствующим» эталоном снижается при сокращении его межкалибровочного интервала. Недостатком коротких межкалибровочных интервалов, способствующих значительному повышению надежности, является избыточность данной процедуры с точки зрения затрачиваемых ресурсов. Напротив, достаточно продолжительные интервалы калибровок повышают риск использования «несоответствующего» своей спецификации средства измерений.

Очевидно, что с момента калибровки неопределенность средства измерений возрастает. Теоретически, межкалибровочный интервал должен назначаться посредством анализа дрейфа стандартной неопределенности измерений и соответствовать точке времени, когда значение дрейфа становится неприемлемым. К сожалению, такой подход на практике трудно реализуем. Для установки и корректировки межкалибровочного интервала требуется систематический подход, целью которого является назначение «наилучшего» межкалибровочного интервала. Результаты калибровок, которыми располагают лаборатории, позволяет проанализировать стабильность отдельного прибора во времени для назначения нового оптимального межкалибровочного интервала.

RP-1 описывает разные методы расчета межкалибровочных интервалов, различающихся по сложности. Возможно, самым простым с точки зрения реализации является реактивный метод. Реактивный метод по определению является реактивным в отношении самой последней калибровки. Если результат калибровки находится «в допуске», то межкалибровочный интервал может быть увеличен, а в противном случае уменьшен.

Рассматриваемый метод использует этот же принцип но с учетом результатов трех предшествующих калибровок и уровень любых случаев, характеризующихся состоянием «вне допуска». Использование в лаборатории базы данных результатов калибровок с положительными и отрицательными результатами (в и вне допуска) значительно упрощает процесс расчета оптимальных межкалибровочных интервалов. Рассмотрение истории калибровки конкретного прибора помогает оценить предполагаемое поведение прибора в будущем. Если записи о калибровке прибора указывают на его продолжительное нахождение в пределах допуска, то ожидается что прибор и далее будет находится в допуске с большой вероятностью. Напротив, если калибровки закончились неудовлетворительными результатами, то вероятность нахождения прибора «вне допуска возрастает». Тем не менее, если прибор в течение межкалибровочного интервала настраивался, то вероятность его нахождения «в допуске» возрастает. Соответственно, рассматриваемый здесь алгоритм позволяет рассчитать калибровочные интервалы с учетом веса каждого состояния прибора по результатам калибровки. Последняя калибровка имеет набольший вес, а предыдущие две - меньшие веса.

Алгоритм расчета может быть следующим:

*NI* *CI* *W1**X* *W2* *Y* *W3* *Z* 

where: *NI = вновь рассчитанный межкалибровочный интервал*

*CI = предыдущий интервал*

*W1 = вес последней калибровки*

*W2 = вес предыдущей калибровки*

*W3 = вес предыдущей калибровки*

*X = корректировочный коэффициент, соответствующий состоянию прибора при последней калибровке*

*Y = корректировочный коэффициент, соответствующий состоянию прибора при предыдущей калибровке*

*Z = корректировочный коэффициент, соответствующий состоянию прибора при предыдущей калибровке.*

Корректировочный коэффициент выбирается для корректировки межкалибровочного интервала в зависимости от критериев принятых лабораторией. Каждый из множителей может изменяться в зависимости от ожидаемой надежности. Например:

A = калибруемый прибор находится “в допуске” = 1

B = калибруемый прибор находится “вне допуска” < 1x поля допуска = 0.8

C = калибруемый прибор находится “вне допуска” > 1x поля допуска но < 2x поля допуска = 0.6

D = калибруемый прибор находится “вне допуска” > 2x поля допуска но < 3x поля допуска = 0.4

E = калибруемый прибор находится “вне допуска” > 3x поля допуска но < 4x поля допуска = 0.3.

Корректировочный коэффициент также выбираются в зависимости от желаемого значения интервала калибровки для лаборатории. Каждый вес может изменяться в зависимости от ожидаемой надежности. В нашем примере веса имеют значения:

W1 = последняя калибровка = 0.8

W2 = предыдущая калибровка = 0.2

W3 = предыдущая калибровка = 0.1.

Вышеуказанные значения корректировочных коэффициентов и весов приведены в качестве примера и должны устанавливаться самой лабораторией с учетом ожидаемой надежности. Преимуществом данного метода является простота расчетов на основе ограниченной информации о результатах предыдущей калибровки прибора.

На практике данный алгоритм позволил получить следующие результаты:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Инв. номер | Калибруемый прибор | X | Y | Z | Старый интервал | Новый интервал |
| C59755 | Расходомер | A | A | A | 6.00 | 6.60 |
| C58715 | Манометр | A | A | A | 12.00 | 13.20 |
| 015185 | Весы лабораторные | С | Е | А | 6.00 | 3.84 |
| C61140 | Динамометрический ключ | А | А | А | 6.00 | 6.60 |
| 1539309 | Калибратор | D | A | A | 3.75 | 2.33 |
| M76202 | Преобразователь | В | А | А | 12.10 | 11.37 |

В обычной лаборатории результаты последующих калибровок должны выявлять средства измерений с низкой надежностью. Эти данные являются основанием для последующей замены такого оборудования. Дополнительно об этом свидетельствуют затраты на частую калибровку.

Нормальной практикой в каждой организации является учет оборудования подлежащего калибровке с использованием баз данных. Рассматриваемый нами алгоритм может использовать такие базы данных для автоматической корректировки межкалибровочных интервалов посредством несложных программ собственной разработки. В базе данных обязательно должны регистрироваться состояния средств измерений «в допуске» и «вне допуска», а также уровень соответствия допуску. В базе данных должны быть предусмотрены поля, в которых будут отображаться результаты 3 последних калибровок. Состояние средства измерений может кодироваться, например A, B, C, D, E, что будет достаточным для отслеживания зафиксированного состояния прибора. При наличии данных о калибровках персонал лаборатории может внедрить и валидировать рассматриваемый алгоритм расчета межкалибровочных интервалов в целях подтверждения его соответствия требованиям внутренней системы качества. При выполнении каждой калибровки будет определяться рекомендуемый межкалибровочный интервал. Анализ данных калибровки в течение не менее трех межкалибровочных интервалов будет указывать на достижение целевого значения надежности или необходимость принятия мер для его достижения посредством изменения корректировочных коэффициентов.

При изменении межкалибровочных интервалов следует обращать внимание на обоснованность данных действий с учетом практической целесообразности. Например, межкалибровочный интервал может зависеть от цикла технологического процесса, выраженного конкретным числом месяцев, до его перезапуска. Другой потенциальной проблемой являются приборы с низкой надежностью, прослеживаемой из истории ихкалибровок. Такие приборы, отставленные без надлежащего наблюдения, будут требовать учащения калибровок, причем межкалибровочный интервал будет стремиться к нулю. Следует следить за снижением значений межкалибровочных интервалов до значений меньше допустимых для конкретной измерительной задачи. Так же принятой практикой является установление максимальных межкалибровочных интервалов. Соответственно, данные пороговые значения в лаборатории должны отслеживаться с использованием программных средств (баз данных) и устанавливаться внутренней документацией организации. Как было ранее отмечено, алгоритм корректировки межкалибровочных интервалов может быть частью таких баз данных. Однако, у этого варианта есть недостаток, который обусловлен необходимостью ввода уровня несоответствия результатов калибровки принятому допуску. Соответственно, в базу данных должны быть введены результаты калибровки и пороговые значения, соответствующие состоянию прибора «вне допуска». При вводе этих данных так же возможны ошибки оператора, что требует соответствующей перепроверки. Однако в идеальном случае, такие данные позволят оперативно изменять принятые межкалибровочные интервалы.

В заключение следует отметить, что межкалибровочные интервалы являются одной из важнейших составляющих системы управления калибровками в организации, которым необходимо уделять особое внимание. Принятые межкалибровочные результаты могут быть как сильно заниженными, так и слишком свободными, а в идеале – оптимальными. Сильно заниженные межкалибровочные интервалы приводят к неоправданным затратам, слишком свободные интервалы могут приводить к превышению пределов допуска на измерения и негативно влиять на состояние метрологической прослеживаемости. Выбор оптимального межкалибровочного интервала несет существенные преимущества для организации в целом. Нет простых методов оценки межкалибровочных интервалов. Однако, как следует из вышеприведенного подхода, некоторые существующие методологии могут быть значительно упрощены. Правильное планирование так же обеспечит принятие межкалибровочных интервалов, которые отвечают конкретной измерительной задаче в рамках системы управления измерительным оборудованием. Внедрение методов корректировки межкалибровочных интервалов обеспечит для конечного пользователя гарантированный уровень надежности средства измерений и оптимизацию затрат на калибровку в организации.

1. ISO 17025 – General Requirements for the competence of testing and calibration

laboratories

2. ISO 9001 – Quality management systems – Requirements

3. NCSLI Recommended Practice 1 (RP-1) – Establishment and Adjustment of Calibration

Intervals