

рое устанавливается на место эталонного измерителя. Часть излучения от светоделительной пластинки подается на приемник-«свидетель», который используется для оценки уровня мощности и контроля стабильности мощности ЛИ, поступающего на приемники излучения при их последовательной замене. Сигналы с ЭИП, трап-детектора и приемника-«свидетеля» подаются на нановольтметр и далее на блок измерений и управления эталоном, выполняющий обработку сигналов и осуществляющий управление работой эталона с помощью персонального компьютера.

При воспроизведении и передаче единицы энергии ЛИ в измерительный канал с помощью блока автоматизированных платформ вводится один из оптико-механических затворов (ОМЗ). Каждый ОМЗ предназначен для работы на определенной длине волны излучения (0,532; 0,808; 1,064 мкм), соответствующей длине волны излучения лазеров. ОМЗ формируют импульсы ЛИ длительностью от 10 мкс до 10 с, частота следования которых может варьироваться от 0 до 100 кГц. Характеристики импульсов излучения контролируются в отдельном канале с помощью оптоэлектрического преобразователя FPS-1, на который светоделительной пластинкой направляется часть излучения. Длительность и частота следования импульсов с преобразователя FPS-1 измеряются с помощью частотомера.

Основные точностные метрологические характеристики ЭСМЭЛИ в спектральном диапазоне от 0,3 до 10,6 мкм: расширенная неопределенность ($k = 2$, $P = 95\%$) размера единицы средней мощности ЛИ, воспроизводимой эталоном, не более 0,04 % в диапазоне от $5 \cdot 10^{-3}$ до 2 Вт; не более 0,15 % в диапазоне от 10^{-9} до $5 \cdot 10^{-3}$ Вт; размера единицы энергии ЛИ, воспроизводимой эталоном, не более 0,29 %. Эталон обеспечивает передачу единицы средней мощности ЛИ на фиксированных длинах волн с расширенной неопределенностью не превышающей 0,24 % и единицы энергии ЛИ – не превышающей 0,10 %.

Эталон соответствует требованиям введенного в Республике Беларусь межгосударственного стандарта ГОСТ 8.275-2016 [3].

Области применения ЭСМЭЛИ: передача размера единиц средней мощности и энергии ЛИ эталонам более низкого ранга и высокоточным средствам измерений, применяемым в медицине, промышленности, науке, образовании и т.д., посредством их поверки и калибровки; проведение исследований метрологических характеристик разрабатываемой аппаратуры в области приборостроения, медицины, науки и техники.

Созданный эталон единиц средней мощности и энергии ЛИ по своим характеристикам соответствует эталонам наиболее крупных метрологических центров и является конкурентоспособным с зарубежными аналогами. По некоторым параметрам, таким как динамический диапазон воспроизведения единицы средней мощности ЛИ, стандартная неопределенность воспроизведения единицы средней мощности ЛИ, динамический диапазон воспроизведения единицы энергии ЛИ, стандартная неопределенность воспроизведения единицы энергии ЛИ он превосходит эталоны отдельных международных центров.

Литература

1. Национальный эталон единиц средней мощности и энергии лазерного излучения // В.А. Длугунович [и др.] / Метрология–2019: Тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–28 марта 2019 г. / Под общ. ред. канд. техн. наук Гуревича В.Л. – Мн.: БелГИМ, 2019. – С. 40–44.
2. Эталонная база Системы обеспечения единства измерений лазерной и светодиодной техники Республики Беларусь // В.А. Длугунович [и др.] / Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: 12-й Белорусско-Российский семинар, 27–31 мая 2019, Минск. – Мн.: Ковчег, 2019. – С. 43–46.
3. ГОСТ 8.275-2016 Государственная поверочная схема для средств измерений средней мощности лазерного излучения и энергии импульсного лазерного излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 12,0 мкм. – Введ. 2018 – 09 – 01. – Мн.: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 12 с.

УДК 303.222

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫМИ КАЛИБРАМИ

Соломахо В.Л.¹, Цитович Б.В.², Михейчик А.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный институт повышения квалификации по стандартизации,
метрологии и управлению качеством
Минск, Республика Беларусь

Важным вопросом каждого производства является обеспечение качества выпускаемой продукции. Любое нарушение требований к качеству продукции ведет к увеличению издержек производства и, как следствие, удорожанию самой про-

дукции. Поэтому с целью обеспечения заданного уровня качества продукции необходимо своевременно идентифицировать нарушения требований к качеству, которые выявляются с помощью технического контроля, проводимого на всех стадиях

производства и направленного на своевременное выявление и изъятия брака из производственного потока, т.е. проведение разбраковки.

Для измерительного контроля параметров, ограниченных двумя предельными значениями, разработаны и применяются метрологические модели, в которых генеральной совокупности контролируемых параметров приписывают некое случайное распределение (могут приниматься разные виды распределений с различными параметрами) [1]. В соответствии с принятой моделью деталь признается годной, если она входит в диапазон:

$$LLS \leq X \leq ULS, \quad (1)$$

где ULS, LLS – предельные значения контролируемого параметра.

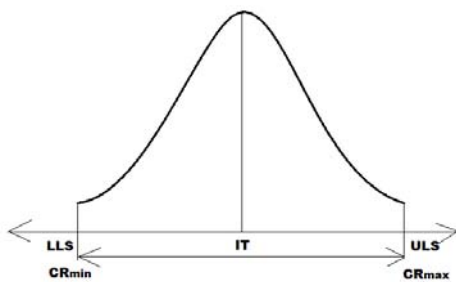


Рисунок 1 – Модель контроля продукции при нормальном законе распределения контролируемого параметра:

IT – допуск контролируемого параметра;

LLS, ULS – предельные значения контролируемого параметра; CR_{min}, CR_{max} – границы регулирования

Модель предполагает, что в результатах разбраковки не будет ошибок контроля (неправильно принятых и неправильно забракованных деталей).

При измерительном контроле эта модель не реализуема из-за погрешностей процесса измерений $\Delta_{\Sigma i}$. С учётом распределения случайной погрешности измерения соответствующая метрологическая модель представлена на рисунке 2.

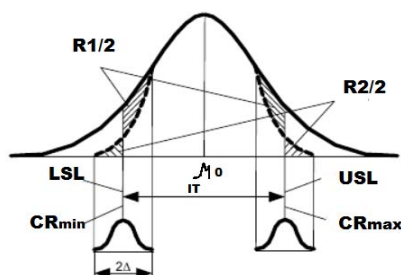


Рисунок 2 – Модель контроля продукции с учетом погрешности средств измерений:

IT – допуск контролируемого параметра;

μ_0 – математическое ожидание контролируемого параметра; USU, LSL – предельные значения контролируемого параметра; $R1/2$ и $R2/2$ – риски первого и второго рода; Δ – погрешность измерения; CR_{min}, CR_{max} – приемочные границы

Погрешность измерения кроме инструментальной составляющей включает погрешности метода, условий и субъективную составляющие. Решение о годности контролируемого параметра принимается, в соответствии со следующим неравенством:

$$LSL \leq X^* \leq ULS, \quad (2)$$

где оценка контролируемого параметра X_i^* :

$$X_i^* = X_i + \Delta_{\Sigma i} \quad (3)$$

Данная модель достаточно хорошо исследована, для неё определены риски ошибок первого (ложный дефект) и второго (необнаруженный дефект) рода и выданы рекомендации по количественному оцениванию результатов контроля [2, 3].

В серийном и массовом производстве наиболее удобными и широко распространенными являются такие атрибутивные средствами измерительного контроля как калибры. Преимуществом использования методики контроля с предельными калибрами является упрощение контроля, повышение объективности результатов, отсутствие необходимости привлекать для его реализации высококвалифицированных исполнителей. Видимые преимущества такого подхода привели к практическому отсутствию исследований, связанных с его применением.

Простейший калибр с позиций метрологии представляет собой однозначную (или многозначную) меру. Главная отличительная особенность меры – отсутствие преобразований сигнала измерительной информации самим средством измерений. Сложность контроля калибрами состоит в оценивании погрешности контроля, которая обусловлена близостью значения контролируемой величины к границам поля допуска и возможными погрешностями контроля из-за ограниченной точности калибра. Для корректного отражения процесса разбраковки детали необходимо иметь информацию о поле практического рассеяния партии деталей и точности действительного размера калибра. Такая информация при проектировании процедуры контроля калибрами, как правило, недоступна. Поэтому приходится оперировать нормативными данными, такими как допуск контролируемого параметра и допуск на размер калибра.

В научно-технической литературе и нормативных документах, например [4], предлагается рассматривать модель измерительного контроля атрибутивными средствами (в том числе калибрами), опираясь на равновероятное распределением погрешностей (рисунок 3).

Данная модель построена с использованием ряда допущений, правомочность которых необходимо оценить.

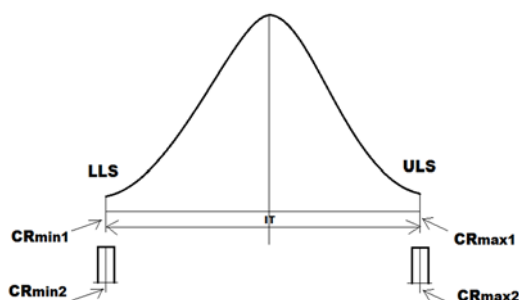


Рисунок 3 – Модель контроля продукции с использованием атрибутивных средств контроля: IT – допуск контролируемого параметра; LLS , ULS – предельные значения контролируемого параметра; CR_{min1} , CR_{max1} – приемочные границы

В соответствии с представленной моделью погрешность измерения сводится к погрешности средства контроля, которая, в свою очередь, обусловлена допуском на изготовление калибра. Такой подход можно рассматривать как частный случай при условии, что остальные составляющие погрешности измерений равны нулю.

Действительно, погрешность метода измерений можно считать пренебрежимо малой в связи с реализацией принципов проектирования рабочих поверхностей калибров («принципы Тейлора»), предполагающих «увязку» конструкции рабочих поверхностей калибров с контролируемыми границами размеров («пределом максимума материала» и «пределом минимума материала»). Рабочие поверхности проходных калибров проектируют как аналог сопрягаемой поверхности для комплексного контроля её элементов («принцип подобия»), поскольку прохождение такого калибра через контролируемый размерный элемент гарантирует собираемость с ответной деталью.

Приравнивание субъективной составляющей погрешности измерений к нулю справедливо в случае, если при оценке годности проходной калибр проходит, а непроходной не проходит через контролируемый элемент детали исключи-

тельно под действием силы тяжести калибра. Такая методика легко реализуема при контроле наружных размерных элементов деталей, а при контроле внутренних размерных элементов методика работает, если сила тяжести калибра направлена вертикально. Во всех остальных случаях появляется риск проявления субъективной составляющей погрешности измерений, величину которой необходимо оценивать при проектировании методики выполнения измерений.

Проанализировав информацию, касающуюся атрибутивных средств контроля целесообразно сформулировать следующие задачи, решение которых позволит получить более объективную картину контроля и снизить риски принятия ошибочных решений при контроле размеров деталей предельными калибрами:

1. Разработать методику подтверждения достоверности процесса контроля геометрических параметров при использовании атрибутивных средств.
2. Предложить критерии оценки правильности распределения погрешности измерения.
3. Выявить факторы, влияющие на изменения рисков первого и второго рода при контроле геометрических параметров с применением атрибутивных средств и определить пути их минимизация.

Литература

1. Чупырин В.Н. Технический контроль в машиностроении. // Справочник проектировщика. М., 1987. – 437 с.
2. Соломахо Д.В. Использование метрологического моделирования процессов операционного контроля для нормирования погрешности измерений / Д.В. Соломахо, С.С. Соколовский, Б.В. Цитович // Метрология и приборостроение. – 2010. – № 3. – С. 32–36.
3. ГОСТ 8.051-83 ГСОЕИ «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм»
4. СТБ 2450-2016 «Системы менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем».

УДК 67.05:53.08

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ: АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Нефедов С.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При разработке новых образцов продукции испытания является заключительным и одним из важнейших этапов. По их результатам устанавливают – выполнены ли требования технического задания на разработку. При этом обычно сталкиваться интересы заказчика/ инвестора (если продукция разрабатывается не за счет внутренних средств) и исполнителя – разработчика (из-

готовителя) продукции. Заказчик заинтересован в строгом выполнении всех заданных требований, а для исполнителя – отрицательные результаты испытаний (даже по отдельным пунктам) ведут к дополнительным затратам на устранение выявленных недостатков, и даже, в крайнем случае, отказ заказчика принять результаты работы. Поэтому проведение испытаний должно регла-