

# Оценка прослеживаемости и неопределенности измерений при аккредитации испытательных лабораторий по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025



**Крикун В. М.** - руководитель Московского филиала Ассоциации по сертификации «Русский Регистр», к.т.н.

**Соавторы: Ольховский А. Н.** - координатор программ сертификации в ОПК Ассоциации по сертификации «Русский Регистр», к.т.н.

**Ларионова Г. Е.** - ведущий консультант Научно-технического испытательного центра «НЕОТЕСТ»

В Российской Федерации с 1 июля 2007г. введен в действие ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [1], требующий проводить в испытательной лаборатории оценку прослеживаемости и неопределенности измерений при испытаниях. Результаты таких оценок должны учитываться при оценке компетентности лабораторий в ходе проведения испытаний и при обработке их результатов, что в полной мере соответствует международной практике. Указанный стандарт [1] разработан с учетом положений международного стандарта ИСО/МЭК 17025:2005 [2], разработанного Рабочей группой 25 ISO/CASCO Комитета ИСО по оценке соответствия. Международный стандарт ИСО/МЭК 17025:2005 [2] в качестве признанной на международном уровне меры доверия к результатам измерений (в том числе и при испытаниях) вводит **неопределенность измерений**.

Основным документом международного уровня, реализующим концепцию «неопределенности», является международная рекомендация [3], разработанная в 1993г. МБВМ, МЭК, МФКХ, ИСО, ИЮПАК, ИЮПАП и МОЗМ. На русском языке указанные рекомендации [3] появились в 1999г. [4] (далее по тексту – Руководство GUM).

Возможность оценки неопределенности измерений наряду с погрешностью измерений в настоящее время предусматривается в таких наиболее известных в России нормативных документах как [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]. В европейской практике при оценке неопределенности измерений при проведении количественных испытаний в испытательных лабораториях руководствуются, как правило, процедурами, изложенными в [18]. Для оценки неопределенности при проведении калибровки руководствуются документом [19]. Кроме того, в Международной организации по аккредитации лабораторий (ILAC) для оценки прослеживаемости и неопределенности измерений руководствуются документами [20] и [21]<sup>1</sup>. В указанных документах Руководство GUM [4] является базовым при оценке неопределенности.

В практике аккредитации испытательных лабораторий на техническую компетентность в Российской Федерации по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [1] органы по оценке соответствия руководствуются указанным стандартом, а также

<sup>1</sup> Переводы указанных документов выполнены в инициативном порядке Ассоциацией по сертификации «Русский Регистр» совместно с другими организациями.

метрологическими правилами и нормами, имеющими обязательную силу на территории России, в соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений».

При этом при оценке качества (точности) результатов измерений используются характеристики погрешности измерений, а при оценке единства измерений (прослеживаемости) - характеристики погрешности передачи размера единицы величины, регламентированных в нормативных документах по обеспечению единства измерений.

Это обусловлено тем, что использование характеристик прослеживаемости и неопределенности измерений при оценке качества измерений, применяемые в международной практике, в Законе Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» (как в редакции 1993г., так и в редакции 2008 г.) **не предусмотрено**.

Сложившаяся ситуация создает определенные трудности в практическом применении ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [1] и международного стандарта ИСО/МЭК 17025:2005 [2], в части оценки неопределенности измерений. Новое издание указанного стандарта [1], также как и предыдущее, по-прежнему не содержит разъяснений для российских метрологов и органов по оценке соответствия относительно процедуры перехода, в необходимых случаях, на способ оценки качества измерений, основанный на применении понятий прослеживаемость и неопределенность измерений.

Какие либо соответствующие методические указания по согласованному применению понятий погрешность и неопределенность измерений и их оценке, утвержденные установленным в Российской Федерации порядком, в настоящее время также отсутствуют.

Например, в п.2.9 МИ 1317-2004 [6] определено, что при формировании результатов измерений, связанных с международными работами (международные сличения эталонов, поверка или калибровка средств измерений для зарубежных заказчиков), а также с исследованиями первичных государственных эталонов, вместо характеристик погрешности может быть использована неопределенность измерений в соответствии с Руководством GUM [4]. В этом случае среднее квадратическое отклонение погрешности измерений (п.2.4 [6]) эквивалентно стандартной неопределенности (п.2.3.1 Руководства GUM [4]) или суммарной стандартной неопределенности (п. 2.3.4 Руководства GUM [4]). Границы, в которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью, эквивалентны расширенной неопределенности (п. 2.4 Руководства GUM [4]).

То есть область применения неопределенности измерений в [6] фактически ограничивается сферой действия «Соглашения о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровок и измерений, выдаваемыми национальными метрологическими институтами (СМР, 1999)» и не распространяется на деятельность испытательных лабораторий, аккредитуемых по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [1], в котором установлены требования по оценке прослеживаемости и неопределенности измерений.

Кроме того, в ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [1] оценку прослеживаемости и неопределенности по-прежнему предлагается проводить в соответствии с Руководством GUM [4], которое не имеет статуса нормативного документа ГСИ на территории Российской Федерации, а ссылка на рекомендации [5] отсутствует.

Следует отметить, что до разработки концепции «неопределенности» измерений универсальной характеристикой оценки качества измерений повсеместно являлась погрешность измерений и ее характеристики (концепция

«погрешности» измерений). В концепции «неопределенности» измерений, для сопоставимости результатов измерений/испытаний, в качестве унифицированной меры качества измерений используют «неопределенность измерений» ( в соответствии с ее определением).

Обе из указанных характеристик концепций характеризуют качество измерения и могут рассматриваться, в соответствии с их определениями в РМГ 29-99 [23] , как метрологические характеристики. Поэтому они не противоречат между собой, а дополняют друг друга. При этом приоритетность самого термина «погрешность измерений» по-прежнему остается без изменений, так как суть процесса измерения – это прежде всего процесс сравнения с мерой (эталоном, стандартным образцом).

Необходимость реализации требований прослеживаемости и неопределенности при оценке качества измерений, проводимых аккредитованными лабораториями, в настоящее время может возникнуть в следующих случаях:

- во-первых, в связи с возможным вступлением в ВТО (или ЕС);
- во-вторых, со стороны Заказчика (в контрактной ситуации), т.к. он вправе потребовать от лаборатории, аккредитованной по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [1], количественно оценить прослеживаемость и неопределенность измерений при проведении испытаний его продукции, предназначенной для стран-участниц ВТО (или ЕС);
- в-третьих, со стороны органа по оценке соответствия при официальном подтверждении его компетентности в организации и проведении сравнительных испытаний третьей стороной (на основе международных требований с учетом оценки прослеживаемости и неопределенности измерений).

С учетом вышесказанного в статье приводятся практические рекомендации по оценке неопределенности измерений для использования при подтверждении компетентности испытательной лаборатории.

### **Общий подход к расчету неопределенности измерений**

1. В качестве признанной на международном уровне меры доверия к результатам измерений принята неопределенность измерений.

Методология применения неопределенности измерений для оценки качества измерений (как меры доверия к результатам измерений) изложена в Руководстве GUM [4]. В нем формально установлены общие правила для оценивания и выражения неопределенности для широкого круга измерений, реализующие концепцию «неопределенности».

В Российской Федерации практические рекомендации по применению указанного Руководства [4] изложены в рекомендациях [5]. Основные положения концепции «неопределенности»:

**Неопределенность измерений** – это параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обосновано приписаны измеряемой величине.

**Неопределенность измерений** есть оценка той части выражения результата измерения, которая характеризует интервал неопределенности, содержащий заданную долю распределения значений, которые могли быть обосновано приписаны измеряемой величине (субъективная интерпретация неопределенности).

**Неопределенность измерений** понимают как неполное знание значения измеряемой величины и для количественного выражения этой неполноты вводят

распределения вероятностей возможных (обосновано приписанных) значений измеряемой величины. Таким образом, параметр этого распределения (также называемый - неопределенность) - количественно характеризует точность результата измерения.

Форма представления знаний о неопределенности - это параметр функции распределения результата измерения как случайной величины. Если в качестве этого параметра выбрано стандартное отклонение, то его называют стандартной неопределенностью. Если выбран доверительный интервал, то его называют расширенной неопределенностью.

Неопределенность измерений, как параметр, характеризует рассеяние множества возможных значений величин, а не погрешность конкретного результата измерения.

**2.** Отличительными положениями методологии [4] и [5], которыми руководствуются при оценке качества результатов измерений на основе концепции «неопределенности», являются:

во-первых, отказ, по возможности, от использования понятий «погрешность» и «истинное значение измеряемой величины» в пользу понятий «неопределенность» и «измеренное значение измеряемой величины»;

во-вторых, переход от деления (классификации) погрешностей по природе их проявления на «случайные» и «систематические» к другому делению: по способу оценивания неопределенностей измерений.

Такой подход включает следующее:

**оценка по типу А** – с использованием методов математической статистики для обработки полученных результатов измерений;

**оценка по типу В** – другими методами, в том числе на основе использования информации нормативных документов.

Базовыми концепциями Руководства GUM [1] при оценке неопределенности являются:

- Знание об измеряемой величине, в том числе о величинах, оказывающих влияние на измеряемую величину, представляется в виде функции плотности вероятности (далее – функция PDF: плотность распределения вероятностей) для рассматриваемых величин<sup>2</sup>;

- Математическое ожидание такой функции PDF рассматривается как оптимальная (наилучшая) оценка величины;

- Стандартное отклонение (СКО) такой функции PDF рассматривается как стандартная неопределенность, связанная с такой оценкой;

- Функция PDF базируется на знании о величине, которое может быть получено на основе:

- повторных измерений - оценка типа А<sup>3</sup>;

- расчетных методов оценки, основанной на использовании всей доступной информации о возможных отклонениях рассматриваемых величины – оценка типа

---

<sup>2</sup> Параметром может быть стандартное отклонение (или число, кратное ему) или половина интервала, имеющего указанный доверительный уровень. Неопределенность, как правило, включает несколько составляющих. Часть из них может оцениваться экспериментальными стандартными отклонениями в статистически распределенной серии результатов измерений. Другие составляющие, которые также могут быть оценены стандартными отклонениями, базируются на данных предыдущих экспериментов или другой информации технической документации.

<sup>3</sup> По типу А вычисляют стандартную неопределенность, обусловленную источниками неопределенности, имеющими случайный характер.

В<sup>4</sup>.

**3.** Деление на систематические и случайные погрешности обусловлено природой их возникновения и проявления в ходе выполнения измерений, а деление на неопределенности, вычисляемые по типу А и по типу В – методами их получения и использования при расчете общей неопределенности.

Исходными данными для вычисления неопределенности типа А являются результаты многократных измерений входных величин уравнения измерения, полученные при проведении испытаний.

В качестве данных для вычисления неопределенности по типу В используют:

- информацию нормативных документов (ГОСТ и ТУ на изделие, данные о методах и средствах измерений и испытаний, условия проведения испытаний, внешние воздействующие факторы и т.д.);

- данные предшествовавших измерений величин, входящих в уравнение измерений; сведения о виде распределения вероятностей;

- данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах приборов и образцов;

- неопределенности констант и справочных данных;

- данные поверки, калибровки, сведений изготовителя о приборе и другие аналогичные данные.

Если математическая модель, как основа для оценки неопределенности, отсутствует, то испытательные лаборатории могут для реализации общей оценки неопределенности использовать следующие процедуры:

• составить перечень тех величин и параметров, влияние которых ожидается существенным на общую неопределенность;

• использовать данные, относящиеся к повторяемости и воспроизводимости, которые могут быть получены на основе данных валидации, контроля качества или внутрилабораторных исследований;

• использовать данные или процедуры, описанные в соответствующих нормативных документах по методикам выполнения измерений и проведению испытаний;

• использовать комбинацию процедур, описанных выше.

**4.** Процедуры при оценивании характеристик погрешности и вычислении неопределенности измерений совпадают:

- анализ уравнения измерений или измерительной задачи;

- выявление всех источников погрешности/неопределенности измерений и их количественное оценивание;

- введение поправок на систематические погрешности (эффекты) и их количественное оценивание;

- использование одних и тех же исходных статистических данных (протоколов испытаний с результатами измерений, условиями проведения испытаний и влияющими величинами и др.) для расчетов погрешности и неопределенности измерений.

**5.** Методы вычисления неопределенности, также как и методы оценивания погрешности, основаны на одних и тех же методах математической статистики. Полученные оценки стандартной и расширенной неопределенности, приведенные в [5], практически совпадают с оценками характеристик суммарной погрешности (СКО и границы погрешности), указанной в [6], если во внимание принимаются одни и те же источники погрешностей/неопределенностей.

---

<sup>4</sup> По типу В вычисляют стандартную неопределенность, обусловленную источниками неопределенности, имеющими систематический характер.

## **Алгоритмы расчета неопределенности и методические особенности их применения**

В настоящей статье алгоритм расчета неопределенности строится на основе общей схемы оценивания неопределенности в виде так называемых «восьми шагов» [24]. Пример расчета неопределенности в общем случае может содержать следующие шаги (части):

- Измерительная задача;
- Математическая модель измерений;
- Анализ входных данных;
- Результаты наблюдений;
- Корреляция;
- Бюджет неопределенности;
- Расширенная неопределенность;
- Полный результат измерений.

Для конкретных измерительных задач эта схема может частично нарушаться в виде перестановок отдельных шагов местами или замены, объединения или исключения некоторых из них. Например, в приведенном в данной статье примере, рассмотрена возможность линеаризации уравнения измерения на основе анализа степени незначительности вкладов в неопределенность. Расчеты проведены Научно-техническим испытательным центром «НЕОТЕСТ» и апробированы в Испытательном центре ООО «YANGI TECHNOLOYFLAR» (Узбекистан) в 2007 году.

### **Рекомендации по использованию процедур и результатов расчетов неопределенности испытательной лабораторией**

1. Использование в испытательной лаборатории согласованных процедур и правил оценки неопределенности измерений на основе [5] и практических примеров расчета неопределенности при испытании конкретных образцов, а также наличие свидетельств прослеживаемости измерений до национальных эталонов (свидетельства о поверке/калибровке средств измерений, применение аттестованного оборудования и методик выполнения измерений) может считаться достаточным основанием для признания компетентности лаборатории в реализации пунктов 5.4.6 и 5.6 ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [1] не только со стороны органа по аккредитации, но и со стороны Заказчика (в контрактной ситуации).

2. Процедуры и результаты расчета неопределенности измерений могут стать основой при организации и проведении сравнительных испытаний по зарубежным образцам, проводимых по методике, реализующей концепцию «неопределенности» измерений.

3. Процедуры оценки неопределенности при проведении испытаний, проведенные в соответствии с [5], не могут быть использованы взамен процедур оценки погрешности результатов измерений при проведении испытаний, предусмотренных в отечественных нормативных документах (например, взамен процедур [22] или аналогичных), основанных на принятой в отечественной метрологии концепции «погрешности» измерений.

Оценка неопределенности измерений не противоречит оценке погрешности измерений, а дополняет её.

Для подтверждения законной силы (с точки зрения Закона «Об обеспечении единства измерений») полученных оценок неопределенности измерений и практической реализации процедур оценки качества измерений на основе

концепции «неопределенности» необходима разработка **Методик выполнения измерений**, утверждаемых установленным порядком, с указанием о порядке расчетов и допустимых значений неопределенности измерений.

Методики выполнения измерений с оценкой неопределенности могут, при необходимости, разрабатываться на основе [12], в котором предусматривается возможность оценки как характеристик погрешности, так и неопределенности измерений. При этом процедура сопоставления оценок может быть также предусмотрена.

4. Общим результатом при оценке неопределенности, как правило, является определение расширенной неопределенности (границ интервала неопределенности), которая является произведением стандартной неопределенности и коэффициента охвата  $k = 2$  ( $k = 3$ ), и при нормальном распределении соответствует вероятности охвата приблизительно равной 95 % (99 %).

При этом в середине интервала неопределенности находится результат измерения измеряемой величины, а полученное значение расширенной неопределенности измерений характеризует величину рассеяния истинного значения определяемой величины относительно результата измерения этой величины, полученного на основе оценки данных о входных величинах уравнения измерения и влияющих величин.

5. Сравнительный анализ проведенных Научно-техническим испытательным центром «НЕОТЕСТ» расчетов погрешности и неопределенности, а также расчетов приведенных в [24] показывает, что способы и формулы оценивания доверительных границ погрешности результата измерения, принятые в нормативных документах ГСИ, практически идентичны формулам расчета расширенной неопределенности [5].

При этом общепринятые оценки СКО, НСП и доверительных границ погрешности фактически характеризуют не погрешность (согласно ее определению в [23]), а возможное рассеяние значений результатов измерений относительно истинного (действительного) значения, также как и неопределенность.

Различия заключаются в следующем:

1) результатом оценки доверительных интервалов погрешности является величина рассеяния результатов измерений относительно действительного значения величины, т.е. реализуется концепция «погрешности» измерений;

2) результатом оценки расширенной неопределенности измерений, соответствующей доверительной границе, является величина рассеяния истинного значения величины относительно результата измерения, т.е. реализуется концепция «неопределенности» измерений;

3) некоторое методологическое различие в статистических подходах к определению коэффициента охвата  $k$ , соответствующего коэффициенту  $K$ , традиционно используемого в документах ГСИ при определении границ доверительного интервала, незначительно сказывается на результатах оценки характеристик погрешности/неопределенности измерений в практических измерительных задачах. В ряде случаев оценки погрешности и неопределенности совпадают.

Таким образом, оценки качества измерений при проведении испытаний на основе концепций «погрешности» измерений и «неопределенности» измерений не противоречат друг другу, а взаимно дополняют.

6. Вопрос заключается в выборе точек отсчета при проведении оценки:

«находиться» при этом в точке действительного значения величины, воспроизводимой эталоном, или в точке результата измерения этой величины, полученного с помощью средств измерений, используемых при проведении испытаний.

В первом случае для оценки качества измерений реализуется концепция «погрешности» измерений, а во втором – концепция «неопределенности» измерений. В обоих случаях степень доверия к полученным оценкам следует рассматривать как равнозначную, т.к. обе оценки строятся на основе одних и тех же статистических данных результатов наблюдений и практически совпадающих расчетных формулах.

Как правило, вопрос о выборе точки отсчета может решаться органом по аккредитации или Заказчиком (в контрактной ситуации), а испытательная лаборатория, имеющая и применяющая правила и процедуры расчета неопределенности измерений при проведении испытаний по [5], может обеспечить реализацию любого выбора Заказчика (в контрактной ситуации).

7. От испытательной лаборатории при оценке неопределенности не требуется проводить дополнительных испытаний или исследований, например, определять вид измерительной функции, разрабатывать модели погрешности или определять вид функции распределения при оценке неопределенности измерений. При практической оценке неопределенности достаточно использовать имеющиеся данные о погрешностях, параметрах функции распределения и влияющих величинах, определенные в нормативной документации на изделия, средства измерений, испытательное оборудование, методы испытаний, а также в документах ГСИ.

8. В случае необходимости, в испытательной лаборатории может быть проведена оценка качества измерений на основе использования таких показателей качества как воспроизводимость измерений (при межлабораторных сличениях) и повторяемость измерений (при внутрилабораторном контроле качества) по [25].

### **Преимущества оценки неопределенности для испытательных лабораторий**

Имеется ряд преимуществ, связанных с реализацией концепции «неопределенности» измерений, хотя и требующих существенных затрат по времени:

- Возможность оценки неопределенности измерений помогает в решении таких важных и зачастую спорных вопросах, как управление риском и степенью доверия к результатам измерений.

- Заявление о неопределенности измерений может обеспечить конкурентное преимущество, путем представления дополнительной информации о качестве измерений.

- Знание о количественном результате воздействия каждого из влияющих факторов на результат измерений повышает надежность испытательных/измерительных процедур. Корректные измерения могут быть применены более эффективно и, следовательно, быть более рентабельными.

- Оценка неопределенности измерений представляет собой стартовую точку для оптимизации испытательных процедур через лучшее понимание измерительных процессов.

- Заказчики, в лице органов по сертификации продукции, нуждаются в информации по неопределенности, связанной с результатами измерений при проверке соответствия сертифицируемой продукции требованиям технических условий (спецификаций).

- Стоимость проведения работ может быть уменьшена, если при оценке неопределенности будет обосновано, что влияние каких либо из влияющих на общую неопределенность факторов является незначительным и, соответственно, не требуется дополнительных затрат на их контроль.

### **Пример расчета неопределенности измерений при проведении испытаний кирпича керамического, изготовленного по ГОСТ 530-95.**

Исходные условия:

- Испытания проведены по ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»;

- Испытания проведены в Испытательном центре ООО «YANGI TECHNOLOGYFLAR» (Узбекистан) в период с 13.06.2007 г. по 22.06.2007 г.

- Испытания проводились на аттестованном испытательном оборудовании с применением средств измерений, поверенных в установленном порядке.

- Расчеты неопределенности измерений проводились с учетом п. 4.11 РМГ 43-2001 [5] экспертным методом (с учетом неполной информации о влияющих величинах (составляющих бюджета неопределенности) на основе данных протоколов периодических испытаний образцов кирпича по ГОСТ 8462-85.

### **Расчет неопределенности измерений предела прочности при сжатии $R_{сж}$ керамического кирпича марки 100 по ГОСТ 530-95.**

Исходные данные для расчета, используемое оборудование и условия проведения испытаний:

1. Рассматриваются результаты измерений ( $n = 5$ ) пределов прочности  $R_{сж}$  образцов кирпича, приведенные в протоколе № 171 от 22.06.2007 в последнем столбце таблицы «Определение предела прочности при сжатии  $R_{сж}$ ».

2. При испытаниях используется пресс гидравлический П-50 № 6084 по ГОСТ 8905-82.

3. Измерение разрушающего усилия проводится с помощью тензорезисторных датчиков (ГОСТ 28836-90) гидравлического пресса.

4. Нормативные документы для расчета:

- Руководство РМГ 43-2001 [5];

- ГОСТ 28836-90 Датчики силоизмерительные тензорезисторные. ОТТ и методы испытаний;

- ГОСТ 8462-85 Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе;

- ГОСТ 8.207-76 Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений;

- Паспорт на пресс гидравлический.

5. Испытания проводятся в нормальных климатических условиях, указанных в протоколе № 171, дополнительные внешние влияющие факторы отсутствуют.

6. Подготовка образцов к испытаниям проводится в соответствии с п. 2 ГОСТ 8462-90.

7. Изготовление образцов из керамического кирпича для определения прочности при сжатии осуществляется по правилам Приложения 2 ГОСТ 8462-90.

8. Отклонение от плоскостности испытательных пластин пресса не должно превышать 0,1 мм (п. 1.7 ГОСТ 8462-90).

9. Предел прочности при сжатии образцов в партии вычисляют как среднее

арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

10. Погрешность округления пределов прочности  $1 \text{ кгс/см}^2$  (п. 3.2.1 ГОСТ 8462-90).

11. Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью до 1 мм (п. 3.1 ГОСТ 8462-90).

### **Выбор модели измерений**

В общем виде уравнение измерения согласно ГОСТ 8462-90 имеет вид

$$R_{\text{сж}} = f(F, S) = F / S \quad (\text{кгс/см}^2), \text{ где}$$

F – разрушающее усилие,

S – площадь кирпича.

Для данного вида уравнения (косвенные измерения), в общем случае, следует руководствоваться положениями [9]. Однако, принимая во внимание, что вклад погрешности измерения линейных размеров для определения площади кирпича в общую погрешность измерения  $R_{\text{сж}}$  незначителен (менее 2% от общей погрешности измерений предела прочности кирпича – по данным, полученным лабораторией при проведении внутрिलाбораторных исследований метода испытания), то для оптимизации оценок и расчета целесообразно представить модель измерения в виде линейной зависимости вида  $R_{\text{сж}} = K_{\text{сж}} \cdot F$ , где коэффициент  $K_{\text{сж}}$  можно считать практически постоянным и обратно пропорциональным площади кирпича.

Соответственно, величина  $R_{\text{сж}}$  для данного случая рассматривается как результат прямых многократных измерений, реализуемый линеаризованной моделью, что соответствует положению Руководства GUM [1] о предпочтительности применения линеаризованных моделей для удобства и достоверности расчетов.

В необходимых случаях, методическая погрешность линеаризации модели измерений может быть учтена в бюджете неопределенности и рассчитана с учетом положений [9].

### **Анализ составляющих погрешностей измерений и испытаний**

(для возможности формирования бюджета неопределенности)

Первая группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу А) – погрешности, связанные с технологическими разбросами количества и качества компонентов исходной смеси для изготовления кирпича и неравномерностью обжига в процессе производства.

Вторая группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу В):

- допустимая погрешность измерения нагрузки пресса гидравлического П-50 составляет  $\pm 1,5 \%$  от измеряемой величины ( $\theta_1 = \pm 1,85 \text{ кгс/см}^2$ ) – данные из Паспорта на пресс;

- вариация показаний  $\pm 1,5 \%$  от измеряемой величины ( $\theta_2 = \pm 1,85 \text{ кгс/см}^2$ ) – данные из Паспорта на пресс;

- погрешность отсчета  $\pm 0,2$  деления шкалы ( $\theta_3 = \pm 0,4 \text{ кгс/см}^2$ ).

Третья группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу В) – методические погрешности метода испытаний:

- погрешность линеаризации уравнения измерения (не рассматривается в силу незначительности ее вклада в общую погрешность измерения разрушающего усилия);

- отклонение от плоскостности испытательных пластин пресса;

- неравномерность толщины цементной стяжки (5 мм) образца для испытаний;
- изменение качества цементной смеси стяжки;
- несоосность установки образца на испытательную плиту прессы и др.

Постольку в ГОСТ 8462-85 величина методических погрешностей метода испытаний не нормирована, то за эту величину в данных расчетах (экспертным методом) принимается погрешность, не превышающая погрешности округления величин пределов прочности, т.е.  $\theta_{\text{метод}} = \pm 1,0 \text{ кгс/см}^2$ .

#### Порядок расчета:

1. На основе протокола № 171, определено среднее значение предел прочности при сжатии (для  $n = 5$ ):

$$R_{\text{сж ср}} = 123,1 \text{ кгс/см}^2.$$

Стандартная неопределенность  $u_A (R_{\text{сж}})$  измерения предела прочности при сжатии (стандартная неопределенность по типу А – СКО среднего арифметического значения) вычисляется в соответствии с формулой (5) [5] и составляет величину:

$$u_A = \sqrt{\sum (R_{\text{сж } i} - R_{\text{сж ср}})^2 / n(n-1)} = \pm 6,08 \text{ кгс/см}^2;$$

В рассматриваемом случае, для расчета неопределенности типа В – неопределенности, обусловленные источниками, имеющими систематический характер – используются границы погрешностей  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  и  $\theta_{\text{метод}}$ , определенные выше.

Тогда, после расчетов согласно формулам (7) и (9) [5], суммарное значение неопределенности типа В составит величину:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{\sum \theta_i^2 / 3} = \sqrt{[\theta_1^2 / 3] + [\theta_2^2 / 3] + [\theta_3^2 / 3] + [\theta_{\text{метод}}^2 / 3]} = \\ &= \sqrt{[1,85^2 / 3] + [1,85^2 / 3] + [0,4^2 / 3] + [1,0^2 / 3]} = \pm 1,63 \text{ кгс/см}^2; \end{aligned}$$

При этом, согласно п.4.8.2.2 [5], принимается равномерный закон распределения погрешностей в указанных границах допуска.

2. Суммарная неопределенность  $u_C$  рассчитывается как корень квадратный из суммы квадратов составляющих неопределенностей:

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} = \sqrt{6,08^2 + 1,63^2} = \pm 6,29 \text{ кгс/см}^2;$$

3. В рассматриваемом практическом случае, при вычислении неопределенности результата измерения предела прочности при сжатии кирпича принимается нормальный закон распределения возможных значений этой измеряемой величины.

4. В этом случае коэффициент охвата  $k = 2$  при  $P \sim 0,95$  (см. п. 4.10.3 [5]). Соответственно формуле (1) [5], расширенная неопределенность для уровня доверия  $P = 0.95$  представляется в виде:

$$U_{0,95} = k u_C = 2 \cdot 6,29 = \pm 12,58 \text{ кгс/см}^2;$$

5. Результат измерения предела прочности при сжатии образцов кирпича для нормального закона распределения может быть представлен в виде

$$R_{\text{сж}} = (123,1 \pm 12,58) \text{ кгс/см}^2, P \sim 0,95.$$

6. Окончательно, с учетом погрешности округления, получаем

$$R_{\text{сж}} = (123 \pm 13) \text{ кгс/см}^2, P \sim 0,95.$$

7. В случае принятия равномерного закона распределения измеряемой величины при расчете расширенной неопределенности полагаем

$$k = 1,65 \text{ при } P \sim 0,95.$$

Применение равномерного (прямоугольного) закона распределения является более предпочтительным в случае, если нормальность распределения не подтверждается критериями, приведенными в [7].

8. В случае необходимости, бюджет неопределенности может быть расширен или уменьшен в зависимости от требований органа по аккредитации или Заказчика (в контрактной ситуации).

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

2. МС ИСО/МЭК 17025:2005 Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий.

3. Международная рекомендация GUM, «Руководство по выражению неопределенности измерений».

4. Руководство по выражению неопределенности измерений // Пер. с англ. под ред. В.А. Слаева.- СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.

5. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

6. МИ 1317-2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

7. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.

8. Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результатов измерений.

9. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

10. ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

11. ГОСТ Р 51318.16.4.2-2006 Неопределенность измерений в области электромагнитной совместимости.

12. ГОСТ Р 8.563-96 ГСИ. Методики выполнения измерений (с изм. №№ 1,2).

13. ГОСТ Р 51318.16.4.2-2006 Совместимость технических средств электромагнитная. Неопределенность измерений в области электромагнитной совместимости.

14. ПР РСК 005-03. Указания по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000 "Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий" в Российской системе калибровке.

15. Р.50.4.006-2002 «Рекомендации по аккредитации. Межлабораторные сравнительные испытания при аккредитации и инспекционном контроле испытательных лабораторий. Методика и порядок проведения» (при контроле параметров окружающей среды, отходов производств и т.п.).

16. Р 50.4.003-2000 «Рекомендациями по аккредитации. Инспекционный контроль за деятельностью испытательных лабораторий в Системе сертификации ГОСТ» (при контроле качества пищевых продуктов и продовольственного сырья).
17. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях, 2-е изд., 2000/Пер. с англ. – СПб.: ВНИИМ им. Менделеева, 2002.
18. EA-4/16 «Руководство EA по выражению неопределенности измерений при испытаниях».
19. EA-4/02 «Руководство по выражению неопределенности измерений при калибровке».
20. Руководство ILAC-P 10:2002 Политика ILAC по прослеживаемости измерений.
21. Руководство ILAC-G 17:2002 Представление концепции неопределенности измерений при проведении испытаний в связи с введением в действие международного стандарта ИСО/МЭК 17025.
22. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
23. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
24. Примеры оценивания неопределенностей из различных областей измерений и испытаний. Практическое пособие.//Ефремова Н.Ю., Качур С.А.- Белорусский государственный институт метрологии, г.Минск, 2006 г.
25. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.