

УДК 519.688

А.Е. Олейник

ННЦ «Інститут метрології», Харків, Україна

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Приводится описание программного средства для оценивания неопределенности измерений, реализующее как стандартный алгоритм, так и альтернативные подходы к расчету неопределенности, структурированное по видам метрологических работ. Программное средство разрабатывается в рамках постоянной метрологической темы и разработка будет завершена до конца 2008 года. Дальнейшие усовершенствования будут сделаны в части межлабораторных сличений и методов, которые используются в части исследовательского оценивания неопределенности измерений. Все функциональные возможности программного средства опираются на нормативно-методические документы.

Ключевые слова: неопределенность, измерения, оценивание неопределенности измерений, численные методы, автоматизация, программное средство.

Введение

Введение в практику концепции неопределенности измерений, основные положения которой описаны в международном документе [1], приводит к необходимости разработки автоматизированных средств расчета неопределенности измерений. Поскольку в метрологических организациях (метрологических институтах, калибровочных и испытательных лабораториях) проводится оценивание точности измерений при решении разных метрологических задач, в том числе и исследовательских, автоматизированное программное средство должно реализовывать не только стандартный алгоритм оценки неопределенности измерений, описанный в Руководстве, но и специальные методы, например, метод статистического моделирования (Монте-Карло) [2]. Также необходимо, по возможности, облегчить работу персонала метрологических лабораторий, выделив отдельные подпрограммы для характерных задач, которые встречаются на практике для большей автоматизации процесса расчетов.

В настоящее время уже создано несколько программных средств, которые автоматизируют расчет неопределенности измерений [3 – 7]. Но большинство из них реализуют лишь базовый алгоритм оценивания неопределенности. Указанные программные продукты не разделяют алгоритмы оценивания неопределенности по типу метрологических работ и не всегда имеют удобный интерфейс (в частности программы, разработанные иностранными институтами, имеют англоязычный интерфейс, который не дает возможности сформировать отчет об оценивании неопределенности в приемлемом для применения в Украине виде, усложняет процесс обучения и работы с этими программами). Вместе с менее функциональными программными средствами су-

ществуют и довольно сложные программные пакеты, например EffiChem Method Validation Software [3], который имеет исчерпывающую документацию, контекстную справку, подробные примеры для каждого алгоритма.

Программное средство Evaluator (фирмы Newton Metrology Ltd.) [4] вообще приближается к математическому пакету общего назначения, который имеет внутренний скриптовый язык. Но все эти богатые возможности требуют опытного пользователя и принятия решений относительно использования того ли иного алгоритма или сервиса на уровне ведущего учреждения в отрасли, которое утверждает порядок выполнения работ. В рутинной же работе обычных лабораторий будет использоваться лишь незначительная часть всех возможностей этого средства.

Основной материал

С целью создания максимально удобного, многофункционального (в рамках решения задачи оценивания неопределенности) и структурированного по направлениям метрологической деятельности автоматизированного программного средства для оценивания неопределенности измерений, в ННЦ "Институт метрологии" создается программное средство "Оценивание неопределенности измерений". Приведем основные сведения об этом средстве.

После запуска программы сначала указываются информационные данные о метрологической лаборатории и исполнителях (эта информация используется при оформлении протокола об измерении). Введенная информация сохраняется во внешнем файле и используется при следующих запусках программы во избежание повторного ввода. На главном окне программы расположено меню, где возможные

действия сгруппированы в несколько пунктов, а именно:

- пункт "Общие виды измерений", где можно выбрать процедуру оценивания неопределенности прямых, косвенных или совокупных измерений;
- пункт "Калибровка", где можно выбрать для какого типа калибровки необходимо оценить неопределенность: калибровка меры или калибровка измерительного прибора (с перечнем методов измерения);
- пункт "Межлабораторные сличения", где рассматриваются действия по оцениванию неопределенности в случае обработки результатов межлабораторных сличений;
- пункт "Научные исследования" предназначен для исследовательского оценивания неопределенности: вместе со стандартным алгоритмом доступны действия, которые не предусмотрены нормативными документами. Например, использование математической модели измерения, заданной в численном виде, который сохраняется во внешнем файле, или расчет расширенной неопределенности альтернативным способом.

При выборе оценивания неопределенности для калибровки или сличений предоставляется возможность выбрать вид метрологической задачи (например, сличение с помощью компаратора, прямое измерение эталонным измерительным средством, и т.п.). В зависимости от избранного вида автоматически задается набор входных величин и тип уравнения измерений. Также можно создать пустой проект без предварительного задания входных величин и математической модели. Этот вариант подходит для калибровки в соответствии с ранее разработанной методикой калибровки. В этом случае измеряемые величины и математическая модель измерения описаны в методике калибровки.

В случае научных исследований для описания уравнения измерений может использоваться внешний программный модуль, который дает возможность использовать сложные математические модели (например, с использованием специальных функций, последовательностей в циклах, рекурсий), в частности те, для расчета которых необходимо использование численных методов (в последнем случае к перечню входных величин надо добавить переменную, отвечающую за точность используемых численных методов).

Поскольку в этом случае нет возможности контролировать правильность расчета уравнения измерения, протокол об оценивании неопределенности не создается и полученные результаты не могут быть использованы для предоставления официального акта о проведении оценивания неопределенности измерений. Полученные в этом случае результаты могут быть использованы в научных исследованиях.

Для оценки неопределенности результата измерения в общем случае можно использовать базовый алгоритм (в соответствии с Руководством) или метод Монте-Карло. Для оценки неопределенности при проведении калибровки и межлабораторных сличений используется лишь базовый алгоритм, как официально утвержденный для таких видов метрологических работ на данный момент. Для случая научных исследований имеем расширенный набор методов обработки результатов. Это базовый алгоритм (в соответствии с Руководством), метод Монте-Карло и Метод расчета расширенной неопределенности результата измерения путем среднеквадратического суммирования расширенных неопределенностей входных величин с одинаковым уровнем доверия [8].

После выбора вида метрологических работ запускается Мастер расчета неопределенности, который предоставляет возможность пользователю постепенно ввести всю необходимую информацию об измерении и получить результат установленной формы.

На первой странице Мастера пользователь указывает название и текстовое описание процедуры измерения, входные величины (обозначение, единицы измерения, описание), уравнение измерения. Для прямых измерений уравнение измерения формируется автоматически в виде суммы измеряемых величин и влияющих параметров. Для косвенных и совокупных измерений уравнение измерения задается пользователем. Для калибровки и сличений используется уравнение измерений, которое соответствует выбранной метрологической задаче. При оценивании неопределенности для калибровки, схему измерения, где обозначены используемые входные величины и проиллюстрированы уравнения измерений, можно просмотреть нажав кнопку "Схема".

Страница "Расчет неопределенности входных величин" позволяет ввести значения и/или параметры входных величин и рассчитать их стандартную неопределенность по типу А или по типу В. Для оценивания по типу А пользователь может вводить измеренные значения в таблицу или загрузить их из одностолбцового текстового файла. Для оценивания по типу В пользователь отмечает сначала известно ли заранее значение неопределенности (стандартной или расширенной) для этой величины. Если да, то выбирается пункт "неопределенность известна", где отмечается ее значение (для расширенной - значение, разделенное на коэффициент охвата), и оценка величины. Если значение неизвестно, то отмечается закон распределения и значение его параметров. По этой информации оценивается неопределенность по типу В. Расчет производится в соответствии с Руководством [1], результат отображается в правой верхней части рабочего окна.

Далее пользователь должен указать существует ли корреляция между какими-нибудь входными величинами (страница "Корреляционные коэффициенты"). Если так, то становится доступной таблица коэффициентов корреляции. Диагональные элементы равняются единицам. В других ячейках таблицы пользователь отмечает соответствующие коэффициенты корреляции если зависимость существует от внешней переменной. Если переменные взаимно коррелированы, то коэффициент можно рассчитать, нажав на соответствующую кнопку.

Для завершения работы пользователь переходит на последнюю (четвертую) страницу "Бюджет неопределенности", где в таблице отображается вся необходимая информация по входным величинам, полученная из введенных данных - это оценка входной величины, стандартная неопределенность входной величины, степень свободы, распределение вероятностей, коэффициент чувствительности, и вклад в неопределенность. Последней строкой в таблице представлена оценка результата и его стандартная неопределенность. Эта информация появляется после расчета.

Для расчета неопределенности надо указать уровень доверия (который влияет на величину коэффициента охвата) и нажать кнопку "Рассчитать". После этого программное средство проводит расчет и отображает результат в стандартном виде - оценка результата измерений плюс/минус расширенная неопределенность с указанием уровня доверия; расширенная неопределенность, в свою очередь, равняется стандартной неопределенности результата, умноженной на коэффициент охвата.

По умолчанию используется алгоритм для математических моделей измерений, которые не являются существенно нелинейными. Этот алгоритм целиком подходит для прямых измерений и косвенных измерений с линейной математической моделью, в частности для калибровки.

В случае существенной нелинейности математической модели измерения перед расчетом надо отметить этот факт поставив "галочку" возле соответствующего утверждения. Тогда во время расчета будут учтены дополнительные члены в разложении функции математической модели в ряд Тейлора.

Кроме того, можно провести расчет с использованием численных методов математической статистики (метода Монте-Карло). Блоки расчета неопределенности по стандартному алгоритму и с помощью метода Монте-Карло расположены отдельно, что дает пользователю возможность сравнить результаты расчетов по этим двум алгоритмам. Также отдельно расположен блок расчета расширенной неопределенности с использованием расширенных неопределенностей входных величин.

Коэффициент охвата в случае стандартного ал-

горитма оценивания неопределенности устанавливается с помощью таблиц коэффициента распределения Стьюдента (для рассчитанного числа степеней свободы и указанного уровня доверия), предполагая, что результат измерения распределен по нормальному закону.

График распределения вероятности результата измерения, построенный по результатам моделирования, которое проводится во время расчета методом Монте-Карло, можно просмотреть нажав кнопку "График". Этот график отображается в отдельном окне. Изображение является "активным": масштаб изменится, и график может быть перемещен относительно осей координат.

Для того чтобы распечатать протокол измерения в соответствии с принятым оформлением, надо нажать кнопку "Печать". В случае оценивания неопределенности результатов измерений при проведении калибровки кроме протокола измерения оформляется также Свидетельство об измерении (согласно ДСТУ 3989-2000 [9]). Для национальных метрологических институтов в рамках СИМР МРА (которые подписали "Соглашение о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, которые выдаются национальными метрологическими институтами") существуют специальные рекомендации и утвержденная форма Сертификата калибровки, разработанные в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17025. Использование этой специальной формы сертификата разрешено только национальным метрологическим институтам, калибровочные и измерительные возможности которых входят в Приложение С СИМР МРА, тем институтам, чьи системы менеджмента качества имеют признание Форума качества КОOMET на соответствие стандарту ISO/IEC 17025 [10], а также имеют разрешение на использование логотипа СИМР МРА. Уполномоченному пользователю для создания указанного Сертификата калибровки на основании проведенного оценивания неопределенности измерений необходимо нажать кнопку "Сертификат калибровки согласно COOMET R/GM/15:2007", что приведет к передаче данных из программного средства "Оценивание неопределенности измерений" в специализированную программу, разработанную вместе с указанными рекомендациями в рамках темы КОOMET 301/UA-a/04, и которая, используя переданные данные, подготовит для печати сертификат установленного образца.

По окончании работы пользователю предлагается сохранить созданный проект в файл. После этого Мастер расчета неопределенности закрывается, и пользователь возвращается к главному окну программы, где имеет возможность продолжить работу, открыв или создав новый проект.

Вывод

Программное средство разрабатывается в рамках постоянной метрологической темы и разработка будет завершена до конца 2008 года.

Дальнейшие усовершенствования будут сделаны в части межлабораторных сличений и методов, которые используются в части исследовательского оценивания неопределенности измерений.

Все функциональные возможности программного средства опираются на международные и разработанные в ННЦ "Институт метрологии" нормативно-методические документы.

Список литературы

1. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. First edition – ISO. Switzerland, 1993. – 101 p.*
2. Кокс М., Харрис П., Зиберт Б.Р.-Л. *Оценивание неопределенности измерений на основе трансформирования распределений с использованием моделирования по методу Монте-Карло // Измерительная техника. – 2003. – № 9. – С. 9-14.*
3. "Method Validation Software." [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.effichem.com/>
4. *Uncertainty Estimation Tool - Newton Metrology Ltd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newtonmetrology.com/EvaluatorFlyer.html>.*

5. "Background and motivation -- Software for uncertainty calculations". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dti.dk/tcm/13644>. (Демо-версия: <http://www.metrodata.de>).

6. Новиков В.В., Коцюба А.Н. Автоматизация процесса вычисления оценок неопределенности измерений. // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2006. – Вип. 7 (56). – С. 59-61.

7. Водотыка С.В., Захаров И.П. Программное средство для расчета неопределенности измерений // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС. – 2007. – Вип. 6 (64). – С. 41-43.

8. Захаров И.П., Сергиенко М.П., Величко О.Н., Чепела В.Н. Методика оценивания неопределенности измерений при выполнении метрологических работ // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС. – 2006. – Вип. 7 (56). – С. 32-36.

9. ДСТУ 3989-2000. Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів.

10. ДСТУ ISO/IEC 17025-2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. – К.: Держстандарт України, 2001.

Поступила в редколлегию 31.03.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Олійник А.Є.

Наведено опис програмного засобу для оцінювання невизначеності вимірювань, що реалізує як стандартний алгоритм, так і альтернативні підходи до розрахунку невизначеності, структурований за різновидами метрологічних робіт. Програмний засіб розробляється в рамках постійної метрологічної теми і розробка буде завершена до кінця 2008 року. Подальші удосконалення будуть зроблені в частині міжлабораторних звірень і методів, які використовуються в частині дослідницького оцінювання невизначеності вимірювань. Всі функціональні можливості програмного засобу спираються на нормативно-методичні документи.

Ключові слова: невизначеність, вимірювання, оцінювання невизначеності вимірювань, численні методи, автоматизація, програмний засіб.

THE SOFTWARE TOOL FOR THE ESTIMATION OF THE MEASUREMENT UNCERTAINTY

Olijnyk A.E.

The software tool for the estimation of the measurement uncertainty, that performs both the standard algorithm and alternative approaches to an uncertainty estimation, is described. It is structured by the types of metrological works. A programmatic mean is developed within the framework of permanent metrological theme and development will be completed to the end of 2008. Further improvements will be done in part of laboratory collations and methods which are used in part of research evaluation of vagueness of measurings. All functional possibilities of programmatic mean lean against normatively-methodical documents.

Keywords: uncertainty, measurings, evaluation of uncertainty of measurings, numeral methods, automation, programmatic mean.