

УДК 006.86 (045)

Л.А. Кошевая

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ И ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ

Приведена структурно-логическая схема возникновения неопределенности результатов испытаний на различных этапах их проведения. Показано, что при оценке суммарной неопределенности результатов испытаний необходимо учитывать особенности этих этапов. Поскольку при испытаниях, как правило, не известна функциональная связь между составляющими процесса испытаний, необходимо, в зависимости от вида решаемых при испытаниях задач, реализовывать соответствующие подходы в оценке неопределенности результатов. Отмечено, что уменьшение неопределенности результатов испытаний требует комплексного подхода.

**Ключевые слова:** испытания, неопределенность результатов, объект испытаний, условия испытаний, методика, стандартный образец.

### Введение

**Постановка проблемы.** Поскольку при проведении испытаний одновременно присутствуют интересы заказчика и поставщика, то особый интерес вызывает сопоставимость результатов испытаний, то есть обеспечение возможности их принятия, как заказчиком, так и поставщиком. При этом точность и/или достоверность результатов в значительной степени определяется выбором модели и ее параметров, измеряемых в процессе испытаний, выбором метода (методики) проведения испытаний, состоянием средств испытаний, квалификацией персонала, условиями проведения испытаний и т.п.

При проведении испытаний сложно учесть все аспекты возможных влияний составляющих данного процесса, а также их совместное влияние на точность результатов испытаний и достоверность принимаемых решений. Поэтому результаты будут иметь некоторую неопределенность, оцененную с заданной вероятностью, как в случае получения количественных оценок, так и при получении неколичественных результатов, например, при контрольных испытаниях, где вероятностные меры характеризуются достоверностью суждения. При этом задачу уменьшения неопределенности результатов испытаний необходимо решать комплексно с учетом взаимного влияния составляющих процесса того или иного вида испытаний.

**Цель статьи.** Показать, что измерения в качестве элемента испытательного процесса участвуют не только при получении информации о состоянии испытуемого объекта, но и при задании и контроле режимов испытаний, контроле внешних условий, при оценке состояния испытательного оборудования, проверке средств измерительной техники. Поэтому необходимо выделять измерительные задачи при испытаниях, исследовать их влияние на неопределенность результата испытаний, что даст возможность применять соответствующие меры по уменьшению неопределенности результата испытания.

### Основной материал

При испытаниях с точки зрения получаемых результатов можно выделить следующие процедуры: определение значений показателей качества продукции (определяющие испытания); определение свойств продукции (исследовательские испытания); оценка соответствия качества продукции установленным требованиям (контрольные испытания); оценка уровня качества и технического уровня продукции (сертификационные испытания).

При этом каждая из испытательных процедур сопровождается неопределенностью, источники возникновения которой можно выявить, исходя из обобщенной структурно-логической схемы возникновения неопределенности на различных этапах испытаний, представленной на рис. 1.

**Особенности оценивания.** 1. В процессе испытаний на объект испытаний (ОИ) оказывают влияние:

– условия испытаний, которые включают в себя внешние воздействующие факторы как естественные, так и искусственно создаваемые, а также внутренние воздействия, вызываемые функционированием объекта, режимы функционирования объекта, способы и место его установки, монтажа, крепления, скорость перемещения и т.п. [1], реализуемые с неопределенностями  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ ;

– неконтролируемые и неуправляемые внешние воздействия (ВВ), вносящие неопределенность  $\Delta_3$ . Состояние испытуемого объекта характеризуется некоторым вектором  $Y$ , являющимся функционалом условий испытаний (параметров режимов работы объекта и внешних условий)

Если результатом испытания является суждение о качественном его изменении, то в этом случае представляет интерес лишь факт – изменилось или нет состояние объекта при заданных условиях испытаний. Здесь метрологической задачей является точное задание и поддержание условий в соответствии с предписанными на значения параметров этих

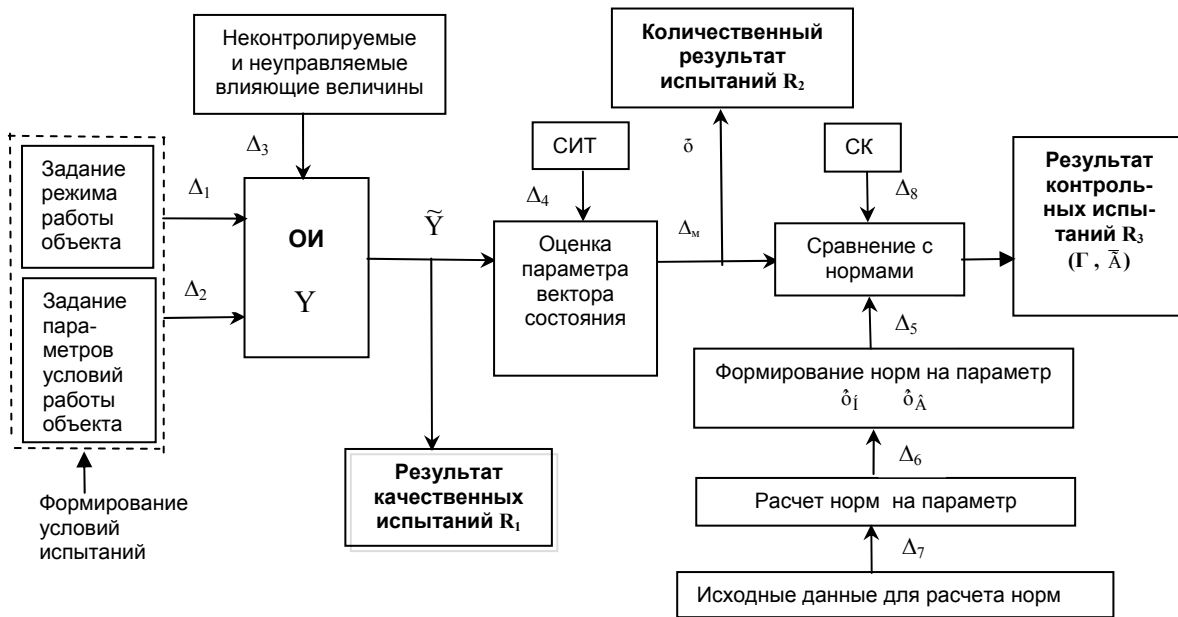


Рис. 1. Структурно-логическая схема возникновения неопределенности результата испытаний

условий нормами, которые формируют вектор испытательного воздействия на объект.

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (1)$$

Качественную оценку свойства объекта  $R_1$ , например, изменения формы, окраски и т.п. получают путем экспертного оценивания органолептическим или визуальным методами по реакции объекта на воздействия условий испытаний, а также внешних неконтролируемых факторов. В этом случае неопределенность качественной оценки будет

$$\Delta R_1 = \hat{O}_1 (\Delta_1 * \Delta_2 * \Delta_3).$$

2. Если изменения состояния объекта оцениваются по *количественным результатам*, то, наряду с точностью измерения (задания) условий испытаний, возникает измерительная задача и по оцениванию значений параметра выходной величины объекта. В этом случае немаловажным является правильное представление о векторе состояния объекта  $Y$ , принимая во внимание, что в большинстве случаев неизвестен вид взаимосвязи условий испытаний с параметрами измеряемой величины объекта, то есть неизвестна точная функциональная зависимость (1). Таким образом, о состоянии объекта судят не по отклонению вектора его состояния  $Y$ , а по значениям информативных параметров его выходной величины и их отклонений.

Исходя из физики процесса измерений, эти параметры являются ортогональными составляющими (проекциями) вектора состояния. Однако при наличии указанной взаимосвязи представление вектора состояния объекта в виде независимых ортогональных составляющих не адекватно его действительному состоянию. Невозможность исключения или учета влияния взаимосвязи параметров условий испытаний при измерении информативных параметров выходного сигнала в предположении отсутствия влияния этой взаимосвязи приводит к дополнительной методической неопределенности результата измерений  $\Delta_m$ .

Количественную оценку результата определенных (исследовательских) испытаний  $R_2$  получают исходя из значения параметра ОИ  $\delta$  (составляющей вектора состояния  $Y$ ) с помощью средства измерительной техники (СИТ), вносящего неопределенность  $\Delta_4$ .

Таким образом, неопределенность количественной оценки  $R_2$  будет

$$\Delta R_2 = \hat{O}_2 (\Delta_1 * \Delta_2 * \Delta_3 * \Delta_4 * \Delta_1).$$

3. При проведении контрольных испытаний происходит сравнение оценки параметра  $\delta$  с помощью средства контроля (СК), вносящего неопределенность  $\Delta_8$  и сформированных с неопределенностью  $\Delta_5$  норм на параметр  $[\delta_1, \delta_2]$ . Формирование норм на параметр осуществляется путем преобразования расчетных значений норм в физический эквивалент, однородный с полученной оценкой параметра вектора состояния. Расчет норм производится с неопределенностью  $\Delta_6$  на основании исходных данных, имеющих неопределенность  $\Delta_7$ .

Результат  $R_3$  контрольных испытаний показателя качества ОИ будет известен с суммарной неопределенностью

$$\Delta R_3 = \hat{O}_3 (\Delta_1 * \Delta_2 * \Delta_3 * \Delta_4 * \Delta_5 * \Delta_6 * \Delta_7 * \Delta_8 * \Delta_1),$$

которая будет оказывать влияние на формирование решения: «ОИ годен» ( $\Gamma$ ) или «ОИ не годен» ( $\bar{A}$ ). Эти решения будут известны с некоторой достоверностью, характеризующей риск поставщика и риск потребителя.

4. В любом из видов испытаний существуют различные подходы в оценке неопределенности. Так, например, в подходе GUM [2] существует предположение, что модель процесса измерений известна. Из-за ориентации на входные величины этот подход называют восходящим [3]. Принимая во внимание много-

етапность процедуры испытаний, практически отсутствует возможность формирования модельного уравнения, что затрудняет, а иногда делает невозможным использование методики расчета неопределенности, рекомендуемым в [2]. В этом случае целесообразно применять альтернативный подход, базирующийся на том, что точность стандартного метода измерений и получаемых результатов безотносительна к модели процесса измерений и характеризуется прецизионностью и правильностью, полученными при совместном эксперименте [4]. Такой подход в [3] называют нисходящим. На это обращает внимание и [5], в котором для оценки неопределенности рекомендуется использовать не только рекомендации [2], но и [4]. Однако в практике испытательных лабораторий при разработке методик оценивания неопределенности результатов испытаний, этот метод не распространен.

**Пути уменьшения неопределенности результатов испытания.** 1. *Экспериментальная оценка метрологических характеристик (МХ) СИТ в условиях проведения испытаний.* К дополнительной методической неопределенности количественных результатов приводит то, что поверка (калибровка) СИТ проводится в «идеальных» условиях, когда не предполагается наличие взаимосвязи параметров условий, и при этом формируется значение только одной влияющей величины, соответствующее одной из ортогональных составляющих вектора состояния. В то время как при использовании СИТ в составе испытательного оборудования, информацию о свойствах объекта (векторе его состояния) несет многопараметрический сигнал, из которого аппаратным путем выделяется его ортогональная составляющая. Однако, при этом результат измерений будет зависеть и от влияния неинформативных для данного СИТ величин, обусловленных наличием взаимосвязи между параметрами условий испытаний, что не было учтено при проведении поверки (калибровки). Следовательно, с целью уменьшения неопределенности, при испытаниях недостаточно поддерживать МХ СИТ в заданных пределах путем периодического проведения их поверки (калибровки) в нормальных условиях. Необходимо осуществлять поверку (калибровку) СИТ в условиях проведения испытаний, когда присутствует взаимное влияние параметров на результат измерения.

Иными словами, необходимо проводить не только поверку (калибровку) отдельно взятых СИТ, а сквозную аттестацию всей рабочей методики испытаний с учетом возможного влияния взаимосвязи параметров условий испытаний.

Для осуществления такой поверки (калибровки) следует сформировать эталонный сигнал, который бы соответствовал сигналу выходной величины объекта при фактических условиях испытаний. С этой целью необходимо использовать стандартный образец, имеющий аттестованные характеристики и выполняющий роль эталона сигнала, пропорционального вектору выходной величины соответствующего уровня. К такому стандартному образцу достаточно предъявить единственное требование, чтобы харак-

теристики его были стабильны и неизменны во времени. Если же предполагаются испытания с разрушением образца, то для этого случая предусматривается использование группы таких однородных образцов.

2. *Обеспечение метрологической прослеживаемости результатов испытаний.* Результаты испытаний, в отличие от измерений, могут выражаться в любых условных единицах, а не только в узаконенных. Поэтому для результатов испытаний не всегда можно обеспечить метрологическую прослеживаемость, характерную для результатов измерений. Допустимое многообразие единиц, в которых могут выражаться результаты испытаний, требует иного подхода в обеспечении прослеживаемости результатов испытаний, а, как известно, прослеживаемость результатов является гарантией их правильности.

Для результатов испытаний, не имеющих узаконенных единиц возможна ситуация, когда для определенной величины нет международного эталона. Тогда международным соглашением на основании выбранного метода признается в качестве международного эталона – стандартный образец, который служит в международном масштабе основой для присваивания значений другим эталонам рассматриваемой величины.

Например, для медико-биологических исследований единица измерения количества вещества – моль, хоть и является одной из основных единиц СИ, но первичный эталон моля отсутствует. В этом случае прослеживаемость результатов осуществляется путем использования схем соподчинения методов и СИТ, которые необходимы для передачи на каждом уровне величин, характеризующих состав и свойства веществ. Они базируются на использовании стандартных образцов, в которых гарантированы аттестованные характеристики. При этом в основу цепочки прослеживаемости положен первичный метод анализа, обладающий наивысшими метрологическими характеристиками. Операции его полностью описываются, и результаты, полученные по этому методу, принимаются в качестве опорных. По возможности, прослеживаемость должна быть обеспечена до единицы СИ, которая возглавляет иерархию калибровки.

На основе узаконенного первичного метода анализа производится аттестация образцового материала, который является главным материальным средством выявления правильности результатов.

«Привязку» к единице СИ осуществляют путем градуировки СИТ с помощью химически чистого вещества «стандарта», количественные характеристики которого прослеживаются к единице СИ.

3. *Унификация методик испытаний.* Следует отметить особое значение методик проведения испытаний. В частности, при медико-биологических исследованиях методики предусматривают аналитические процедуры, включающие в себя не только собственно измерение как восприятие информации, но и весьма сложные, зачастую многостадийные процессы выделения/разделения анализируемых компонентов. Один из путей уменьшения неопределенности результатов

испытаний – унификация методик их проведения, предусматривающих единые методы анализа и приводящие документацию в соответствие с общими для всех отраслей испытаний метрологическими правилами.

4. *Метрологическое подтверждение модифицированных систем.* В процедуре контрольных испытаний нормативные пороговые значения играют важнейшую связующую роль между собственно измерением и принятием решения. Так, например, в последнее время при проведении медико-биологических исследований с использованием цифровых анализаторов, исходя из экономических соображений, распространилась практика использования реактивов, калибраторов, контрольных материалов, не предусмотренных изготовителями конкретных анализаторов. Адаптация различных реактивов пагубно сказывается на качестве результатов анализа. При всех стараниях повторить реагент-оригинал, в адаптированных реагентах все равно присутствует некоторая степень несоответствия формуле оригинала, что, в свою очередь, неизвестным образом скажется, например, на качестве реакционной смеси и ее оптической плотности, а значит и на функции преобразования анализатора. Хотя отличие характеристик реагентов и учитывается путем программной перестройки допустимых границ  $[x_i, x_a]$  показателя, но при этом длина допускового интервала  $\lambda = x_a - x_i$  будет представлять собой переменную величину, неопределенность при этом будет увеличиваться, а достоверность принимаемых решений – уменьшаться [6].

Поэтому, с целью уменьшения неопределенности, необходимо проводить метрологическое подтверждение, что в «модифицированной» системе ее МХ находятся в допустимых пределах, при этом методика аттестуется как новая. Это относится к методикам, как с количественной оценкой результата анализа, так и с качественным результатом анализа, например, при использовании тест-систем.

## Выводы

1. Пути уменьшения неопределенности результатов испытаний, в том числе и медико-биологи-

ческих исследований – это комплекс мер по обеспечению единства измерений параметров испытуемого объекта, параметров воздействующих величин, создаваемых испытательными установками, и параметров окружающей среды.

2. Метрологический уровень испытаний объекта с очевидностью влияет на достоверность результатов испытаний, т.е. является основой обеспечения единства испытаний, позволяющего решать проблему сопоставимости и взаимного признания их результатов независимо от времени и пространства.

3. Только лишь улучшение МХ отдельных функционально-технологических звеньев в лабораторных испытаниях оказывается не достаточным и может еще не привести к уменьшению неопределенности их результатов. В этой связи необходимо отметить проведение унификации и аттестации методик испытаний, разработку и экспертизу документации, а также проведение межлабораторных сличений, участие лабораторий в аккредитации и т.п.

## Список литературы

1. ГОСТ 16504:81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
2. Руководство по выражению неопределенности измерения / Пер.с англ. под ред. В.А. Слава. – СПб.: ВНИИМ им Д.И. Менделеева, 1999. – 126 с.
3. ISO/TS 21748:2004. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation.
4. ГОСТ ISO 5725:2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерения.
5. ГОСТ ISO/IEC 17025:2005. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
6. Володарский Е.Т. Влияние реагентов на достоверность клинических лабораторных исследований / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошева, Е.А. Мишина // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 1. – С. 78-83.

Поступила в редколлегию 21.07.2009

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

## НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ

Л.О. Кошева

Наведена структурно-логічна схема виникнення невизначеності результатів випробувань на різних етапах їх проведення. Показано, що при оцінці сумарної невизначеності результатів випробувань необхідно враховувати особливості цих етапів. Оскільки при випробуваннях, як правило, не відомий функціональний зв'язок між складовими процесу випробувань, необхідно, в залежності від виду вирішуваних при випробуваннях завдань реалізувати відповідні підходи в оцінці невизначеності результатів. Відмічено, що зменшення невизначеності результатів випробувань потребує комплексного підходу.

**Ключові слова:** випробування, невизначеність результатів, об'єкт випробувань, умови випробувань, методика, стандартний зразок.

## UNCERTAINTY OF THE RESULTS OF TESTS. FEATURES AND WAYS TO REDUCE ESTIMATION

L.O. Kosheva

A structural and logical scheme of the uncertainty of the test results at various stages of implementation. It has been shown that when assessing the combined uncertainty of the test results must take into account the features of these stages. Since the tests are generally not known for a functional connection between the components of the tests required, depending on the type of problems solved in the tests, implement appropriate approaches in the evaluation of uncertainty of results. It is noted that the reduction of uncertainty of test results requires a comprehensive approach.

**Keywords:** testing, the uncertainty of results, test, test conditions, method, standard sample.