



Рисунок 2. Кривые изменения токов КЗ витков ААГ:
1 – привод с «жесткой» характеристикой; 2 – привод с «мягкой» характеристикой

Из данных эксперимента видно, что вне зависимости от вида привода ток в замкнутых витках уменьшается при их увеличении. Уменьшение тока при малом числе замкнувшихся витков обусловлено влиянием сопротивления проводника закорачивающего витки.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при наличии в статорной обмотке автономного асинхронного генератора 3 – 15 % короткозамкнутых витков он не теряет возбуждения и продолжает питать нагрузку. При этом ток в КЗ витках превышает номинальный в 4 – 7 раз. Поэтому для асинхронных генераторов для безопасной эксплуатации асинхронных генераторов в гибридных энергоустановках, они должны иметь надежную защиту от различных неисправностей, возникающих в их обмотках.

В настоящее время имеется возможность использования устройств защиты реагирующих на несимметрию магнитного поля внутри генератора в случае виткового КЗ в статорной обмотке (при размещении кольца, охваченного ферромагнитным сердечником, внутри электрической машины).

Возможно построение других защит, например, реагирующих на вибрацию корпуса генератора в случае повреждения обмотки статора или роторной обмотки. В качестве чувствительного устройства защиты, позволяющего определять и витковые замыкания обмоток статора автономного асинхронного генератора, имеется возможность использовать устройство, основанное на использовании вибродатчика, который крепится на корпусе генератора.

Список литературы

1. Богдан А.В. Обнаружение виткового замыкания в обмотке статора асинхронного генератора / А.В. Богдан, А.Н. Соболев, Н.С. Баракин // Сельский механизатор, 2018. – № 7-8. - С. 44 – 45.
2. Богдан А.В. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора / А.В. Богдан, А.Н. Соболев // Известия вузов. Электромеханика, 2017. – № 6. - С. 72-76.
3. Богдан А.В. Математическая модель самовозбуждения автономного асинхронного генератора / А.В. Богдан, А.Н. Соболев // Известия вузов. Электромеханика, 2012. – № 2. - С. 47-50.

АНАЛИЗ ПРОТИВОРЕЧИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКУЮ МЕТРОЛОГИЮ

Малецкая О.Е.

Украинская инженерно-педагогическая академия, кандидат технических наук

Сороколат Н.А.

Украинская инженерно-педагогическая академия, аспирантка

Каницкая И.В.

Украинская инженерно-педагогическая академия, аспирантка

ANALYSIS OF CONTRADICTIONS IN THE IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTIES IN PRACTICAL METROLOGY

Maletska O.

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Ph.D. of technical sciences

Sorokolat N.

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, graduate student

Kanytska I.

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, graduate student

Аннотация

Международными документами, в которых содержатся положения по определению достоверности результатов измерений/испытаний, большое внимание уделяется неопределенности измерений. Однако, на сегодняшний день, разработана только концепция оценки неопределенности, принципы и методология оценки неопределенности не достигли должного уровня возможности внедрения в практику. Принятие неопределенности, как оценки качества полученного результата измерений и декларирование возможности оценки достоверности этого результата, требует критериев оценки качества самой неопределенности. Для обеспечения возможности применения неопределенности измерений необходима разработка методологии, которая даст практические методы и методики ее оценки для конкретных метрологических работ.

Abstract

International documents, which contain provisions for determining the reliability of measurement / test results, pay great attention to measurement uncertainty. However, to date, only the concept of uncertainty assessment has been developed, the principles and methodology for assessing uncertainty have not reached the proper level of possibility of implementation in practice. The acceptance of uncertainty as an assessment of the quality of the obtained measurement result and the declaration of the possibility of assessing the reliability of this result requires criteria for assessing the quality of the uncertainty itself. To ensure the possibility of using measurement uncertainty, it is necessary to develop a methodology that will provide practical methods and techniques for its assessment for specific metrological works.

Ключевые слова: измерения, калибровка, методика измерений, метрологические характеристики, неопределенность измерений, средства измерительной техники, эталон.

Keywords: measurements, calibration, measurement technique, metrological characteristics, measurement uncertainty, measuring instruments, standard.

Введение

Международными документами уделяется большое внимание процессу оценки неопределенности измерений, при этом декларируется, что концепция неопределенности измерений изменила современную метрологию. Вопросами неопределенности измерений занимаются как в метрологических организациях, так и в организациях, связанных с аккредитацией лабораторий для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений.

В статье рассматривается вопрос: почему неопределенность измерений не стала панацеей для практиков-метрологов, испытателей и изготовителей различной продукции при обеспечении качества продукции? Для ответа на данный вопрос необходимо проанализировать фактическое состояние дел с процессом расчета неопределенности измерений. Некоторые результаты проведенного анализа приведены в данной статье.

Проведенный анализ различных ситуаций, которые возникли при оценке достоверности результатов измерений/испытаний с учетом значений неопределенностей результатов, дает основание считать, что для устранения противоречия между двумя лабораториями необходимо договариваться по оценке составляющих неопределенности измерений при применении идентичных образцов для проведения измерений или испытаний.

Цель статьи – проанализировать целостность концепции неопределенности измерений как научной теории. Рассмотреть возможности и целесообразность применения неопределенности измерений на практике.

Изложение основного материала

Для калибровочных и испытательных лабораторий основным критерием их компетентности является получение достоверного результата измерений. Достоверность результата достигается выполнением многих требований, среди которых выбор и

обеспечение выполнения рабочих характеристик методик.

Международными документами, в которых содержатся положения по определению достоверности результатов измерений/испытаний, большое внимание уделяется неопределенности измерений. Во многих из них, в частности в OIML G 19 [1] устанавливается, что «концепция неопределенности измерений», представленная в GUM (ISO/IEC Guide 98-1:2009 [2]), значительно изменила современную метрологию. Применение неопределенности измерений необходимо для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений. В ISO / IEC Guide 99:2007 (VIM) [3] используются ссылки на GUM (ISO/IEC Guide 98-3: 2008 [4]) как на документы, признанные практиками – метрологами в прикладной метрологии. Однако, для разработки и внедрения в практику теории неопределенности измерений одной теории недостаточно.

Концепция представляет собой комплекс взглядов на что-либо, связанных между собой и образующих взаимосвязанную систему. Концепция должна поддерживаться соответствующими принципами и методологией. Особенности реализации концепции неопределенности измерений требуют тщательно разработанных принципов и методик. Отсутствие принципов и методик оценки неопределенности в конкретных случаях приводит к существенным ошибкам и сводит на нуль усилия специалистов по расчету значения неопределенности. Кроме того, отсутствие допустимых значений и стандартных методик для измерения конкретных величин приводит к бесцельности приложенных усилий, потому что не существует критериев принятия решения о приемлемости полученного результата.

В [3] неопределенность измерения определена как «неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, которые приписыва-

ются измеряемой величине на основании используемой информации». При этом концепцию оценки неопределенности можно сформулировать как определение параметра количественной оценки качества результата измерения без использования понятия «истинное значение измеряемой величины», который можно применять для решения различных практических задач, связанных с оцениванием результата измерения.

Принципы, как общие положения, которым должны удовлетворять научные предположения для оценки неопределенности, можно сформулировать на основании известного из международных документов алгоритма ее оценивания, суть которого состоит в следующем:

- выбор модели измерения;
- установление влияющих факторов на результат измерения;
- составление уравнения измерения;
- оценивание значений компонентов уравнения;
- оценка неопределенностей по типам А и/или В;
- определение суммарной и расширенной неопределенности.

Но, в данном алгоритме, не хватает еще одного этапа – установление значения расширенной неопределенности, как критерия требуемого качества результата измерения для конкретной практической задачи.

Для того чтобы реализовать каждый из этих этапов, необходима методология, которая будет включать методы и методики, используемые практиками для реализации процесса оценивания неопределенности. Существующая методология представлена только на уровне рекомендаций, например, правила создания уравнения измерений, определения оценок его составляющих, порядок оценивания значения неопределенности и регистрации результатов. Поэтому на современном этапе внедрения в практическую метрологию концепции неопределенности измерений важной задачей является совершенствование методологии в части ее регламентирования в соответствующих стандартных методиках.

Отсутствие основополагающих стандартных методик является проблемой при разработки процесса оценивания неопределенности измерений каждой лабораторией самостоятельно. Это приводит к тому, что измеряя одну и ту же величину по стандартной методике, каждая лаборатория использует разные уравнения измерений, разные подходы к оценке значений стандартных неопределенностей. В результате намеченная концепцией возможность сличения результатов измерений, проведенных в разных лабораториях, не может реализоваться. Таким образом, одной из главных противоречий рассматриваемой концепции является некорректно записанное уравнение измерения.

На практике встречаются уравнения, в которых не выдерживается размерность по компонентам, т.е. не учитываются влияющие факторы с ко-

эффициентами влияния на результат и обеспечивающие одинаковую с результатом размерность значения. Это не только недостаточная компетентность специалиста, но и сложность установления коэффициента влияния.

При оценивании значений компонентов уравнений в международных документах, например в ЕА 4/02 [5], дается «вольность» в установлении значений, как самих компонентов, так и неопределенности, которую они вносят. В примере по оценке неопределенности при калибровке гири (приложение S.2 ЕА 4/02) значения таких компонент, как и значения неопределенности, приведены без должного обоснования. Такой «вольный» подход к значениям компонент и их вкладу в неопределенность может привести к появлению параметра, который будет оценивать качество количественной оценки неопределенности, в таком случае процесс подтверждения или оценки качества может продолжаться до бесконечности.

При оценивании неопределенностей по типу А и В допускается ошибки, которые связаны с методологией. Всем понятно, что при измерении с одним независимым наблюдением, неопределенность по типу А определить невозможно. А при двух независимых наблюдениях уже можно, т.к. это уже многократные наблюдения. При этом возникает значительная ошибка обработки такого статистического ряда. То есть необходим какой-то параметр, который будет оценивать качество рассчитанного и учтенного в оценке расширенной неопределенности ее стандартной составляющей по типу А. Необходимость такого параметра можно избежать, имея стандартную методику оценивания стандартной неопределенности по типу А.

Такая же ситуация и с расчетом стандартной неопределенности по типу В. Необходимо четко определиться: какие влияющие факторы учитывать; как оценить их влияние на результат измерения; какой закон распределения необходимо использовать, иначе сложно принять значение неопределенности для решения практических задач.

Для решения практических задач по оценке неопределенности при конкретных измерениях должны быть конкретные рекомендации, в которых регламентировано пошаговое оценивание. В противном случае инженер, функции которого решать практические задачи, должен быть высококвалифицированным научным сотрудником.

Одной из важнейших задач по оценке неопределенности, кроме методических разработок, является разработка методологии оценки необходимой целевой неопределенности - максимальной допускаемой неопределенности для оценки достоверности и приемлемости полученного результата измерения.

На сегодняшний день предприятия и лаборатории отдают средства измерительной техники (СИТ) на калибровку в аккредитованную калибровочную лабораторию, понимая, что неопределенность при калибровке - это не метрологическая характеристика СИТ, а качество работы калибровочной лабо-

ратории. Критерием качества работы калибровочной лаборатории является значение наилучшей калибровочной возможности лаборатории, указанное в аттестате аккредитации. Возникает вопрос – как может предприятие доверять калибровать СИТ лаборатории, у которой значение наилучшей калибровочной возможности равно или превышает значение максимальной допускаемой погрешности СИТ. Т.е. при калибровке в такой лаборатории СИТ будет заведомо непригодно к эксплуатации по критерию «главным риском получения недостоверного результата измерения является превышение СИТ его максимальной допускаемой погрешности».

В сертификате калибровки, пренебрегая погрешностью, как основной метрологической характеристикой СИТ, указывается отклонение. Значение этого отклонения указывается как среднее значение отклонений из результатов проведенных экспериментальных исследований при сличении показаний СИТ со значением величины, реализуемой эталоном, что является характеристикой систематической погрешности СИТ.

Опытные специалисты, работающие в калибровочной лаборатории и владеющие методологией оценивания погрешности измерений, как правило, определяют не просто отклонение, а максимальное значение отклонения, которое содержит и случайную и систематическую составляющие погрешности СИТ. И этим значением могут руководствоваться пользователи СИТ при проведении его метрологического подтверждения соответствия требованиям измерительной задаче. Пользователь СИТ может на практике использовать отклонение, установленное при калибровке, как систематическая погрешность, если СИТ – мера или программно-техническое средство. То есть в случае пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности, что не характерно для аналоговых стрелочных и цифровых приборов.

Оценка неопределенности при калибровке в основном проводится по нестандартным методикам, в которых основным противоречием является принятие повторяемости результатов измерения СИТ как случайной составляющей его погрешности. Каждое показание результата измерения СИТ содержит в себе случайную и систематическую составляющие погрешности, которые определяются по сравнению с показаниями эталона с учетом метрологического запаса по точности. Случайная составляющая погрешности СИТ, также как и его повторяемость, оцениваются среднеквадратическим отклонением, которые разнятся с определенной дисперсией.

Для оценки случайной составляющей при обработке статистического ряда наблюдений, полученного из отклонений показаний СИТ от эталонного значения, рассчитывается экспериментальное среднеквадратическое отклонение одного показания. А при оценке повторяемости рассчитывается экспериментальное среднеквадратическое отклонение среднего значения результатов полученных при измерении СИТ одной и той же величины в условиях повторяемости.

Суть противоречия в том, что среднеквадратическое отклонение случайной составляющей всегда больше по сравнению со среднеквадратическим отклонением повторяемости, так как не учитывается количество независимых наблюдений, случайная составляющая погрешности входит в значение максимальной допускаемой погрешности, а повторяемость является отдельной характеристикой СИТ, которая должна быть пренебрежимо мала по сравнению максимальной допускаемой погрешностью.

Метод расчета неопределенности при измерениях и при калибровке СИТ, предложенный в международных документах (GUM [2], EA 4/02 [5] и др.), дает завышенный результат за счет повторного учета влияющих факторов. Например, в результате измерения уже учтено изменение температуры, или неправильное расположение груза на платформе весов, или излишнее усилие зажима губок штангенциркуля, но при оценке неопределенности эти влияющие факторы еще раз учитывают.

В OIML G 19 упоминается практика проведения поверки СИТ, когда неопределенность не рассчитывалась, но достоверность результата поверки обеспечивалась выбором эталона и соблюдением условий проведения экспериментальных исследований. В этом документе рекомендуется, что значение неопределенности должно быть незначительным, и упоминается запас по точности между метрологическими характеристиками эталона и поверяемого СИТ. В [6] установлено, что для эталона должны быть установлены величина, номинальное значение или диапазон измерения, которой воспроизводится эталоном, погрешность или класс точности, неопределенность измерения с указанием информации об ее оценивании.

Оценивание неопределенности эталонов тоже имеет противоречия, так как если воспринимать новое определение эталона, приведенное в [3], то эталон не рассматривается как СИТ. Но эталоны, прежде всего, являются техническими средствами, применяемые при измерениях в процессах оценки соответствия, поверки, калибровки по ним других СИТ. В [6] установлено, что для эталона должны быть установлены величина, номинальное значение или диапазон измерения, которое воспроизводится эталоном, погрешность или класс точности, и неопределенность измерения с указанием информации об ее оценивании.

Отказ от рассмотрения эталона как СИТ, особенно для рабочих эталонов, может привести к нарушению единства измерений на предприятия, выпуску некачественной и неконкурентоспособной продукции. Сравнение неопределенности эталона с максимальной допускаемой погрешностью СИТ, контролируемого с помощью этого эталона, свидетельствует о непонимании разности между неопределенностью и погрешностью, и приводит к сравнению совершенно разных по физической природе понятий.

При выборе эталона с большой погрешностью, нестабильного, но калиброванного с небольшой неопределенностью, нельзя достоверно откалибровать СИТ с меньшей погрешностью, чем у эталона.

Поэтому нельзя признавать правильным критерием приемлемости эталона для поверки, калибровки СИТ соотношение между неопределенностью и погрешностью.

По теории допускового контроля классическое соотношение погрешности СИТ, применяемого для контроля допуска на контролируемый параметр, принималось один к трем. И правильность такого подхода к выбору подтверждена практикой. Сравнить неопределенность СИТ с допуском на контролируемый параметр недопустимо из-за разной природы понятий допуск и неопределенность. Можно установить с какой неопределенностью был проконтролирован допуск, но это будет иметь смысл только в случае установления значения максимальной допускаемой неопределенности для контроля конкретного допуска и расчета этой неопределенности по установленной методике.

При проверке испытательного оборудования, которое не дает результата измерения (холодильники, сита, печи, водяные бани, калибры и т.д.) нет возможности их калибровать, потому что калибровка предполагает сравнение показаний с эталонным значением. Проверка испытательного оборудования проводится с помощью рабочих СИТ, а не эталонов. Термин «проверка» для них соответствует проверке их технических характеристик требованиям, установленным в их эксплуатационных документах или методиках калибровки и измерений, в которых предполагается использование этого испытательного оборудования.

В ISO 17025:2017 [7] установлено, что калибровочная и испытательная лаборатории должны оценивать неопределенность измерения, но изменились акценты по сравнению с предыдущими редакциями этого стандарта. В подразделе для измерительного оборудования в качестве метрологической характеристики указана точность, т.е. погрешность СИТ. В подразделе 7.2 при выборе и разработке методик измерений значительно расширен перечень рабочих характеристик. При затруднениях в оценке неопределенности достаточно установить влияющие факторы и их значения, при которых результат измерения будет достоверным.

Критерий выбора рабочих характеристик методик измерений – удовлетворение требований заказчика. Заказчик не будет удовлетворен приписанной к результату измерения неопределенности, пока он не будет знать, при каком значении неопределенности полученный результат измерения будет ему приемлем. Значит должна быть известна удовлетворяющая заказчика максимальная допускаемая неопределенность и методика, по которой уста-

навливается значение неопределенности результата, для сравнения полученной неопределенности в лаборатории с максимальной допускаемой неопределенностью.

Выводы

Проведен анализ концепции неопределенности измерений как научной теории и показано неоднозначность ее осуществления для прикладной метрологии, применяя в разных лабораториях.

Показано, что для реализации концепции оценивания неопределенности измерений необходимо устранить имеющиеся недостатки, разработать методики и обучить персонал правильности их использования.

Предлагается установить критерии выбора или установления максимальной допускаемой неопределенности для результатов конкретных измерений, что, в свою очередь, влечет за собой разработку критериев правильности ее установления.

Список литературы

1. OIML G 19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology [Электронный документ]. URL: http://www.coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2017/12/7HHG12.pdf.
2. ISO/IEC Guide 98-1:2009 Uncertainty of measurement — Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement [Электронный документ]. URL: https://webstore.iec.ch/view/info_isoiecguide98-1%7Bed1.0%7Den.pdf.
3. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology. – Basic and general concepts and associated terms [Электронный документ]. URL: <https://docplayer.ru/54947474-Iso-iec-guide-99-2007-e-r.html>.
4. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement [Электронный документ]. URL: [https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20\(1\).pdf](https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20(1).pdf).
5. EA 4/02M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. [Электронный документ]. URL: <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-20-g-rev00-may-2015-rev.pdf>
6. OIML D 8:2008 Метрологія. Еталони. Вибір, визнання, застосування, зберігання та документація [Электронный документ]. URL: <http://D008-e04.pdf>.
7. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories [Электронный документ]. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/66912.html>.