

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.317.382

Арловская  
Людмила Сергеевна

Методики определения метрологических характеристик эталона единицы  
электрической мощности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и  
информационно-измерительные приборы и системы»

Научный руководитель  
Белошицкий Анатолий Павлович  
кандидат технических наук,  
доцент

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие топливно-энергетического комплекса, приборостроения и расширение внутреннего и внешнего энергетических рынков требуют существенного увеличения объемов метрологических работ и повышения точности измерений электрических величин.

Совершенствование методов метрологического обеспечения в энерготехнологии, энергосбережении, в экономии топлива и природных ресурсов, охране окружающей среды являются приоритетными направлениями развития фундаментальных исследований в области энергетики.

Основной целью учета электрической энергии является получение достоверной информации о количестве произведенной, переданной, распределенной и потребленной электрической энергии и мощности на оптовом и розничном рынке.

Электроэнергетика является такой областью экономики, в которой к достоверности измерительной информации, предъявляются очень жесткие требования. Существенная часть измерений, выполняемых при производстве электроэнергии, при расчетах количества потребленной электроэнергии относится, как известно, к сферам государственного метрологического контроля и надзора.

Вследствие сказанного, в последнее время выявилась настоятельная потребность в решении двух чрезвычайно важных для экономики республики задач:

- создание системы метрологического обеспечения разработки, выпуска и эксплуатации высокоточных средств измерений электроэнергетических величин;
- обеспечение международного признания национальных эталонов единиц мощности и энергии и достоверности результатов наших измерений на внешнем энергетическом рынке.

Обе эти задачи решены на основе проведения комплекса теоретических и экспериментальных работ и создания Национального эталона единицы электрической мощности и функционально полной системы передачи размеров единиц к эталонным и рабочим средствам измерений электроэнергетических величин.

Исследование метрологических характеристик Национального эталона единицы электрической мощности обеспечивает поддержание точности измерения электроэнергетических величин и качества метрологического обслуживания в Республике Беларусь в области измерений электрической

мощности и энергии, что очень актуально для внедрения энергосберегающих технологий.

Хранение и применение эталона единицы электрической мощности позволяет обеспечить единство и достоверность измерений в данной области на уровне высшей точности, экономить валюту за метрологический контроль средств измерений за рубежом, участвовать в сличениях на международном уровне.

Целью данной магистерской диссертации является разработка методик определения метрологических характеристик эталона единицы электрической мощности.

Библиотека БГУИР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Электроэнергия – важный фактор основных социально-экономических процессов в современном мире: жизнеобеспечения населения и потребления домохозяйств; производства товаров и услуг; национальной безопасности; охраны окружающей среды.

В последнее время предъявляются более жесткие требования к точности измерения электрических величин, а также обеспечения международного признания размеров величин электрической мощности и энергии. В связи с этим актуальными являются задачи разработки эталонных средств измерения и исследования их метрологических характеристик.

В Белорусском государственном институте метрологии (БелГИМ) создан и используется Национальный эталон единицы электрической мощности, в состав которого входят: источник токов и напряжений Calsource 200; калибратор Fluke 5520A-PQ; калибратор Fluke 6100A; компаратор электрической мощности однофазный K2005; компаратор электрической мощности трехфазный K2006; измеритель Calport 300; измеритель токов и напряжений PWS 3.3; мера электрической мощности RD 33-211.

Национальный эталон единицы электрической мощности – это комплекс средств измерений, обеспечивающий воспроизведение и хранение единицы электрической мощности с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме эталонным средствам измерений.

В настоящий момент в Белорусском государственном институте метрологии проводятся работы по модернизации Национального эталона единицы электрической мощности. В рамках этой модернизации необходимо провести исследования метрологических характеристик эталона, что требует разработки научно обоснованных методик по их определению.

Целью данной магистерской диссертации является разработка методик определения метрологических характеристик эталона единицы электрической мощности. Для достижения этой цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- анализ сферы применения, принцип действия, устройства и метрологических характеристик эталона;
- анализ современных методов и средств измерений электрической мощности в диапазоне промышленной частоты;
- разработка программы и методики метрологической аттестации эталона;
- разработка методики калибровки эталонных средств измерений мощности с использованием эталона;

– экспериментальное исследование метрологических характеристик эталона с использованием разработанных методик.

Новизна работы определяется следующими результатами:

– разработана и обоснована программа и методика метрологической аттестации эталона;

– разработана и обоснована методика калибровки эталонных средств измерений мощности с использованием эталона;

– предложены методики обработки результатов экспериментальных исследований эталона при его метрологической аттестации;

– предложены методики оценки неопределенности измерений при калибровке эталонных ваттметров-счетчиков с использованием эталона.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики могут являться основой для написания методик метрологической аттестации и калибровки конкретных типов эталонных средств измерений электрической мощности.

Результаты работы апробированы на 9-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 20–22 апреля 2016 г.), 52-ой Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25–30 апреля 2016 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** приводятся результаты анализа методов и современных средств измерения электрической мощности в диапазоне промышленной частоты. Существующие в настоящее время методы и средства измерения мощности НЧ диапазона позволяют измерять различные уровни мощности радиоэлектронных средств от долей микроватт до единиц киловатт в широком диапазоне частот и с приемлемыми характеристиками точности. Каждый метод измерения имеет свои преимущества, особенности и недостатки.

Во **второй главе** описываются устройство, состав и принцип действия эталона единицы электрической мощности, а так же приведены его основные метрологические характеристики. Рассмотрена структурная схема эталона.

Национальный эталон единицы электрической мощности – это комплекс средств измерений, обеспечивающий воспроизведение и хранение единицы электрической мощности и значений коэффициента мощности с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме эталонным средствам измерений.

Структурная схема эталона приведена на рисунке 1.

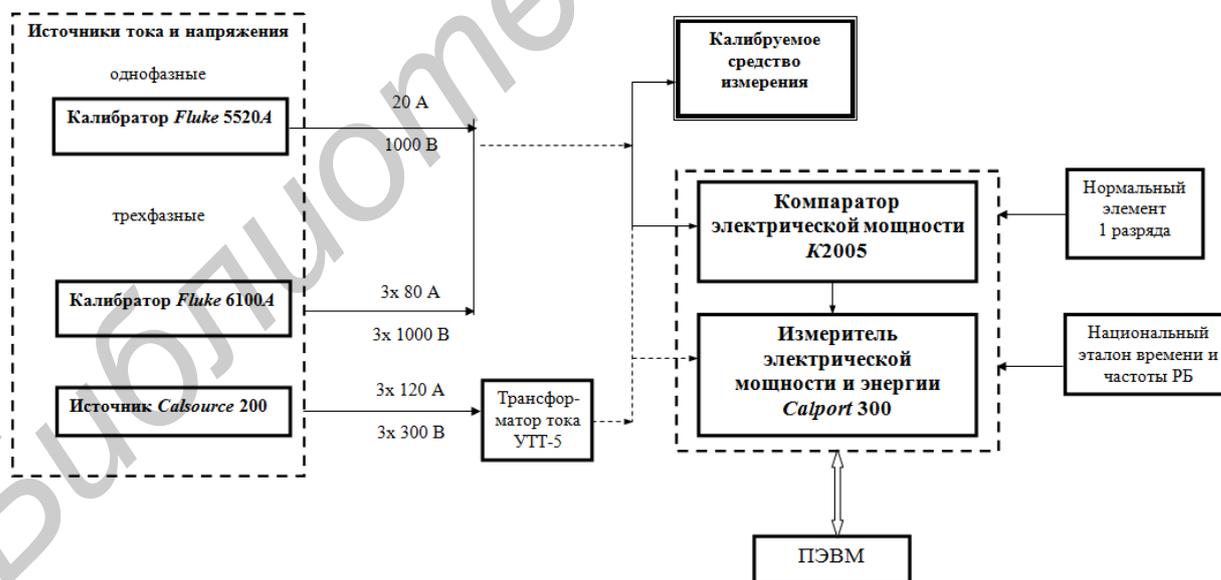


Рисунок 1 – Структурная схема эталона

В Национальном эталоне единицы электрической мощности реализован метод измерения с использованием фиктивной мощности.

На средство измерений мощности, включаемое, как правило, в электрическую цепь между генератором и нагрузкой, в каждый момент

времени воздействует две величины: падение напряжения на нагрузке  $u(t)$  и ток, протекающий через нагрузку  $i(t)$ , а результатом измерения является среднее за период ( $T$ ) значение их произведения:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = UIK_p, \quad (1)$$

где  $U$  и  $I$  – среднеквадратические значения напряжения и тока;  
 $K_p$  – коэффициент мощности.

Таким образом, средство измерений мощности, измеряет не реальную физическую величину – активную мощность в нагрузке, а так называемую проходящую мощность, что приводит к появлению характерных только для средств измерения мощности погрешностей измерений.

Для воспроизведения единицы электрической мощности используются однофазный и трехфазные источники токов и напряжений, с которых требуемое значение мощности подается на калибруемое или поверяемое СИ. Для измерения и сравнения с воспроизводимой мощностью используется высокоточный измеритель и компаратор К2005.

В **третьей главе** описаны разработанные программа и методика метрологической аттестации эталона (ПМА). В этой ПМА установлены методы и средства аттестации эталона, описаны процедуры измерений при определении метрологических характеристик рассматриваемого эталона в режимах измерения и воспроизведения единицы электрической мощности. Для этих режимов приведена методика обработки результатов измерений и оценки погрешности эталона.

В **четвертой главе** приведена разработанная методика калибровки эталонных ваттметров-счетчиков с использованием эталона единицы электрической мощности. Приведены средства калибровки, условия проведения калибровки, а так же описана процедура проведения измерений. В качестве калибруемых параметров выбраны напряжение переменного тока и активная мощность. Для этих режимов приведены схемы калибровки.

Составлена модель измерения напряжения переменного тока, которая имеет следующий вид:

$$U = U_{\text{изм}} + \Delta_{\text{д}} + \Delta U_{\text{к}} + \Delta_{\text{СЕ}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{изм}}$  – измеренное значение напряжения переменного тока, В;

$\Delta_d$  – поправка на дискретность измерения ваттметра-счетчика, В;  
 $\Delta U_k$  – поправка на неточность измерения компаратора, В;  
 $\Delta_{CE}$  – поправка на неточность измерения ваттметра-счетчика, В.

Составлена модель измерения активной мощности, которая имеет следующий вид:

$$P = P_{\text{изм}} + \Delta_d + \Delta P_k + \Delta_{CE}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{изм}}$  – измеренное значение активной мощности, Вт;  
 $\Delta_d$  – поправка на дискретность измерения ваттметра-счетчика, Вт;  
 $\Delta P_k$  – поправка на неточность измерения компаратора, Вт;  
 $\Delta_{CE}$  – поправка на неточность измерения ваттметра-счетчика, Вт.

Для выбранных параметров приведены алгоритмы обработки полученных данных и составлены бюджеты неопределенности.

В **пятой главе** приведены результаты экспериментальных исследований эталона с использованием разработанных методик. Объектами исследования являются средства измерений из состава Национального эталона единицы электрической мощности: компаратор электрической мощности трехфазный К2006 и трехфазный источник фиктивной мощности CALSOURCE 200.

Целью этих исследований является определение метрологических характеристик эталона, компаратора К2006 и исследование стабильности источников, входящих в состав эталона.

Определение метрологических характеристик компаратора К2006 проводилось в трехфазном режиме при измерение напряжения 57,7, 127, 230 В, силы тока 1, 5, 10 А и мощности соответствующей значениям напряжения 57,7 В, силы тока 1 и 5 А,  $\cos \varphi = 1, 0,5$  и,  $0,5$  е.

Исследование стабильности источника Calsource 200 проводилось при значениях напряжения 57,7, 127, 230 В и силы тока 0,05, 1, 5, 10 А.

Результаты, полученные при исследовании метрологических характеристик эталона, позволяют сделать вывод об их соответствии заявленным в технической документации требованиям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современных методов и средств измерений электрической мощности в диапазоне промышленной частоты. Описаны основные характеристики методов и современных средств измерения мощности в рассматриваемом диапазоне.

Проведенный анализ показал, что существующие в настоящее время методы и средства измерения мощности НЧ диапазона позволяют измерять различные уровни мощности радиоэлектронных средств от долей микроватт до единиц киловатт в широком диапазоне частот и с приемлемыми характеристиками точности. Каждый метод измерения имеет свои преимущества, особенности и недостатки.

Рассмотрены устройство, состав и принцип действия эталона единицы электрической мощности, а так же приведены его основные метрологические характеристики. Рассмотрена структурная схема эталона.

Новизна работы определяется следующими результатами:

- разработана и обоснована программа и методика метрологической аттестации эталона;
- разработана и обоснована методика калибровки эталонных средств измерений мощности с использованием эталона;
- предложены методики обработки результатов экспериментальных исследований эталона при его метрологической аттестации;
- предложены методики оценки неопределенности измерений при калибровке эталонных ваттметров-счетчиков с использованием эталона.

С использованием разработанных методик проведены исследования Национального эталона единицы электрической мощности.

Приведена разработанная методика калибровки эталонного ваттметра-счетчика с использованием Национального эталона единицы электрической мощности. Разработана научно обоснованная методика оценивания неопределенности измеряемых параметров прибора.

Разработанная методика калибровки и методика оценивания неопределенности носят универсальный характер и могут быть использованы на практике при калибровке эталонных ваттметров-счетчиков различных типов и обработки измерительной информации, полученной при калибровке.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики могут являться основой для написания методик метрологической аттестации и калибровки конкретных типов эталонных средств измерений электрической мощности.

Результаты работы апробированы на 9-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 20-22 апреля 2016 г.), 52-ой Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2016 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

Библиотека БГУИР

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 Арловская, Л. С. Исследование метрологических характеристик Национального эталона единицы электрической мощности / Арловская Л. С., Белошицкий А. П., Яромлович М. А. // Новые направления развития приборостроения : материалы 9-ой научно-технической конференции молодых ученых и студентов – БНТУ в 2-х ч. Ч. 2 – Минск, 2016 – С.172.

2 Арловская, Л.С. Национальный эталон единицы электрической мощности и основные направления его модернизации / Арловская Л. С., Белошицкий А. П. // Телекоммуникационные системы и сети : материалы 52-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов – Минск, 2016 – С.16–17.

Библиотека БГУИР