

**На правах рукописи**

**Сорокин Алексей Андреевич**

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА  
КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
С КОРРЕКЦИЕЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

**Специальность 05.11.16 – Информационно-измерительные  
и управляющие системы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Уфа 2007**

Работа выполнена на кафедре "Теоретические основы электротехники"  
Уфимского государственного авиационного технического университета  
в ФГУ «ЦСМ Республики Башкортостан»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
Заико Александр Иванович

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор

Фрид Аркадий Исаакович

кандидат технических наук, доцент

Шабанов Виталий Алексеевич

**Ведущая организация:** ООО «Башэнергоучет», г. Уфа

Защита состоится 14 марта 2007 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании  
диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном  
авиационном техническом университете по адресу:  
450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского  
государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан 7 февраля 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор техн. наук, профессор

Г.Н. Утляков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

***Актуальность и перспективность работы.*** Существующие системы учета электроэнергии в энергосистемах не обеспечивают требуемой в условиях рыночных отношений точности учета, так как они создавались преимущественно десятки лет назад, когда электроэнергия не являлась товаром и на точность ее учета не обращалось должного внимания. В настоящее время при измерениях мощности на большинстве энергообъектов не учитывают реальные погрешности компонентов системы, поскольку они, как правило, неизвестны и при расчете результирующей погрешности учета, погрешности компонентов рассматриваются как случайные. В условиях эксплуатации в энергосистемах на характеристики компонентов системы влияют дестабилизирующие факторы, которые могут приводить к увеличению погрешности измерения мощности. На предприятии, где возникла задача повышения точности, относительная погрешность измерения мощности при сложившихся условиях эксплуатации составляла 6.3 %, в то время как допустимая погрешность составляет 1.6 %. Поэтому необходимо повышение точности не менее чем в 4 раза.

Повышения точности можно достичь путем замены существующих измерительных компонентов средствами учета более высокого класса точности, но это требует значительных финансовых затрат. Кроме того, необходимо обеспечение таких средств учета более точными эталонами для периодической поверки. Поэтому возникла задача повышения точности информационно-измерительной системы (ИИС), находящейся в эксплуатации, без замены составляющих ее компонентов, путем введения поправок в результат измерений.

Таким образом, задача совершенствования существующих и создания новых методик учета отпущенной электроэнергии в настоящее время актуальна, имеет важное народно-хозяйственное значение и перспективна в обозримом будущем.

***Цель работы и задачи исследования.*** Целью диссертационной работы является повышение точности учета потребляемой электроэнергии и мощности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести анализ существующих методик и средств учета отпущенной электроэнергии, для выявления и развития наиболее перспективных из них;
2. Разработать математическую модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности;
3. Разработать методику учета отпущенной электроэнергии, позволяющую повысить точность измерений потребляемой мощности путем введения поправок;
4. Разработать ИИС контроля и учета электроэнергии для реализации разработанной методики, не требующую больших финансовых затрат, обладающую возможностью интеграции в существующую структуру учета и соответствующую требованиям нормативной документации;
5. Исследовать и оценить погрешности предлагаемой ИИС контроля и учета электроэнергии, разработать варианты их уменьшения, доказать соответствие характеристик ИИС поставленным требованиям и внедрить полученные результаты в производство и учебный процесс.

***Методы исследования.*** Поставленные задачи в диссертационной работе решаются с использованием теории точности ИИС, математической статистики и программирования, методов математического моделирования и анализа, теории аппроксимации.

***Научная новизна:***

1. Математическая модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности;
2. Методика учета электроэнергии, позволяющая повысить точность измерений потребляемой мощности путем введения поправок;
3. Структура и параметры ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешностей.

***Практическую ценность имеют:***

1. Уменьшение потерь электроэнергии за счет повышения точности учета путем введения поправок, компенсирующих составляющую результирующей погрешности измерения от влияющих факторов;

2. Методика учета электроэнергии, позволяющая повысить точность измерения электроэнергии и мощности;

3. Недорогая ИИС контроля и учета электроэнергии, позволяющая реализовать методику повышения точности и использовать ее в существующих системах.

***На защиту выносятся:***

1. Математическая модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности;

2. Методика учета электроэнергии, позволяющая повысить точность измерений потребляемой мощности как минимум в 4 раза путем введения поправок, компенсирующих систематическую составляющую погрешностей измерений, вызванных влиянием дестабилизирующих факторов;

3. ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешностей измерительных трансформаторов от дестабилизирующих факторов.

***Апробация работы.*** Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на: 7-ой Всероссийской научно-технической конференции «Состояние проблемы измерений» (Москва, 2000 г.); Международной научно-технической конференции «CSIT'2000» (Москва, 2000 г.); Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления и обработки информации» (Уфа, 2001 г.); 2-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Уфа, 2001 г.); 2-м научно-техническом семинаре «Энергоэффективная экономика. Автоматизированные системы учета энергоносителей. Опыт внедрения в РБ» (Уфа, 2002 г.); 3-м научно-техническом семинаре «Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике» (Москва, 2004 г.); Международной научно-технической конференции «Мехатроника, автоматика, управление - 2005» (Уфа, 2005 г.).

***Публикации.*** Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 10 трудах: 1 статья в периодическом журнале, 7 материалов конференций, один патент РФ на полезную модель и регистрация программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, основных результатов и выводов, списка литературы из 104 наименований, содержит 32 рисунка, 9 таблиц и 5 приложений. Общий объем диссертационной работы 183 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* обосновывается актуальность и формулируется цель диссертации, ставятся задачи исследования, приводятся основные положения и результаты, выносимые на защиту, отмечается их актуальность, новизна и практическая значимость.

*В первой главе* определены основные требования, предъявляемые в настоящее время к ИИС контроля и учета электроэнергии. Проводится сопоставительный анализ существующих методов и средств учета. Показано, что существующие ИИС контроля и учета электроэнергии имеют недостатки, которые приводят к недостоверной оценке погрешности измерения потребляемой мощности. Их точностные параметры не отвечают поставленным требованиям в реальных условиях эксплуатации, при наличии дестабилизирующих факторов. При измерениях с использованием измерительных трансформаторов основными факторами, влияющими на погрешность измерения мощности, являются коэффициент мощности и характер нагрузки контролируемого присоединения. На предприятии, где возникла задача повышения точности, относительная погрешность измерения мощности при сложившихся условиях эксплуатации составляла 6.3 %. Допустимая погрешность согласно нормам измерений технологических параметров электростанций и подстанций до 35 кВ составляет 1.6 %. Поэтому необходимо повышение точности не менее чем в 4 раза.

Недостатком существующих методов учета электроэнергии является то, что при создании ИИС контроля и учета электроэнергии на конкретном предприятии не нормируется результирующая погрешность. В нормативных документах приводится ряд требований к каждому компоненту системы. Однако на практике условия эксплуатации средств учета электроэнергии и их техническое состояние не всегда отвечают требованиям, определяемым

нормативными документами. Это приводит к тому, что точностные характеристики таких средств учета выходят за нормируемые пределы и содержат дополнительные погрешности, зависящие от внешних факторов, которые оказываются преобладающими. Отсутствие в ИИС контроля и учета электроэнергии технического устройства или методик, позволяющих учитывать эти погрешности и вносить поправки, снижает точность системы, что приводит к недостоверной оценке потребляемой мощности.

Установлено, что перспективными являются методики и средства учета с коррекцией погрешностей, которым и посвящена данная работа.

В соответствии с выявленными недостатками в рассмотренных методиках и средствах учета, а также в соответствии с поставленными требованиями к ним определяется цель и ставятся задачи исследования.

*Во второй главе* описаны методика учета электроэнергии, позволяющая повысить точность измерений потребляемой мощности путем введения поправок, математическая модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности и ИИС контроля и учета электроэнергии, реализованная на их основе, оригинальность которой подтверждена патентом Российской Федерации.

Разработанная методика содержит последовательность действий:

- исследование зависимости погрешностей измерительных трансформаторов от значений входного сигнала и дестабилизирующих факторов, формирование базы данных исследованных зависимостей;
- постоянное измерение мгновенных значений входного сигнала и дестабилизирующих факторов;
- вычисление значения поправок в соответствии с результатами измерений и полученной зависимости погрешностей измерительных трансформаторов от значений входного сигнала и дестабилизирующих факторов;
- ввод поправок в результат измерения мощности.

Для реализации методики:

- проводятся предварительные исследования точностных характеристик каждого конкретного измерительного трансформатора при различных

значениях входного тока и напряжения, коэффициента мощности и коэффициента нелинейных искажений;

- полученные зависимости аппроксимируются и вносятся в базу данных;

- с помощью отдельного устройства вспомогательных измерений измеряется каждый корректируемый фактор;

- разработано устройство формирования поправок, которое по результатам измерения дестабилизирующих факторов вычисляет значения поправок;

- измерение и коррекция производятся одновременно и непрерывно по различным каналам.

ИИС контроля и учета электроэнергии, реализующая разработанную методику учета электроэнергии, позволяющую повысить точность измерений потребляемой мощности путем введения поправок, изображена на рисунке 1.

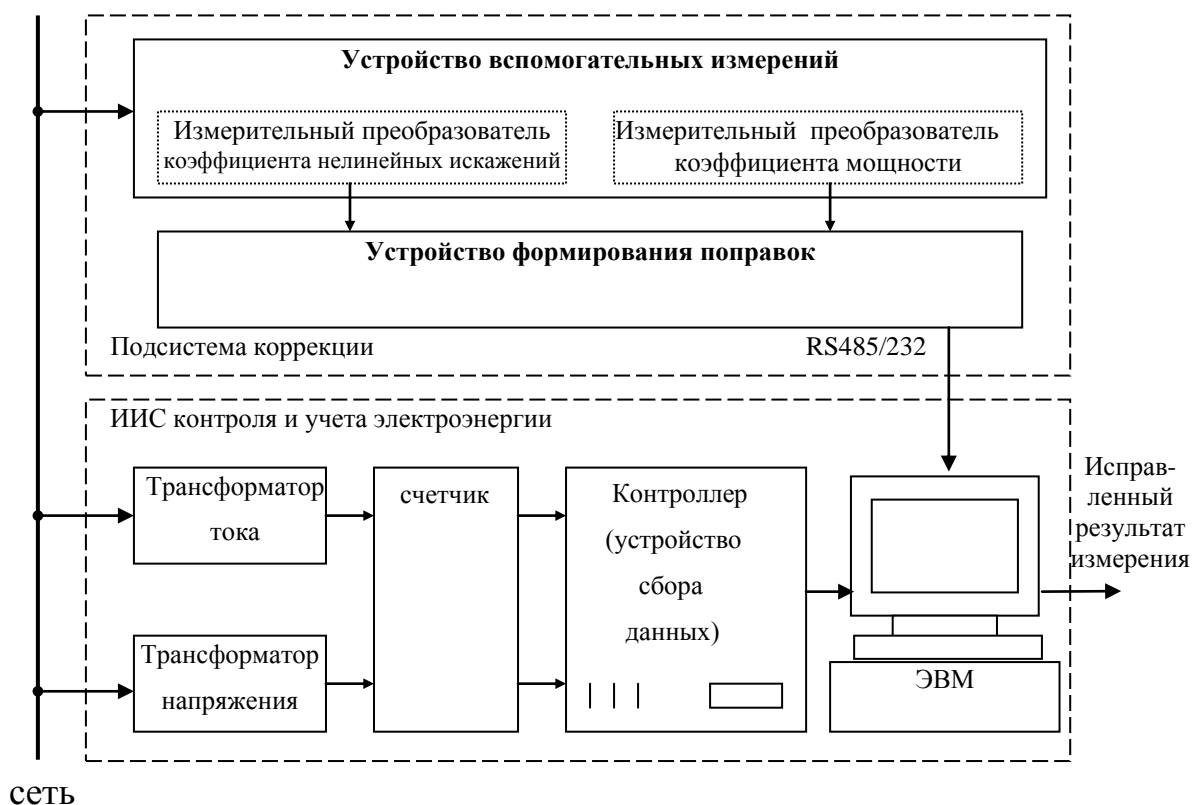


Рисунок 1 - Схема ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешностей



Для реализации ИИС разработана математическая модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности. Математическая модель включает в себя дополнительные погрешности, не регламентированные в технической документации и зависящие от внешних воздействий.

При анализе влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности на ограниченном участке зависимостей погрешностей, применен критерий линеаризации в малом и все зависимости считаются линейными. Полагаем также, что все погрешности независимы.

Тогда абсолютная погрешность измерения мощности

$$\Delta P = \Delta U \cdot \Delta I \cdot \lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент мощности несинусоидального сигнала.

В ситуации, когда имеет место наихудший случай присутствия в анализируемом сигнале высших гармоник и нагрузки, отличной от активной

$$\lambda = \left( \sum_{l=0}^n a_l \Delta i_{\cos\varphi}^l + \sum_{j=0}^m b_j \Delta i_{Knu}^j \right) + \left( \sum_{l=0}^n a_l \Delta u_{\cos\varphi}^l + \sum_{j=0}^m b_j \Delta u_{Knu}^j \right), \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты функций зависимости погрешностей трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН),  $\Delta i$ ,  $\Delta u$  – погрешности ТТ и ТН от дестабилизирующих факторов.

Тогда

$$\Delta P = \Delta U \cdot \Delta I \cdot \left[ \left( \sum_{l=0}^n a_l \Delta i_{\cos\varphi}^l + \sum_{j=0}^m b_j \Delta i_{Knu}^j \right) + \left( \sum_{l=0}^n a_l \Delta u_{\cos\varphi}^l + \sum_{j=0}^m b_j \Delta u_{Knu}^j \right) \right]. \quad (3)$$

Зависимости погрешностей ТТ и ТН от коэффициента мощности и коэффициента нелинейных искажений были получены в результате экспериментальных исследований и подверглись полиномиальной аппроксимации (рисунок 2).

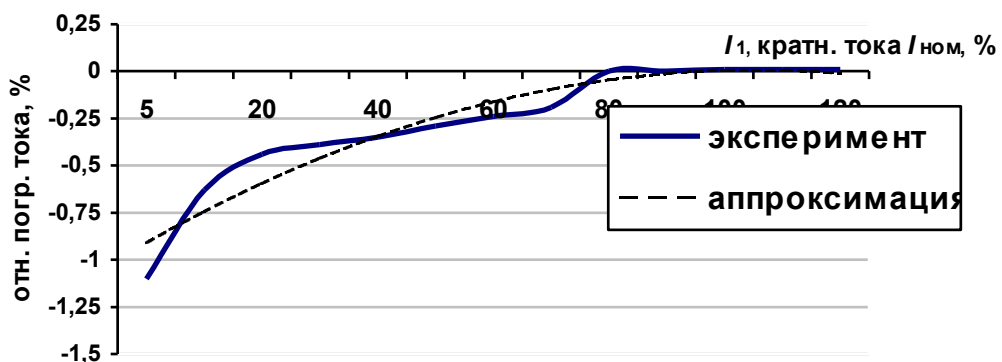


Рисунок 2 - Зависимость погрешности ТТ при коэффициенте мощности 0.8 и ее аппроксимация

Аппроксимация относительной токовой погрешности ТТ при  $\cos \varphi = 0.8$

$$\delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,0083\Delta i^2 + 0,191\Delta i - 1,0915. \quad (4)$$

Аппроксимации зависимостей погрешностей ТТ и ТН от дестабилизирующих факторов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Аппроксимации погрешностей ТТ и ТН от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Аппроксимации абсолютных угловой $\Delta$ , мин и относительных $\delta$ , % погрешностей
ТТ	
Значение $\cos \varphi = 1$	$\delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,0024\Delta i^2 + 0,0673\Delta i - 0,4492$
	$\Delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,1122\Delta i^3 + 2,6914\Delta i^2 - 20,341\Delta i + 79,979$
Значение $\cos \varphi = 0.8$	$\delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,0083\Delta i^2 + 0,191\Delta i - 1,0915$
	$\Delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,0845\Delta i^3 + 2,0112\Delta i^2 - 15,338\Delta i + 50,79$
Значение $\cos \varphi = 0.4$	$\delta_{I_{\cos \varphi}} = -0,0269\Delta i^2 + 0,5223\Delta i - 2,4478$
	$\Delta_{I_{\cos \varphi}} = 0,0268\Delta i^3 - 0,509\Delta i^2 + 3,1965\Delta i - 35,308$
Подмагничивающее напряжение 150 Гц, 0.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = -0,0034\Delta i^2 + 0,0529\Delta i - 0,4073$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,0294\Delta i^2 - 0,7434\Delta i + 7,1455$
Подмагничивающее напряжение 150 Гц, 2.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = 0,0018\Delta i^2 - 0,003\Delta i - 0,4455$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,0611\Delta i^2 - 1,3529\Delta i + 10,699$
Подмагничивающее напряжение 150 Гц, 7.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = 0,0012\Delta i^3 - 0,0247\Delta i^2 + 0,1712\Delta i - 0,7905$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,1418\Delta i^2 - 2,563\Delta i + 15,053$
Подмагничивающее напряжение 450 Гц, 1.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = 0,0005\Delta i^2 + 0,0087\Delta i - 0,3$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,0591\Delta i^2 - 1,0282\Delta i + 7,8236$
Подмагничивающее напряжение 450 Гц, 6.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = 0,0004\Delta i^3 - 0,0086\Delta i^2 + 0,0619\Delta i - 0,4843$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,0653\Delta i^2 - 1,3687\Delta i + 10,692$
Подмагничивающее напряжение 450 Гц, 10.5 В	$\delta_{I_{КНИ}} = -0,0037\Delta i^2 + 0,0723\Delta i - 0,6916$
	$\Delta_{I_{КНИ}} = 0,1485\Delta i^2 - 2,6309\Delta i + 15,201$
Синусоидальный сигнал	$\delta_{I_{КНИ}} = -0,0017\Delta i^2 + 0,031\Delta i - 0,3091$

Продолжение таблицы 1

Условия эксплуатации	Аппроксимации абсолютных угловой $\Delta$ , мин и относительных $\delta$ , % погрешностей
ТН	
Значение $\cos \varphi = 1$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = 0,0175\Delta u^2 - 0,2485\Delta u + 0,5075$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = - 2,866\Delta u + 3,87$
Значение $\cos \varphi = 0.8 C$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = - 0,0175\Delta u^2 - 0,0275\Delta u + 0,4725$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = - 1,1\Delta u^2 - 0,14\Delta u - 0,05$
Значение $\cos \varphi = 0.5 C$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = - 0,0325\Delta u^2 + 0,0375\Delta u + 0,4725$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = -1,375\Delta u^2 + 0,125\Delta u - 0,875$
Значение $\cos \varphi = 0.8 L$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = 0,01\Delta u^2 - 0,208\Delta u + 0,485$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = 0,125\Delta u^2 + 0,725\Delta u + 2,125$
Значение $\cos \varphi = 0.5 L$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = - 0,0175\Delta u^2 - 0,0515\Delta u + 0,3875$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = 0,45\Delta u^2 + 0,53\Delta u + 2,85$
Значение $\cos \varphi = 0.15 L$	$\delta_{U_{\cos \varphi}} = - 0,0225\Delta u^2 + 0,0075\Delta u + 0,3725$
	$\Delta_{U_{\cos \varphi}} = 2,25\Delta u^2 - 4,35\Delta u + 6,75$

Преимущества предлагаемой методики учета и реализующей ее ИИС состоят в следующем:

1) учитываются условия эксплуатации, а также техническое состояние измерительных ТТ и ТН, влияющие на погрешности измерений мощности;

2) уменьшаются погрешности измерений мощности от изменения параметров окружающей среды и влияющих факторов при измерении электроэнергии и мощности;

3) незначительное техническое переоснащение при внедрении в существующие ИИС контроля и учета электроэнергии и малая стоимость дополнительного оборудования.

Эти преимущества позволяют вести учет электроэнергии и мощности с требуемой точностью при изменении рабочих условий с минимальными затратами на переоборудование.

*В третьей главе* проведен анализ подсистемы коррекции предлагаемой ИИС контроля и учета электроэнергии, исследованы основные факторы, влияющие на погрешность коррекции, и получены рекомендации по ее уменьшению.

В результате анализа подсистемы коррекции, где используются вспомогательные измерительные и вычислительные устройства, исследовано несколько факторов влияния на значение погрешности коррекции:

- погрешности элементов подсистемы коррекции;
- динамическая погрешность от характера изменения условий эксплуатации;
- погрешность преобразования аналого-цифрового преобразователя при оцифровке значений напряжения и тока исследуемого сигнала;
- погрешности округления при вычислении поправочных коэффициентов и последующем вычислении по этим значениям результирующей погрешности.

Определено, что наиболее значимый фактор - погрешности элементов подсистемы коррекции. Этот фактор определяет погрешности измерений коэффициента мощности и нелинейности входного сигнала. Поэтому для реализации предложенной методики необходимо использование первичных измерительных преобразователей коэффициента мощности и коэффициента нелинейности с классом точности не хуже 0.1.

*В четвертой главе* описаны экспериментальные исследования влияния на погрешности ТТ и ТН дестабилизирующих факторов, исследования подсистемы коррекции и ИИС контроля и учета электроэнергии до коррекции и после коррекции погрешностей.

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены факторы, случайное изменение которых приводит к погрешности результатов измерения электроэнергии и мощности при их учете. Наибольший вклад в результат измерения мощности вносят изменения первичного тока и коэффициент мощности для ТТ, мощность и характер нагрузки для ТН. Так, при уменьшении коэффициента мощности до 0.4, относительная токовая погрешность ТТ увеличилась на 1.9 %, а абсолютная угловая погрешность изменилась на 92 мин и перешла в область отрицательных значений.

Несинусоидальность входного сигнала оказывает меньшее влияние на погрешности ТТ и ТН. При наличии гармоник 7.5 В, на частоте подмагничивания 150 Гц, относительная токовая погрешность ТТ увеличилась на 0.38 %, а абсолютная угловая погрешность увеличилась на 10.4 мин. Погрешности ТТ и ТН, вызванные изменением температуры окружающей среды, незначительны. При изменении температуры от 1 °С до 55 °С, относительная токовая погрешность ТТ увеличилась на 0.05 %, а абсолютная угловая - на 2 мин при всех значениях номинального тока. Погрешности ТН изменялись в тех же пределах.

В результате проведенных экспериментальных исследований ИИС контроля и учета до коррекции (рисунок 3) и после коррекции погрешностей (рисунок 4) определено достигнутое повышение точности при изменяющихся условиях эксплуатации. До коррекции ИИС контроля и учета электроэнергии не соответствовала требованиям нормативной документации. При коэффициенте мощности 0.4 в области малых значений тока относительная погрешность ИИС составляла 6.3 %. После коррекции относительная погрешность ИИС уменьшилась в 4.2 раза и составляет 1.5 % при допустимой погрешности 1.6 %. При самом критическом режиме работы запас по точности составляет 0.1 %.

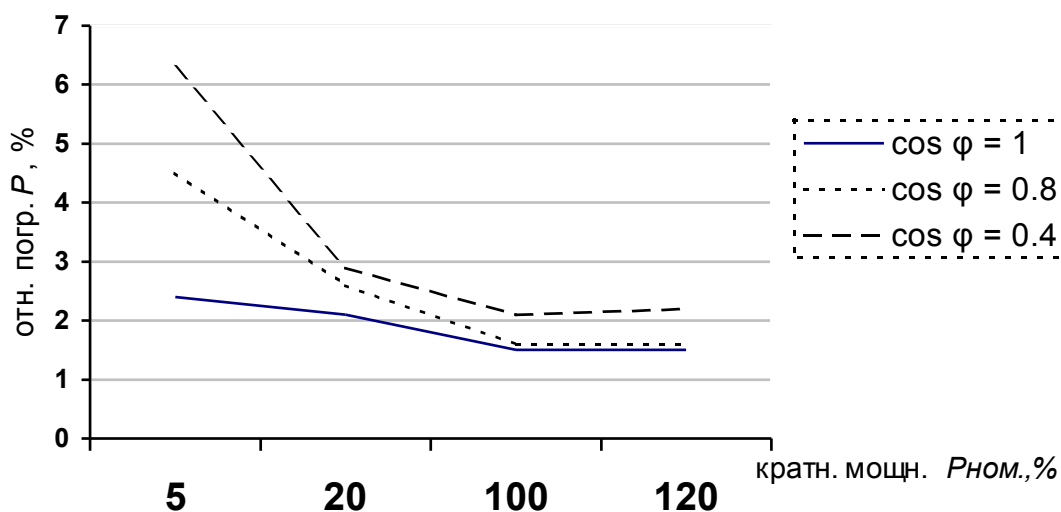


Рисунок 3 - Экспериментальные погрешности измерения мощности до коррекции

В области номинальных значений тока относительная погрешность ИИС уменьшились в 1.6 раза и составляет 1.35 %.

Запас по точности составляет 0.25 %. После коррекции погрешности ИИС в любых условиях эксплуатации не превышают допустимую погрешность 1.6 %.

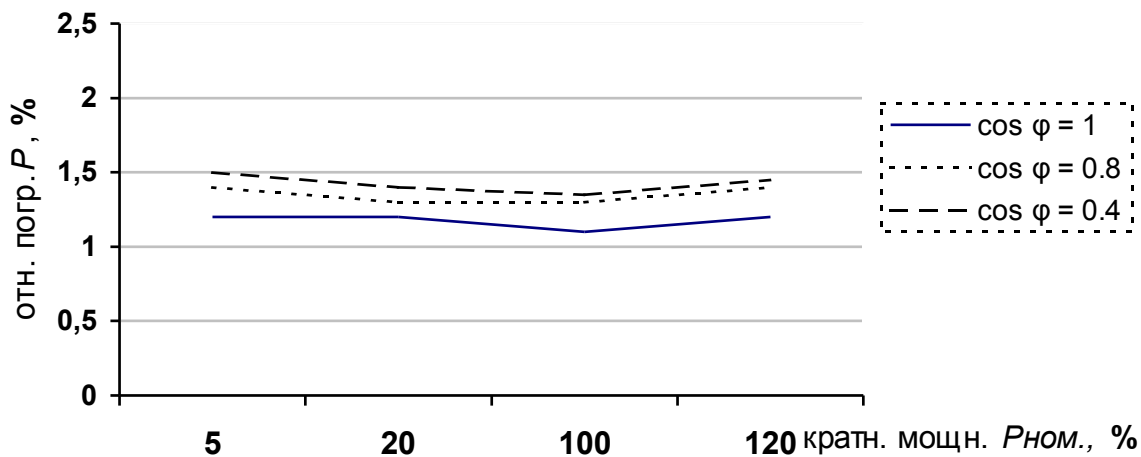


Рисунок 4 - Экспериментальные погрешности измерения мощности после коррекции

Внедрение предлагаемой ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешностей в народное хозяйство и учебный процесс подтверждает практическую значимость результатов диссертационной работы. Экспериментальные исследования и расчеты доказали работоспособность и соответствие системы учета требованиям нормативных документов.

**В приложении А** приводятся протоколы экспериментальных исследований зависимости погрешностей измерительных трансформаторов от значений коэффициента мощности, коэффициента нелинейных искажений и температуры окружающей среды. Приводятся протоколы экспериментальных исследований предлагаемой ИИС контроля и учета электроэнергии;

**В приложении Б** приводится акт внедрения результатов диссертационной работы в ОАО «Туймазинский завод геофизического оборудования и аппаратуры»;

**В приложении В** приводится акт об использовании патента в ОАО «Туймазинский завод геофизического оборудования и аппаратуры»;

**В приложении Г** приводится акт внедрения программы для ЭВМ в ООО «Башэнергоучет»;

**В приложении Д** приводится акт об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе Башкирского представительства Академии стандартизации, метрологии и сертификации (АСМС).

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методик и средств учета электроэнергии показал, что условия эксплуатации средств учета отличаются от условий, при которых нормированы их погрешности. Это приводит к превышению погрешности измерения мощности, в ряде случаев, более чем в 4 раза. Установлено, что перспективными являются методики и средства учета с коррекцией погрешностей.

2. Разработана математическая модель влияния дестабилизирующих факторов на погрешность измерения мощности, позволяющая определить основные операции, требуемые для реализации предлагаемой методики.

3. Предлагается методика учета отпущенной электроэнергии, заключающаяся в коррекции погрешностей учета электроэнергии и мощности путем введения поправок, полученных экспериментально-расчетным методом, позволяющая повысить точность измерений потребляемой мощности, учитывающая условия эксплуатации СИ электроэнергии и их техническое состояние в конкретный момент времени.

4. Предлагаемая ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешности практически осуществляет все операции, необходимые для корректной реализации предложенной методики. Система обладает способностью интеграции в существующую структуру учета электроэнергии. При этом финансовые затраты на предлагаемую ИИС минимальны. Экспериментальные исследования позволили определить характеристики ИИС контроля и учета электроэнергии до коррекции и после коррекции погрешности. Результатом коррекции является уменьшение относительной погрешности измерения мощности в 4.2 раза.

5. Исследования позволили получить рекомендации для определения параметров предлагаемой ИИС. Рассчитаны значения максимальной

погрешности коррекции, зависящей от точности измерения значений дестабилизирующих факторов.

Внедрение результатов работы в промышленность подтверждает практическую значимость и эффективность предлагаемой ИИС. На предприятии, где была внедрена ИИС, оплата за потребляемую электроэнергию сократилась на 13 500 руб. в месяц. Открываются дальнейшие перспективы использования результатов диссертационной работы в создании интеллектуальных датчиков тока и напряжения. Исследование конкретного экземпляра измерительного трансформатора при поверке и внесение характеристик в паспорт и в индивидуальную калибровку датчиков позволит реализовать предлагаемую методику повышения точности на любом объекте учета без замены трансформаторов на более высокий класс точности.

В целом, решение поставленных в работе задач позволило разработать ИИС контроля и учета электроэнергии с коррекцией погрешностей от влияющих факторов, отвечающую требованиям нормативной документации, что дало возможность решить поставленные задачи и достигнуть цели диссертационной работы.

#### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Установка для поверки инклинометров УПИ-2 / Р.И. Алимбеков, Ю.Г. Баймуратов, А.И. Заико, А.А. Сорокин // Измерительная техника. – 2002. – № 11. – С. 23 - 24.
2. Информационные процессы учета электроэнергии на предприятиях Республики Башкортостан / А.И. Заико, А.А. Сорокин // CSIT'2000: материалы междунар. НТК.–М.: МАИ, 2000.– С. 135.
3. Проблемы метрологического обеспечения ИИС учета электроэнергии на предприятиях / Ю.Г. Баймуратов, А.И. Заико, А.А. Сорокин // Состояние проблемы измерений: материалы 7-ой всерос. НТК. – М.: МГТУ, 2000. – С. 225 - 226.
4. Актуальные проблемы метрологического обеспечения систем учета электроэнергии / А.И. Заико, А.А. Сорокин // Энергоэффективная экономика. Автоматизированные системы учета энергоносителей. Опыт внедрения в РБ: материалы 2-го НТС – Уфа: 2002. - С. 249.



5. Проблемы передачи измерительной информации в системе учета электроэнергии «АСКУЭ ФОРЭМ БЭ» / А.И. Заико, С.В. Капишев, А.А. Сорокин // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: Сб. докл. 2-й МНТК. – Уфа: 2002.- С. 143.

6. Проблемы метрологического обеспечения систем учета электроэнергии в РБ / В.В. Жуков, А.И. Заико, А.А. Сорокин // Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике: материалы 4-го всерос. семинара. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – С. 164 - 165.

7. Комплекс измерительно - вычислительный для контроля и учета электроэнергии / А.И. Заико, А.А. Сорокин // Мехатроника. Автоматика. Управление. 2005: материалы междунар. НТК. – Уфа: УГАТУ, 2005.– С. 329.

8. Патент на полезную модель. 45535 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G01 R22/00. Комплекс измерительно-вычислительный для контроля и учета электроэнергии / А.И. Заико, А.А. Сорокин (RU). - № 2004136688/22; заявл. 14.12.04; опубл. 10.05.05; Бюл. №. 13. – 2 с.

9. Программа для расчета погрешности измерения массы нефтепродуктов / А.И. Заико, В.Н. Зелепукин, А.А. Сорокин // Свид-во об официальной рег. программы для ЭВМ № 2006611578; заявл. 27.03.06; зарег. 12.05.06.

10. История развития ИИСКУЭ и современные технологии учета потребляемой электроэнергии / А.А. Сорокин // От мечты к реальности. Научно-техническое творчество создателей авиационно-космической техники: материалы всерос. НПК. –Уфа: УГАТУ, 2006. – С. 113.