

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И.РАЗЗАКОВА  
КЫРГЫЗСКОГО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА

На правах рукописи  
УДК 681.5:621.317

**Асет Асхат**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЦЕПЯХ  
С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек 2011

Работа выполнена в Восточно-Казахстанском Техническом  
Университете им. Д. Серикбаева

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Батырканов Жениш Исакунович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор  
Баймухамедов Малик Файзулович  
Кандидат технических наук, доцент  
Кармышаков Аскарбек Камалдинович

Ведущая организация Кыргызский научно-технический центр по  
(предприятие) энергетике (КНТЦ “Энергия”)

Защита состоится в 16.<sup>00</sup> «25» 11 2011г. На заседании Диссертационного  
совета Д. 05.10.414 при Кыргызском Государственном Техническом  
Университете им. И.Раззакова, и Кыргызско-Российском Славянском  
Университете им. Б.Н. Ельцина, г. Бишкек, 720044 по адресу пр. Мира 66.

С Диссертацией можно ознакомиться в Библиотеке: Кыргызского  
Государственного Технического Университета им. И.Раззакова и Кыргызско-  
Российского Славянского Университета им. Б.Н.Ельцина, г. Бишкек, по адресу  
пр. Мира 66.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011г.

Ученый секретарь диссертационного совета к.т.н.

Самсалиев А.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время, с изменением производственно-экономической ситуации в странах СНГ, изменением структуры рынка электрической мощности, обостряются проблемы учёта электрической энергии и повышаются требования к системам электроснабжения (СЭС) по уровню потерь.

Комплекс мероприятий по снижению непроизводительных потерь электрической энергии включает в себя следующее:

- снижение потерь при генерировании, транспортировании и преобразовании электрической энергии;
- повышение точности измерительных комплексов учёта электрической энергии.

Если первое мероприятие достаточно изучено, и затрагивает проблему модернизации генерирующих, передающих, перерабатывающих мощностей и распределительных сетей, то второе относится к переходу на другой качественный уровень технических средств учёта электрической энергии и их способности выполнять возложенные функции в условиях практической эксплуатации.

В настоящее время перспективы развития электроэнергетики и энергосбережения находятся в зависимости от состояния систем контроля и учёта электропотребления. На современном этапе к факторам, определяющим перспективы развития автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии относятся следующие:

1. Принятие государством новой технической политики, предопределяющей необходимость обеспечения техническими и программными средствами этих систем такого качества, которые позволят выполнять возложенные на них сложные задачи контроля, управления и обеспечивать их объединение в большие системы.

2. Жесткие экономические ограничения на создание и эксплуатацию систем автоматизированного контроля и учёта электроэнергии. Разработка АСКУЭ (Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии) и их элементов требует решения ряда научно-методических задач связанных с разработкой универсальных структур баз данных и выбором соответствующего программного обеспечения, снижением затрат на проектирование, ввод в эксплуатацию, обслуживание программных и технических средств, а также с повышением их надёжности.

Проблема роста тарифов на электроэнергию ведет к ужесточению требований к точности её учета. Счётчики электрической энергии нередко эксплуатируются в условиях воздействия факторов, не предусмотренных нормативными документами, и следствием этого является увеличение фактического небаланса потребляемой или преобразованной энергии. Одним из таких факторов являются высшие гармонические составляющие тока и напряжения. Их возникновение обусловлено нелинейностью нагрузки в системах электроснабжения.

В системах электроснабжения с мощной нелинейной нагрузкой возникают значительные искажения форм функций тока и питающего напряжения, а часть мощности передаётся на частотах высших гармоник. К тому же такие системы нередко осуществляют электроснабжение промышленных, сельскохозяйственных и бытовых потребителей, и таким образом возникает влияние мощной нелинейной нагрузки на качество электроэнергии, поставляемой другим потребителям.

Применяемые в настоящее время счетчики электрической энергии разработаны и поверяются исходя из предположения, что содержание высших гармоник напряжения сети не превышает 1% и содержание высших гармоник в токе напряжения сети не превышает 10% содержания основной гармоники. На этом основываются применяемые на счетчиках материалы и алгоритмы учета электроэнергии. Очевидно, что погрешность счетчика в условиях воздействия несинусоидальных токов и напряжений, не предусмотренных конструкцией прибора, будет отличаться от расчетной.

В связи с вышеизложенным, исследование и снижение погрешности при автоматизированном учёта электрической энергии является актуальной задачей.

**Цели и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка способов снижения погрешности прибора учета электрической энергии в условиях воздействия высших гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой. Для достижения указанной цели были поставлены и решены:

1. Разработать аппаратно–методический автоматизированный комплекс для исследования погрешности счетчиков электрической энергии, позволяющий:

- проводить анализ несинусоидальных режимов в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой;
- моделировать несинусоидальные режимы работы в измерительных целях учета;
- тестировать счетчики и проводить анализ погрешности в режимах воздействия комплекса высших гармонических составляющих тока и напряжения, соответствующим условиям реальной сети.

2. Собрать статистическую информацию и проанализировать несинусоидальные режимы работы системы электроснабжения с мощной нелинейной нагрузкой отдельных электроприемников с целью выявления факторов, влияющих на погрешность счетчиков электрической энергии.

3. Исследовать погрешность счётчиков различных типов, вызванную воздействием комплекса высших гармонических составляющих тока и напряжения . Разработать математическую модель погрешности счётчиков.

4. Разработать и обосновать способы снижения погрешности учета электрической энергии, вызванные воздействием несинусоидальных токов и напряжений.

5. Дать технико-экономическую оценку разработанных способов снижения погрешности счетчиков, вызванной воздействием

несинусиодальных токов и напряжений, и выработать рекомендации для производства.

**Научная новизна полученных результатов:**

- Выявлены факторы, существенно влияющие на погрешность счётчиков электрической энергии в условиях реальной эксплуатации от 3, 5 и 7 гармоник.

- Выявлена возможность автоматизированной коррекции показаний счётчиков электрической энергии в процессе эксплуатации на основании расчета погрешности, вызванной воздействием мощностей высших гармоник.

- Показана возможность снижения погрешности счётчиков электрической энергии, вызванной воздействием мощности высших гармоник, путем применения компенсационного фильтра в измерительных цепях учета.

**Практическая значимость полученных результатов:**

- Разработан стенд для исследования погрешностей счетчиков различных типов в условиях несинусиодальных токов и напряжений «Метро-ЭЭ», и разработана методика проведения исследований на этом стенде.

- Предложена методика классификации бытовых электропотребителей по содержанию 5, 7, 9 гармоник в потребляемом токе и фазового сдвига функции тока относительного напряжения, позволяющая производить оценку погрешности счетчика для отдельных потребителей.

- Разработанный стенд «Метро-ЭЭ» позволяет автоматизировано проводить исследования и коррекцию погрешностей счётчиков электрической энергии различных типов, при воздействии высших гармоник.

- Разработана методика определения погрешности для различных типов счётчиков электрической энергии от воздействия высших гармоник.

**Методы исследования.** Для решения поставленных научных задач использовались методы экспертных оценок по определению характеристик нагрузок, методы планирования активного эксперимента, методы кластерного, дисперсионного, корреляционного (моделирование системы учета электрической энергии при несинусиодальных токах и напряжениях) анализов и методы теории автоматического управления. Вычисления и моделирование производились с применением пакетов программ Mathcad, Statistica и др.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

- Исследования о существенном влиянии на погрешность счётчиков электрической энергии мощностей от 3, 5 и 7 гармоник.

- Методика автоматизированной коррекции погрешности счётчиков электрической энергии на основе анализа содержания мощностей высших гармоник.

**Реализация и внедрение результатов.** Разработанный стенд для исследования погрешностей приборов учёта «Метро-ЭЭ» используется в учебном процессе Восточно-Казахстанского государственного технического

университета им Д. Серикбаева на кафедре «Приборостроение и АТП» при проведении занятий и научно-исследовательской работы по дисциплине «Цифровое устройство автоматики».

Разработанный стенд «Метро-ЭЭ» и методика выбора типа счётчиков для работы в условиях воздействия мощностей высших гармоник применяется при эксплуатации электроустановок в АО «ВК РЭК», г. Зайсан Восточно-Казахстанская область.

**Апробация работы.** Материалы исследований докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Роль университетов в создании инновационной экономики» 25-26 сентября 2008 года в г. Усть-Каменогорск; в X Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана» 22-23 апреля 2010 года в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск; на Международной научно-практической конференции «Математическое и компьютерное моделирование экологических процессов и актуальные проблемы современного образования», 20 октября 2010 года г. Тараз, Таразский государственный педагогический институт; на Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании: состояние, проблемы и перспективы» 1-2 июня 2011г. г. Бишкек, КГУСТА им. Н.Исанова.

**Личный вклад соискателя.** Сопостановка проблем исследований, поиск путей их решения, а также приведенные в диссертации научные и практические результаты исследований, их анализ, внедрение и формирование итоговых выводов. Осуществлены лично автором диссертации.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 18 работ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общего заключения, списка используемой литературы из 141 источника. Работа изложена на 159 страницах, включая 52 рисунка и 22 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приведена общая характеристика работы, обоснована её актуальность, приведены основные положения и результаты выносимые на защиту, приводятся научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проведен анализ основных принципов и способов построения современных автоматизированных систем контроля и учёта электрической энергии. Проведен анализ технического, информационного, программного обеспечения АСКУЭ. Приведены структуры сети АСКУЭ на розничном рынке Казахстана. Показано, что эффективность любой АСКУЭ сильно зависит от точности (погрешности) приборов учёта электроэнергии.

Приведена структура рынка электроэнергии по данным АО «Восточно-Казахстанской региональной энерго-компании», рассмотрены вопросы качества и потерь электрической энергии, конструктивные особенности приборов учёта электроэнергии, существующие способы снижения погрешности учёта электрической энергии в условиях воздействия несинусоидального тока и напряжения.

В настоящее время основным способом снижения влияния несинусоидальных режимов на работу счетчиков электрической энергии является применение технических средств, устраняющих или минимизирующих уровень искажения тока и напряжения в силовых цепях системы электроснабжения. Данный способ достаточно эффективен для повышения точности учёта, однако эти мероприятия являются дорогостоящими, и в ряде случаев эффект от снижения погрешности за счёт их проведения не возмещает затраты на внедрение дополнительного оборудования.

Исходя из анализа проблемы, в первой главе сформулированы задачи исследования.

#### **Во второй главе:**

1. Решена задача автоматического регулирования частоты и перетока мощности в отдельной электроэнергетической сети с целью повышения качества и надежности электроснабжения.

Исследована структура электроэнергетической системы с электромеханическим накопителем энергии как объекта регулирования, который позволяет расчленить структуру на подобъекты и выбрать переменные регулирования, обеспечивающие управление частотой и перетоком мощности электроэнергетических систем (ЭЭС) на нижнем иерархическом уровне.

2. Осуществлен синтез быстродействующей системы автоматического регулирования для стабилизации частоты и перетока мощности ЭЭС на основе принципа подчинённого регулирования, который приводит к двумерному контуру регулирования составляющих тока статора асинхронизированной синхронной машины (АСМ) по осям  $\alpha, \beta$ , одномерным контурам скорости АСМ, частоты ЭЭС и перетока мощности ЭЭС.

3. Рассмотрены ограничения, накладываемые на запасы энергии накопителя и на диапазон регулирования скорости асинхронизированной машины при питании обмотки ротора через непосредственного преобразователя частоты (НПЧ), при которых решается задача своевременного распределения нагрузки с накопителя на регулирующий турбоагрегат.

4. Разработана быстродействующая система стабилизации частоты и перетока мощности, которая показана на рис.1.



где  $P_1, P_k$  - мощность первой и  $k$ -й гармоник.

Данная зависимость является уникальной для каждого прибора учёта электрической энергии, зависит от конструкционных особенностей счётчика, разброса параметров элементов и определяется экспериментально. Оценку фактической погрешности счётчика предлагается осуществлять на основании анализа содержания мощностей высших гармоник по алгоритму, изображенному на рисунке 2. На рисунке 3, 4 показаны экспериментальные графики несинусоидальности электрической энергии в сети с нелинейными нагрузками. При выполнении данного алгоритма производится расчёт фактической погрешности счётчика электрической энергии, вызванной воздействием мощности высших гармоник, и на основании этого корректируются его показания. Для устранения влияния мощности высших гармоник на работу счётчика обоснован способ компенсации данной мощности, а так же разработан компенсационный фильтр для измерительных цепей учёта.



Рис.2. Алгоритм расчёта погрешности счётчика, вызванной воздействием мощности высших гармоник

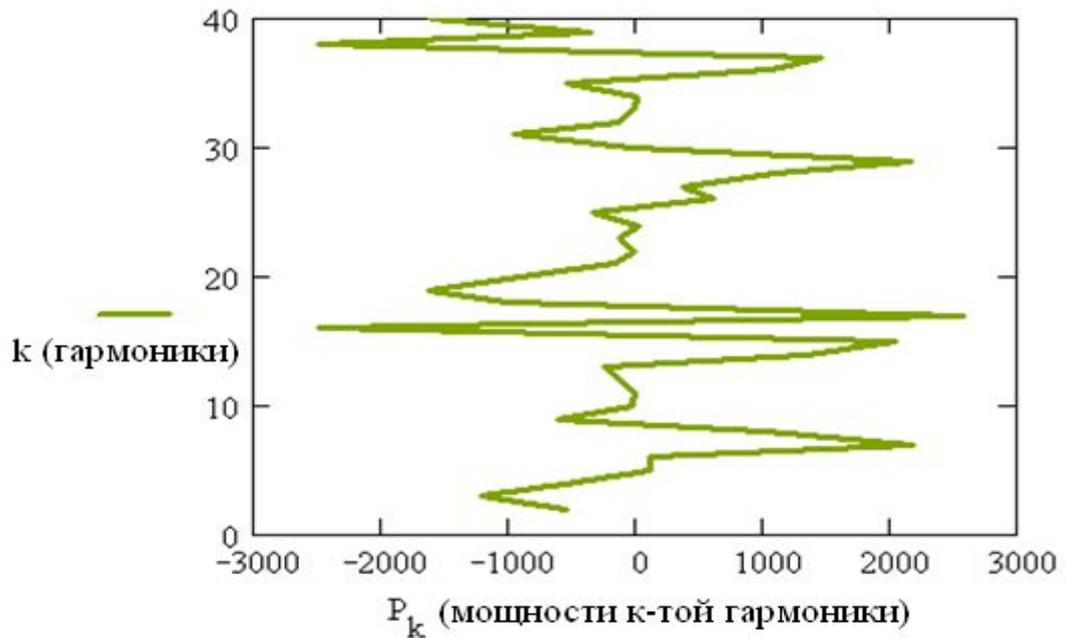


Рис. 3. График мощности  $P$   $k$ -той гармоники

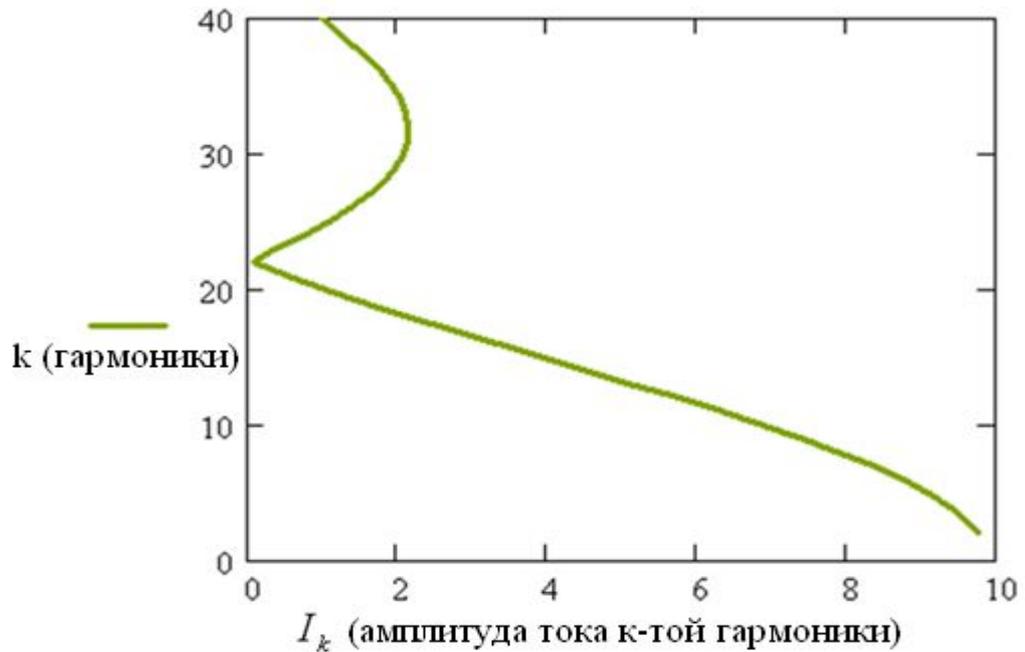


Рис. 4. График амплитуды тока  $k$ -той гармоники

Мощность несинусоидального тока определяется выражением

$$P = P_1 + \sum_{k=2}^{\infty} P_k \quad (3)$$

Для устранения влияния мощности высших гармонических составляющих на счётчик требуется выполнение условия:

$$P = P_1^* \quad (4)$$

где  $P$ -мощность всех гармонических составляющих по (3),

$P_1^*$  - эквивалентная мощность первой гармоники, которая должна подаваться на счётчик.

Отсюда

$$P_1^* - P_1 = \Delta P^* \quad (5)$$

где  $\Delta P^*$  - мощность высших гармоник.

На основании выражения (5) можно выделить величину напряжения на частоте 50Гц, которая суммируется с подаваемым на счётчик электроэнергии сигналом напряжения на частоте основной гармоники:

$$\Delta U_1^* = \frac{\Delta P^*}{I_1 \cdot \cos \varphi_1}, \quad (6)$$

где

$\Delta U_1^*$  – напряжения на частоте основной гармоники

$I_1$  – действующее значение первой гармоники тока относительно первой гармоники напряжения.

Таким образом устраняется влияние мощности высших гармоник на счётчик электрической энергии.

В третьей главе приведено описание разработанного стенда для автоматизированного исследования погрешностей приборов учёта электрической энергии «Метро-ЭЭ» и методика проведения экспериментальной части исследований.

Блок исследования реального объекта содержит модуль согласования сигналов и плату аналого-цифрового преобразования. Модуль согласования сигналов предназначен для масштабного преобразования сигналов тока, потребляемого приемником электрической энергии, и напряжения источника реального объекта с входными параметрами АЦП.

Блок управления представляет собой управляющий компьютер с установленными программными модулями ПМ1-4 (утилиты управления платой сбора данных LA-10USB, пакет программного обеспечения системы РЕТОМ-41М, пакеты программ Matcad Statistica 6). Управляющее устройство обрабатывает данные с АЦП, осуществляет анализ и вырабатывает управляющий сигнал для генератора сигналов.

Имеется блок формирования сигналов. Генератор сигналов формирует сигналы тока и напряжения с заданными параметрами – необходимыми величинами тока и напряжения, их гармоническим составом, фазой каждой гармоники. В цепях генератора сигналов включены счётчики электрической энергии, импульсные выходы которых подключены к счётчикам импульсов, показания с которых передаются в управляющий компьютер. Для тестирования индукционных счётчиков разработана схема оптического ключа, переводящая обороты диска в электрические импульсы.

Технические возможности стенда позволяют:

- проводить исследование характеристик токов и напряжений реальных объектов;
- проводить анализ сигналов цепей учёта с построением виртуальных моделей энергопотребителей;

- проводить статистические исследования сигналов в цепях учёта на действующих энергообъектах;
- моделировать сигналы необходимой формы в цепях учёта и тестирования счётчика электрической энергии;
- поводить анализ полученных данных методами математической статистики.

Методика проведения исследования включает:

- исследование параметров, характеризующих приёмник электрической энергии – спектральный состав потребляемого тока и питающего напряжения, начальные фазовые сдвиги гармонических составляющих тока и напряжения;
- осуществление фазового сдвига функции тока относительно функции напряжения, при исследовании мощностей от высших гармоник;
- моделирование несинусоидальных сигналов тока и напряжения в цепях учёта электрической энергии и тестирование счётчиков электрической энергии, реализующих различные алгоритмы учёта с использованием теории активного эксперимента;
- вычисление статистических характеристик исследуемых выборок параметров тока и напряжения реальных объектов и зависимостей погрешности счётчиков.
- обработку методами кластерного, корреляционного и регрессионного анализа полученных данных с целью:
  - выявления систематических признаков и проведения классификации электропрёмников;
  - получения коэффициентов корреляций погрешности счётчиков и влияющих факторов;
  - разработки регрессионных моделей погрешности счётчиков и влияющих факторов.

Для проведения исследования были выбраны счетчики электрической энергии, основные характеристики которых приведены в таблице 1

Таблица 1 - Характеристика исследуемых счетчиков

№	Тип механизма	Алгоритм учета	Тип счетчика	Класс точности
Счетчик №1	Электронный	Программно управляемый	Saiman	0,2
Счетчик №2	Электронный карт-счётчик	Аппаратный, с жесткой логикой	DDS620	0,5
Счетчик №3	Индукционный	Механический счет оборотов диска	СО-И446М	2

Данный выбор приборов учета основывается на:

- различных конструкционных типах приборов учета и алгоритмах учета;

- адаптации и широкой эксплуатации в электроустановках РК;
- различных классах точности.

Все тестируемые счетчики технически исправны, прошли необходимые метрологические испытания и соответствуют требованиям нормативных документов – ГОСТ-30207-94.

Погрешность исследуемых счётчиков и влияющих факторов установлена в виде полинома второй степени:

$$\delta = b_0 + \sum_{k=2}^n b_k x_k - \sum_{k=2}^n b_{kk} x_k^2 + \sum_{\substack{k=2 \\ m=2}}^n b_{km} x_k x_m \quad (7)$$

где  $\delta$ - погрешность счётчика высших гармоник;

$k, m$ - номера гармоник,

$b_0$ - свободный член полинома,

$b_k, b_{kk}, b_{km}$  – коэффициенты взаимодействия главных эффектов модели,

$x_k$  - мощность  $k$ -й гармонической составляющей в отношении к мощности первой гармоники.

Обработка полученных экспериментальных данных показывает, что на погрешность счётчиков электроэнергии в условиях, соответствующих реальной эксплуатации, оказывают влияние: для электронных – мощности пятой и седьмой гармоник; для индукционных – мощности третьей, пятой и седьмой гармоник. (Рис. 5.)

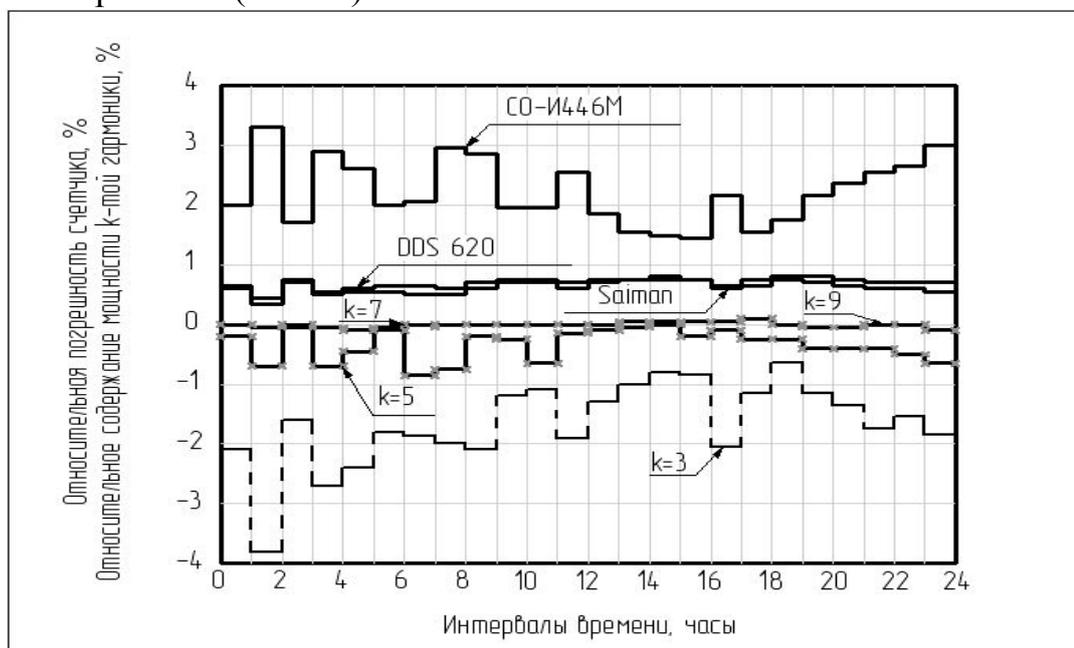


Рис. 5. Совмещенные графики содержания мощности высших гармоник и погрешности исследуемых счётчиков

Оценка погрешности учёта электроэнергии в бытовом секторе сопряжена с трудностями в сборе информации для несинусоидальных режимов множества потребителей. Поэтому на основании разработанной классификации бытовых потребителей, предложена методика анализа

погрешности счётчиков электрической энергии, которая включает следующий план:

1. Сбор статистической информации о работе электроприемников в бытовом секторе электроснабжения рассматриваемой системы и характеристик гармонического состава питающего напряжения.

2. Обработка собранных сведений: расчёт математического ожидания работы каждой группы электроприемников с разбивкой по времени суток, и расчёт суммарного содержания мощности высших гармоник с разбивкой по времени суток.

3. Расчёт фактической погрешности счётчиков на каждой интервале времени суток с использованием математических моделей счётчиков.

4. Расчёт средневзвешенной погрешности счётчиков за сутки.

Выше приведенная методика анализа погрешности счётчиков электрической энергии реализуется в автоматизированном режиме на разработанном исследовательском стенде «Метро-ЭЭ», схема которого приведена на рис.6.

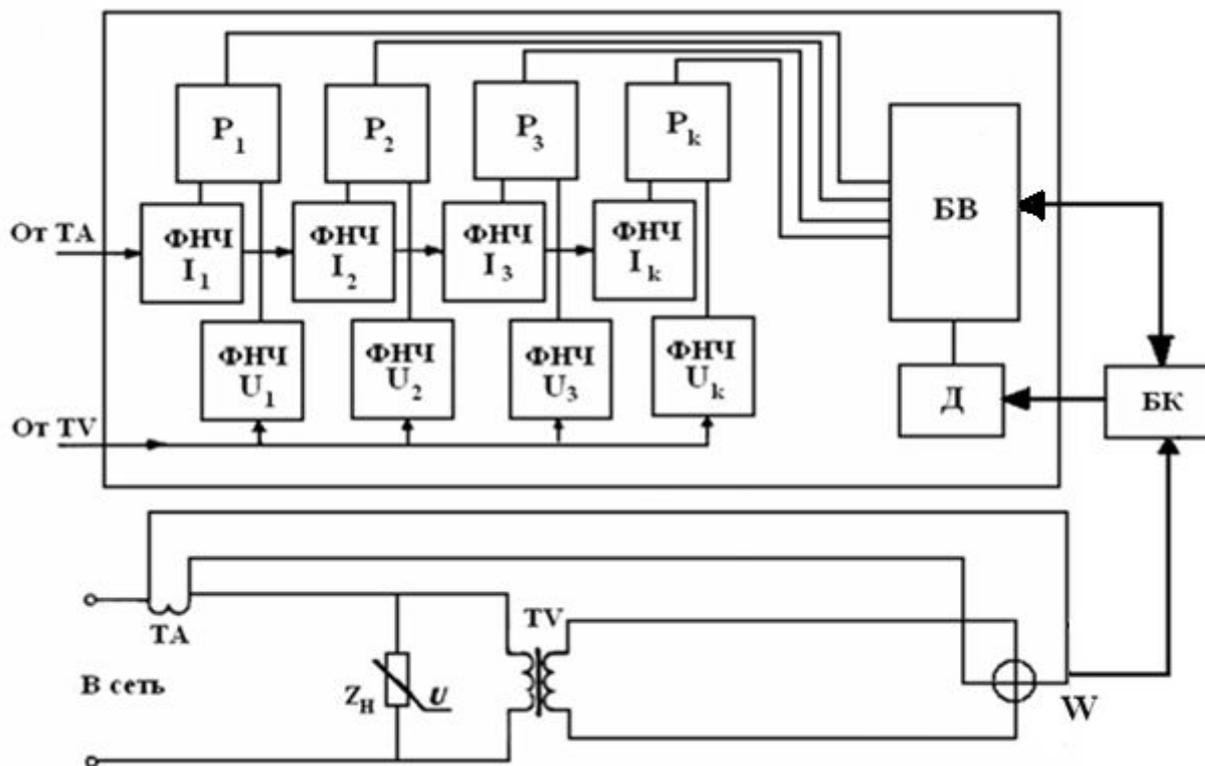


Рис. 6. Автоматизированная система коррекции погрешности счётчика: БК-блок коррекций; Д- дисплей; БВ- блок вычислений; ФНЧ- фильтр низкий частоты; ТА, ТВ-трансформаторы тока и напряжения; W-счётчик;

Для сбора статистической информации проведено исследование применяемых типов электроприборов бытового сектора сельского электроснабжения и времени их работы. Полученные данные и полученные результаты погрешности счётчиков представлены на совмещённом графике содержания мощностей высших гармоник и погрешности исследуемых счётчиков (рис.7.)

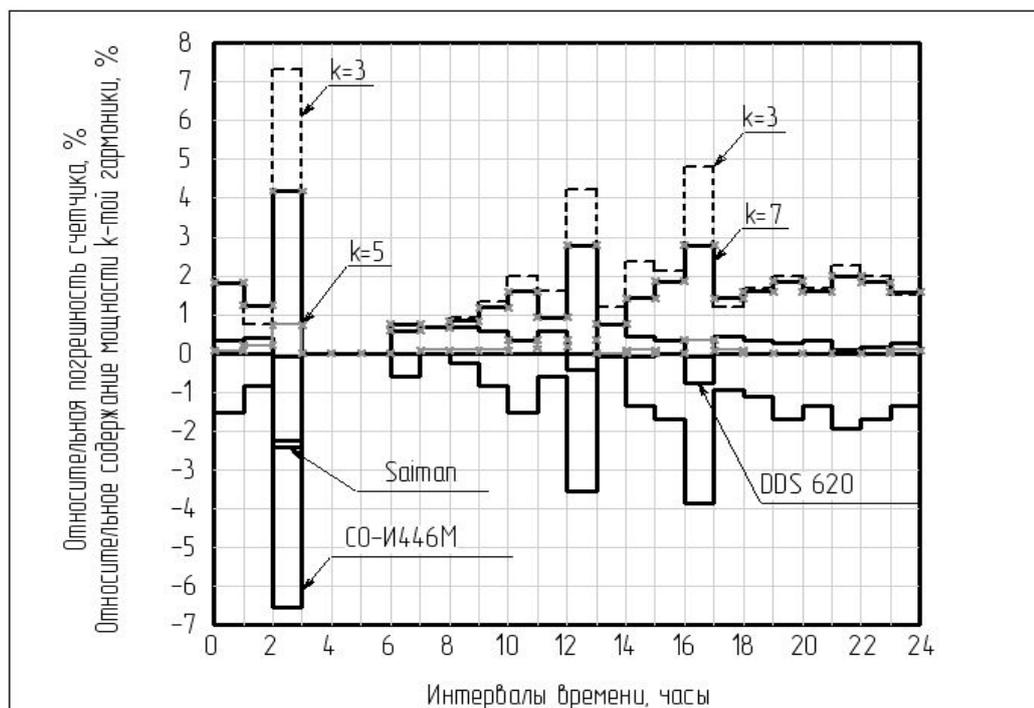


Рис. 7. Совмещенный график содержания мощностей высших гармоник и погрешности исследуемых счётчиков бытовой точки учёта

Как видно из таблицы 3 и рис. 7., в одинаковых условиях воздействие мощностей высших гармоник на погрешность счётчиков разных типов различное, это предполагает выбор счётчика электрической энергии для работы в условиях воздействия мощностей высших гармоник по критерию оптимальности:

$$\delta = f(P_k) - K - \min \quad (8)$$

Для выбора счётчика по условиям минимальной погрешности предложен и реализован следующий план:

1. Тестирование счётчиков электрической энергии различных типов и конструкций в условиях воздействия мощности высших гармоник и обработка полученных данных методами множественной регрессии с целью получения моделей погрешности счётчиков.
2. Анализ работы энергообъектов и отдельных присоединений с целью получения статистической информации о несинусоидальных режимах.
3. Расчёт погрешности на полученных регрессионных моделях и их сравнительный анализ.

Основным условием при оптимизации выбора счётчика является неизменность характера и режима работы преобладающей нелинейной нагрузки.

Способ автоматизированной коррекции погрешности счётчиков на основе анализа содержания мощности высших гармоник выполнен с применением аппаратной и программной части стенда «Метро-ЭЭ». На рис.8. приведен алгоритм работы стенда для расчёта погрешности счётчика.

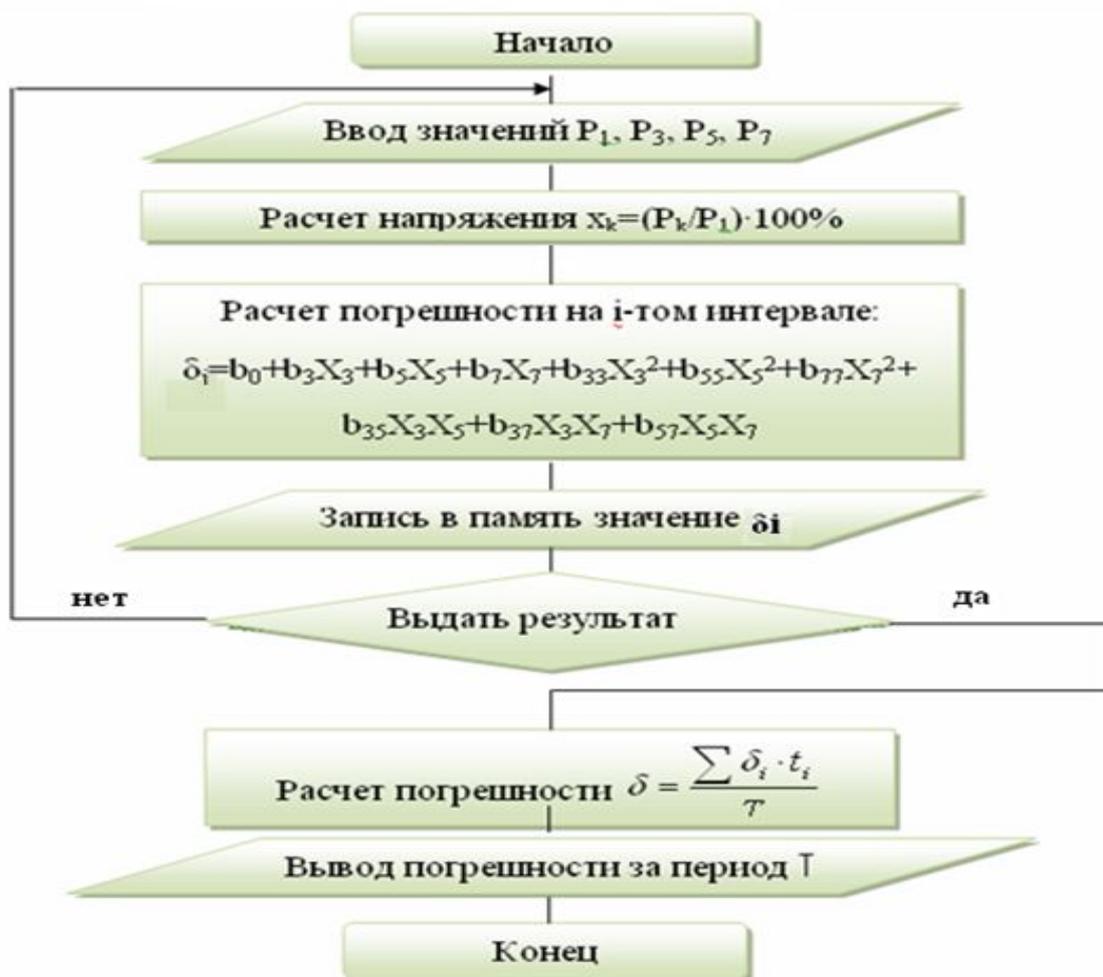


Рис. 8. Алгоритм функционирования стенда «Метро-ЭЭ» для определения погрешности счетчиков.

Для получения математической модели погрешности счётчика вида, который используются при расчёте погрешности, предлагается при проведении государственной поверки счётчика дополнительно тестировать его в условиях воздействия мощностей 3, 5 и 7 гармоник.

#### В четвертой главе

1. Предложена методика выбора счётчика электрической энергии из условия минимального влияния мощности высших гармоник на погрешность.

2. Разработан способ коррекции погрешности счётчиков на основе анализа содержания мощностей высших гармоник с использованием аппаратной и программной части стенда «Метро-ЭЭ», реализация которого в микропроцессорных счётчиках электрической энергии позволит снизить их погрешность до уровня, определяемого классом точности. Технико-экономическая оценка эффективности внедрения разработанного способа коррекции погрешности счётчиков для условий работы на вводе ОРУ-35 кВ подстанции АО «ВК РЭК» показывает, что при среднесуточном количестве потребляемой энергии – 134 013,2 кВт·ч, чистый дисконтированный доход за восемь лет эксплуатации составит 13 251 807 тенге.

Функциональные возможности микропроцессорных счётчиков электрической энергии позволяют получать коэффициенты гармонического ряда для тока и напряжения, и, предложенный способ коррекции погрешности на основе анализа содержания мощности высших гармоник может быть реализован на основе аппаратной и программной части счётчика такого типа.

### **Основные результаты и выводы**

1. В результате анализа работы системы электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой установлено, что нелинейные нагрузки являются генераторами высших гармоник, получая энергию из энергосистемы по каналу первой гармоник, они частично её преобразуют в энергию высших гармоник, которая возвращается обратно в сеть и распределяется между другими потребителями. В данных условиях счётчики электрической энергии электронного и индукционного типа, рассчитанные для учёта электроэнергии, передаваемой на частоте 50 Гц, имеют увлечение погрешности по отношению к обозначенной классом точности в 1,5 - 2,5 раза.

2. Для решения задачи поддержания баланса потребляемой и генерируемой мощности в электроэнергетической системе из двух подсистем разработаны системы управления перетоком мощности и частоты.

3. Разработан стенд «Метро-ЭЭ» для автоматизированного исследования погрешностей учёта электрической энергии от несинусоидальных режимов в системах электроснабжения.

4. Разработана методика автоматизированного исследования погрешности приборов учёта электроэнергии, включающая в себя имитационное моделирование токов, напряжений и фазовых сдвигов между ними, полученных в результате исследования реальных объектов, которая предусматривает:

- определение характеристик гармонических составляющих тока и напряжения от присоединений отдельных электропотребителей;
- выявление параметров, влияющих на погрешность приборов учёта электроэнергии: фазовой сдвиг и действующие значения гармонических составляющих;
- построение моделей погрешностей приборов учёта для конкретной группы электропотребителей.

5. Установлено, что в условиях реальной эксплуатации на погрешность счётчиков всех типов значительное влияние оказывают мощности от пятой и седьмой гармоник, а на индукционные счетчики ещё и третьей.

6. Выявлены следующие максимальные отношения фактической погрешности исследуемых счётчиков к нормируемой:

- для микропроцессорного – в 2,24 раза;
- для электронного с жесткой логикой работы – в 1,43 раза;
- для индукционного – в 1,87 раза.

7. Разработан способ коррекции показаний счетчиков электрической энергии в условиях работы с нелинейной нагрузкой, заключающийся в содержании мощностей от 3, 5, 7 и 9 гармоник в контролируемом присоединении, с последующим расчетом погрешности на модели.

8. Предложен способ компенсации погрешностей от мощностей высших гармоник в измерительных цепях, заключающийся в преобразовании их в пропорциональную величину по напряжению с частотой 50 Гц, которая подается на вход счётчика.

9. Расчет экономической эффективности при внедрении способа коррекции погрешности на основе анализа содержания мощности высших гармоник для учёта потребляемой электроэнергии подстанций АО «ВК РЭК» показывает, что чистый дисконтированный доход за 8 лет эксплуатации составит более 13 000 000 тенге, при сроке окупаемости – 0,15 года.

### Список опубликованных работ

1. Асет А. Технологиялық үрдістердің жүйелерін автоматтандыру үшін бақлаушылардың саралау//Материалы Международной научно-практической конференции «Роль университетов в создании инновационной экономики», ВКГТУ им. Д.Серикбаева [Текст] /А. Асет/- г. Усть-Каменогорск, 2008 – С.16-17.

2. Асет А. Асинхронды реттегішті электр жетегінде қолданылу // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль университетов в создании инновационной экономики», ВКГТУ им. Д.Серикбаева [Текст] /А. Асет/- г. Усть-Каменогорск, 2008. – С.18-21.

3. Асет А. Фундаментальные исследование влияние несинусоидальных токов и напряжений на погрешности счётчиков и автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии // Материалы Международной научно-практической конференции «Математическое и компьютерное моделирование экологических процессов и актуальные проблемы современного образование» [Текст] /А. Асет/ - г. Тараз, 2010.- С.246-249.

4. Электр энергиясын есептеу мен бақылаудың автоматтандырылған жүйесіне талдау // Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегические ориентиры инновационного развития IT технологий и энергосбережения в индустрии, образовании и наука», ВКРУ [Текст] / [А.А. Каримжанова, А.Е. Бакланов, А. Асет и др.] / - г. Усть-Каменогорск, 2011. – С.189-192.

5. Электр энергиясын есептеу мен электр есептегіштерінің қателігіне талдау // Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегические ориентиры инновационного развития IT технологий и энергосбережения в индустрии, образовании и наука», ВКРУ/ [Текст] [А. Талгатқызы, А.Е. Бакланов, А. Асет и др.] / - г. Усть-Каменогорск, 2011.- С.231-234.

6. Батырканов Ж.И. Информационные технологии автоматизации учёта электроэнергии// Информационные технологии в образовании: состояние,

проблемы и перспективы. // Международная научно-практическая конференция 1-2 июня 2011.- КГУСТА им. Н.Исанова Вестник №2(32) [Текст] /Ж.И. Батырканов, А.Асет/- г. Бишкек-С.89- 94.

7. Асет А. Автоматтандырылган интеллектуалды электр есептегішінің кателіктерін есептеуге арналган талдау //Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева [Текст] /А. Асет/ –г. Усть-Каменогорск, 2010. - № 3 – С.39-43.

8. Асет А. Бейсыздықты тұтынушылары бар автоматтандырылган жүйелердегі электр энергиясын есепке алудың ерекшеліктері //Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева [Текст] /А. Асет/ –г. Усть-Каменогорск, 2010г. - № 3 – С.43-48.

9. Асет А. Методы устранения погрешности счетчиков в АСКУЭ, вызванной воздействием несинусоидальных токов // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова [Текст] /А.Асет/ – г. Бишкек 2011. - №1- С.222-228.

10. Асет А. Автоматизированные систем контроля и исследование погрешностей счетчиков электрической энергии // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова [Текст] /А. Асет/ – г. Бишкек 2011. - №1- С.216-222.

11. Асет А. Автоматтандырылган интеллектуалды есептегіштердің синусоидалы емес ток пен кернеудің әсерінен пайда болган кателіктерін азайту әдістері // «Исследования, результаты» Казахский национальный аграрный университет [Текст] /А. Асет/ –г. Алматы, 2010. - № 4. – С.3-6.

12. Асет А. Бейсыздықты жүктемесі бар тізбектегі электр энергиясын есептеудің автоматтандырылган жүйесі // «Исследования, результаты» Казахский национальный аграрный университет /А. Асет/ – г. Алматы, 2010. - № 4. –С.6-8.

13. Асет А. Математические модели формирования погрешности счетчика электрической энергии и АСКУЭ//Известия КГТУ им. И.Раззакова [Текст] / Ж.И. Батырканов, А. Асет / - г. Бишкек 2011. №22 – С.291-293.

14. Асет А. Методы снижения содержания высших гармоник в токе и напряжении и АСКУЭ //Известия КГТУ им. И. Раззакова /А. Асет / - г. Бишкек 2011. №22 – С.293-297.

15. Асет А. Электр жетегіндегі ассинхронды реттегіштер мен бейсыздықты жүктемелер // Поиск Иле, Педагогический институт Иле, [Текст] /А. Асет/ - г. Иле, КНР, 2009.

16. Асет А. Қазіргі кезде қолданылып отырған автоматтандырылган бақылау жүйелері // Поиск Иле, Педагогический институт Иле, [Текст] /А. Асет/ г. Иле, КНР, 2009.

17. Асет А. Синтез быстродействующей системы стабилизации частоты и перетока мощности, Интернет журнал ВАК КР, [Текст] /А. Асет/ - г. Бишкек. 2011. [www.nakkr.kg](http://www.nakkr.kg).

18. Асет А. Анализ вопроса исследований автоматизированной системы контроля и учёта электрической энергии, Интернет журнал ВАК КР, [Текст] /А. Асет/- г. Бишкек. 2011. [www.nakkr.kg](http://www.nakkr.kg).

## РЕЗЮМЕ

**Асет Асхаттын “Түз эмес жүктүү чынжырдагы электр энергиясын эсептөө системин автоматташтыруу” деген темада 05.13.06 – Технологиялык процесстерди жана өндүрүштү автоматташтыруу жана башкаруу адистиги боюнча техникалык илимдин кандидаты илимий даражасы үчүн изилдөө кылган диссертациясына**

**Изилдөөгө алынган теманын актуалдуулугу.** Азыркы учурда КМШ өлкөлөрүндө өндүрүштүк-экономикалык кырдаалдын өзгөрүшү, электр кубаттуулугунда базар структурасынын өзгөрүшү менен электр энергиясын эсептөөнүн проблемалары курчуду, жоготуулардын денгээли боюнча электр жабдуулары системасына болгон талаптар өсүп жатат.

**Изилдөөнүн максаты.** Жогорку гармониктеги токту таасир берүүсү жана түз эмес жүккө ээ болгон электр жабдуулары системдериндеги чыңалуусу шартында электр энергиясын эсептөө приборлорундагы кемчиликтерди азайтуу жолдорун иштеп чыгуу болуп саналат.

**Изилдөөнүн ыкмалары.** Коюлган илимий милдеттерди чечүү үчүн жүктөрдүн мүнөзүн аныктоо боюнча эксперттик баалоо ыкмалары, активдүү эксперименттерди пландоо ыкмалары, кластердик, диспарсиондук, корреляциондук (синусиодалдык эмес ток жана чыңалуу учурундагы электр энергиясын эсептөө системдерин моделдештирүү) анализдердин ыкмалары жана автоматтык башкаруу теорияларынын ыкмалары колдонулду. Эсептеп чыгаруу жана моделдештирүү Mathcad, Statistica ж.б. программалар топтомун колдонуу менен жүргүзүлдү.

### **Иштин илимий жаңылыгын төмөнкүлөрдөн билебиз:**

- 3, 5 жана 7 гармониктеринен башталган кубаттуулукту чындап иштетүү шарттарында электр энергиясын эсептегичтердин кемчиликтерине таасир берүүчү факторлор ачылды.

- Жогорку гармоник кубаттуулугунун таасири менен пайда болгон кемчиликтерди эсептеп чыгуунун негизинде иштетүү процессинде электр энергиясын эсептегичтериндеги көрсөткүчтөрдү автоматтуу түрдө коррекциялоонун мүмкүнчүлүктөрү ачылды.

- Эсептөөнүн өлчөгүч чынжырында компенсациялык тазалагычты колдонуу жолу менен жогорку гармоник кубаттуулугунун таасири аркылуу пайда болгон электр энергиясын эсептегичтердин кемчиликтерин азайтуу мүмкүнчүлүктөрү көрсөтүлдү.

Диссертациянын жаңылыгы жана жыйынтыгы иштеп чыккан автоматташтырылган системанын ишке киргизүүнүн жыйынтыктары менен тастыкталат. Проблемалардын ачылышы аларды чечүүнүн жолдорун издөө

жана ошону менен бирге эле диссертацияда келтирилген илимий жана практикалык көрсөткүчтөр, алардын талданышы, колдонууга киргизилиши жана диссертациядагы акыркы жыйынтыктар диссертацияны жазган автордун жеке эмгеги болуп саналат.

## **РЕЗЮМЕ**

**Диссертация Асет Асхата на тему: «Автоматизация систем учёта электроэнергии в цепях с нелинейными нагрузками» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами**

**Актуальность исследуемой темы.** В настоящее время с изменением производственно-экономической ситуации в странах СНГ, изменением структуры рынка электрической мощности обостряются проблемы учёта электрической энергии, возрастают требования к системам электроснабжения (СЭС) по уровню потерь.

**Целью исследования** является разработка способов снижения погрешности прибора учета электрической энергии в условиях воздействия высших гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой.

**Методы исследования.** Для решения поставленных научных задач использовались методы экспертных оценок по определению характеристик нагрузок, методы планирования активного эксперимента, методы кластерного, дисперсионного, корреляционного (моделирование системы учета электрической энергии при несинусиодальных токах и напряжениях) анализов и методы теорий автоматического управления. Вычисления и моделирование производились с применением пакетов программ Mathcad, Statistica и др.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

- Выявлены факторы, существенно влияющие на погрешность счётчиков электрической энергии в условиях реальной эксплуатации мощности от 3, 5 и 7 гармоник.

- Выявлена возможность автоматизированной коррекции показаний счётчиков электрической энергии в процессе эксплуатации на основании расчета погрешности, вызванной воздействием мощностей высших гармоник.

- Показана возможность снижения погрешности счётчиков электрической энергии, вызванной воздействием мощности высших гармоник, путем применения компенсационного фильтра в измерительных цепях учета.

Новизна и заключение диссертации подтверждается хорошими результатами внедрения предлагаемой автоматизированной системы. Выяснение проблемы, исследование путей ее решения, вместе с тем, приведенные в диссертации научные и практические результаты, их анализ,

внедрение и окончательное заключение в диссертации являются личным трудом автора диссертации.

## THE SUMMARY

**Submit thesis of Asset Aschat «Automation of electric power accounting in circuits with nonlinear loads» for candidate's degree of technical sciences, specialty 05.13.06 - Automation and control of technological processes and production.**

**The topicality of research theme.** Nowadays with the change of production and economic situation in the CIS countries, the restructuring of electric power market are exacerbating the problem of accounting electric energy, increased demands for electricity systems (SHI) to level of losses.

**The aims of research** is to develop ways of reduction the device's errors; calculation of electrical energy under the effect of higher harmonics of current and voltage in power supply systems with dominant nonlinear load.

**Methods of research** is in order to achieve the scientific objectives were used methods estimation of experts for determination the load's characteristics, how to plan an active experiment, the methods of clustering, dispersion, correlation (the accounting system's modelling of electric energy at unsinusoidal currents and voltages) assays and methods automation control's theory. Calculations and simulations were performed using software packages MathCAD, Statistica, etc.

**The novelty of the scientific work is as follows:**

- The factors that significantly affect the accuracy of electricity meters in real-life power of 3, 5 and 7 harmonics.
- The capabilities for automated correction of meter readings of electricity during the operation on the basis of the calculation error are caused by exposure to power of higher harmonics.
- The possibility of reducing electric power's error counters is caused by exposure to the power of higher harmonics by the use of compensating filters in the measuring circuits accounting.

The novelty of the thesis and the conclusion is confirmed by good results in the preparation and implementation of automatic control systems of technological processes. Clarification of the problem, a study of ways to solve it, however, presented scientific and practical results; analysis, implementation, and the final conclusion in this thesis are the personal work of the author's thesis.

