

**КЫРГЫЗСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ К.И. СКРЯБИНА  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

**Диссертационный совет Д.05.19.596**

На правах рукописи

УДК 621.316.1

**Абдиева Зарина Эдилбековна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ, РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ И  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 380-220 В  
ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ**

Специальность 05.20.02 - Электротехнологии и электрооборудование в  
сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Бишкек 2021**

Работа выполнена в Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова

**Научный руководитель** кандидат технических наук,  
профессор **Суеркулов М.А.**

**Официальные оппоненты:**

**кандидат технических наук**

**Ведущая организация:**

Защита состоится «» 2021 г. в :00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.19.596 при Кыргызском национальном аграрном университете им. К.И. Скрябина и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68. Тел. +996312 545210, 540548. Факс +996312 545210, e-mail: knau-info@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина, [www.knau.kg](http://www.knau.kg).

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
05.19.596 к.т.н. Токтоналиев Б.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Расчёт потерь электроэнергии в электрических сетях необходим для оценки структурных составляющих потерь для последующего анализа с целью выявления очагов потерь и величины нетехнических потерь, разработки мероприятий по снижению потерь и оценки их эффективности, а также для определения нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям.

К настоящему времени весь топливно-энергетический комплекс страны (электроэнергетика, угольная промышленность, добыча и распределение газа, производство нефтепродуктов и возобновляемые источники энергии) находятся в сложном положении. «Национальная электрическая сеть Кыргызстана» (НЭСК) сообщила о том, что по всей республике наблюдается повышение потребления электроэнергии, в связи с чем призвала граждан экономно расходовать электричество.

На сегодняшний день энергосбережение является главным направлением энергетической политики Кыргызстана в новых экономических условиях. Минимизация экономических затрат при электроснабжении – большая комплексная задача. С ней тесно связаны задачи повышения качества электроэнергии и надежности электроснабжения. При этом важное место занимают мероприятия по снижению потерь электроэнергии и её рациональному использованию.

Потери электроэнергии в энергосистеме Кыргызстана за I квартал 2020 года составили 839 млн. 470,340 тыс. кВт.ч. В том числе потери электроэнергии по ОАО “НЭСК” составили 274 млн. 503,173 тыс. кВт.ч или 5,58% от поступления в сети НЭС Кыргызстана и 17,06% от поступления в сети энергосистемы Кыргызстана. По РЭКом потери составили 564 млн. 967,167 тыс. кВт.ч или 11,48% от поступления в сети. (<https://esep.energo.kg/?p=483> Кыргызский Энергетический Расчетный Центр)

Правительство Кыргызстана своим постановлением рекомендовало энергокомпаниям сократить уровень потерь до 12 процентов. Энергетики рапортуют о достигнутых целях. Однако никто не может ответить, как эти самые потери высчитывают. Выяснилось, что методика измерения и расчета потерь электроэнергии отсутствует.

Совершенствование методов расчёта потерь - длительный эволюционный процесс, который развивается параллельно с ростом знаний о структуре потерь, с увеличением объёмов исходной информации, которую реально можно использовать для расчётов, с расширением возможностей информационных технологий и программного обеспечения. Это совершенствование, безусловно, необходимо для повышения объективности определения приоритетов расхода финансовых и материальных ресурсов на снижение потерь.

Исследования эксплуатационных режимов сельскохозяйственных электрических сетей 0,38 кВ смешанными нагрузками, как крестьянские и фермерские хозяйства, животноводческие комплексы, кошары и предприятия по производству сельхозпродукции; тепличные и теплично-парниковые

хозяйства; птицефабрики, инкубаторные птицеводческие станции, племптицезаводы (хозяйства), рыбозаводные заводы (хозяйства), рыбхозы, рыбководно-мелиоративные станции, племрыбопитомники, племрыбпункты, пчелопитомники и пчелопасеки, лесхозы, проведенные вузами и научно-исследовательскими институтами показали, что в сети возникает значительная несимметрия токов, то есть режимы работы сельских сетей 0,38 кВ являются объективно несимметричными.

Перечисленные выше факторы снижают технико-экономические показатели процессов передачи, преобразования и потребления электроэнергии, а иногда приводят к авариям в системах электроснабжения. Поэтому в соответствии с ГОСТ 32144-2013 Межгосударственный стандарт электрическая энергия совместимость технических средств электромагнитная нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, устанавливающим нормы качества электрической энергии, нормально допустимая несимметрия напряжений у приёмников электроэнергии, присоединенных к электрическим сетям общего назначения, не должна превышать 2%, максимально 4%.

Таким образом все вышеизложенные позволяет сделать вывод об актуальности исследований потерь при несимметрии токов и напряжений. Поэтому важным и актуальным направлением исследований является развитие методов, совершенствование и разработка математических моделей для расчетов и анализа показателей качества электрической энергии и определения взаимного влияния на потери электроэнергии.

**Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями:** работа выполнена в соответствии с отраслевой программой МОН Кыргызской Республики АП-214-14 «Разработка технологии и технических средств энерго и тепло обеспечения фермерских хозяйств с использованием возобновляемых источников энергии».

**Цель работы** - является развитие методов расчета потерь электроэнергии в сельских электрических сетях напряжением 380 В, вызванных наличием нагрузок с несимметричным характером

**Основные задачи исследования:**

1. Исследование несимметричных режимов сельских электрических сетей напряжением 380 В;
2. Анализ методов расчета потерь ЭЭ и определение зависимости от уровня несимметрии при несимметричном режиме.
3. Разработка способа измерения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ, при различных режимах потребления электроэнергии.
4. Нахождения численного значения для определения рассеивания энергии при номинально заданной температуре, с учетом повышения сопротивления токопроводящих жил.

5. Разработка экспериментальной установки и физической модели элементов трехфазной электрической сети для исследования показателей качества электроэнергии на потери электроэнергии.

**Научная новизна работы:**

Способ измерения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях с помощью разработанной экспериментальной установки, основным элементом которой являются термостаты. В термостатах расположены физические модели элементов трехфазной электрической сети. Основным устройством сопряжения установки Arduino является разработанная программа "Управления переключениями нагрузок с исследованием режимов несимметрии в электрических сетях" на основе Arduino, с помощью которого проводится экспериментальное исследование по влиянию несимметрии на потери электроэнергии; выявления коэффициента разности рассеивания энергии при повышении сопротивления токопроводящих жил при номинально заданной температуре.

**Практической ценностью данной работы является:**

Результаты исследований могут быть использованы энергетическими компаниями Кыргызстана для повышения эффективности передачи и распределения ЭЭ, отпускаемой коммунально-бытовым, производственным потребителям. Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований могут использоваться в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров направления 640200 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроснабжение (по отраслям)».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты анализа методов расчета несимметричных режимов работы электрических сетей 0,38 кВ;
2. Компьютерная программа расчёта показателей несимметрии токов и напряжений;
3. Результаты анализа экспериментальных исследований несимметричных режимов в действующих электрических сетях 0,38 кВ на основе разработанной установки

**Личный вклад соискателя** Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертации, получены автором лично. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, заключается в обсуждениях и постановке задач на этапах научной работы, в получении, анализе и оформлении полученных результатов.

**Апробация результатов исследования.** Достоверность произведенных исследований подтверждается корректностью использованных методов расчётов симметричных составляющих токов и напряжений. Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научно-практических конференциях КГТУ международной научно-практической конференции ежегодной конференции бакалавров, магистров.

**Публикации:** По материалам диссертационной работы опубликовано 9 научных трудов, входящих в РИНЦ, из них 3 научные статьи в зарубежных изданиях, 2 свидетельства и 1 патент на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, библиографического списка использованной литературы из 46 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 36 рисунка и 16 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны методы исследования, определена научная новизна и практическая ценность результатов исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** на основе анализа литературных источников дается оценка современного состояния проблемы несимметрии в сельских электрических сетях их классификация и влияние несимметрии на работу потребителей и качества электроэнергии в сельских электрических сетях.

За последние годы произошло значительное увеличение установленной мощности электрооборудования сельскохозяйственных предприятий, а также в быту сельских жителей. По численности и составу электроустановок, требованиям к надёжности их электроснабжения и качеству электроэнергии они приблизились к промышленным потребителям. Основной отличительной чертой современного сельского электроснабжения является то, что сельскохозяйственные потребители сосредоточили на своем балансе значительное количество линий электропередачи, трансформаторных подстанций, электродвигателей и других производственных и бытовых электроустановок.

В 2020 году по сравнению с предыдущим годом увеличилось потребление электроэнергии в сфере сельского хозяйства в Кыргызской Республике - на 3,1%.

При передаче электрической энергии от мест выработки до мест потребления расходуется часть передаваемой энергии. Это своего рода затраты на доставку, иначе их называют потерями электрической энергии. Переменное электромагнитное поле внутри и вокруг оборудования электрических сетей обуславливает частичное преобразование электрической энергии в металлах и диэлектриках в другие виды энергии и её диссипации. Отличают потери от нагрузки проводника электрическим током (джоулевы потери), потери на перемагничивание, корону, потери в диэлектриках и др. Потери зависят от токов по проводникам и напряжения, а также от свойств и состояния металлов и диэлектриков. Кроме того, могут возникать дополнительные потери от наличия других гармонических составляющих, имеющих другие частоты, отличные от основной частоты, и несбалансированности нагрузки трехфазной системы передачи электрической энергии. Все перечисленные потери называют техническими потерями электрической энергии.

Несимметричным режимом работы многофазной электрической сети считается такой режим, при котором условия работы фаз неодинаковы. Степень несимметрии трехфазной четырехпроводной системы характеризуется коэффициентами напряжения обратной и нулевой последовательностей, а также коэффициентами обратной и нулевой последовательностей токов. При этом потери мощности, обусловленные несимметрией токов могут характеризоваться коэффициентом потерь мощности, равным отношению потерь мощности в несимметричном режиме, к соответствующим потерям мощности, обусловленным протеканием токов прямой последовательности.

Причинами возникновения несимметричных режимов работы электрической системы, практически во всех случаях, является неравномерность распределения нагрузок по фазам и снижение нагрузок трёхфазных потребителей (электродвигателей, мощных трехфазных нагревателей).

В качестве описания состояния сельской сети 380 В, для примера рассмотрим РЭС ОАО «Северэлектро», который территориально разделен на три зоны - Чуйская область, г. Бишкек и Таласская область.

Линии 0,4кВ проходят через густонаселённые местности, вдоль дорог и зеленых насаждений. Из-за близости к автодорогам, автомобили часто разбивают опоры линии электропередач. Ветки зеленых насаждений касаются голых проводов и часть электроэнергии уходит через стволы деревьев в землю, тем самым теряется часть электроэнергии. Из-за ветра происходит хлест проводов, в результате которого случается короткое замыкание на линии. Характер нагрузки сети 0,4кВ следующий: несимметричные, двигательные, несинусоидальные, импульсные, резистивные. Выше перечисленные недостатки часто приводят к повреждению проводов линии и потери электроэнергии.

В действующих сетях 0,38 кВ распределение однофазных электроприемников по фазам производится крайне неравномерно, в силу чего создается перегрузка одних, и недогрузка других фаз. В результате чего получается, так называемый «перекос фаз», или неслучайная несимметрия токов.

На стадии проектирования какого-либо сельскохозяйственного объекта, а также коммунально-бытового сектора при рассмотрении способов расположения схемы распределительной сети 0,38 кВ необходимо учитывать характер нагрузки и установленную мощность отдельных потребителей электроэнергии для того, чтобы осуществить их равномерное распределение по фазам сети. Кроме этого, в процессе эксплуатации низковольтной линии электропередачи 0,38 кВ с развитием сельскохозяйственных объектов и коммунально-бытового сектора к линии дополнительно подключается большое количество новых электроприемников, которые, в свою очередь, также необходимо подключать с учетом равномерной загрузки фаз.

Одним из сложных режимов сети является несимметричные режимы. В РЭС существует кратковременные (аварийные) и длительные (эксплуатационные) несимметричные режимы. В работающих сетях 0,4кВ

распределение однофазных электроприемников по фазам производится крайне неравномерно. В силу этого создается перегрузка одних и недогрузка других фаз. В результате чего получается перекося фаз или несимметрия тока. Многолетние наблюдения в РЭС 0,4кВ [3,4,5] показали, что как правила от симметричного подключения однофазных потребителей нарушаются в 90% случаев.



Рис. 1. Классификация несимметричных режимов.

В дополнение к вышесказанному можно добавить, что существующие в сетях несимметричные режимы можно разделить в зависимости от ее типа (несимметрия напряжений, несимметрия токов, фазовая несимметрия) или ее характера (амплитудная, фазовая, амплитудно-фазовая) (рисунок 2.)

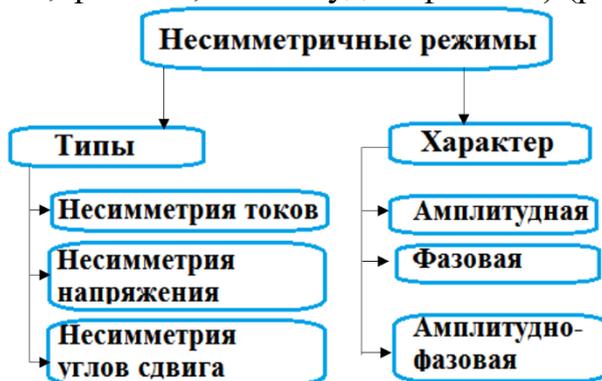


Рис 2. Типы несимметричных режимов.

Несимметрия напряжений и токов трехфазной системы является одним из важнейших показателей качества электрической энергии. Причиной появления несимметрии напряжений и токов являются различные несимметричные режимы системы электроснабжения. Подключение таких мощных несимметричных одно- и трехфазных нагрузок к трехфазным сетям вызывает в системах электроснабжения длительный несимметричный режим, который характеризуется несимметрией напряжений и токов

Значение показателей качества электроэнергии регламентирует ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Значения потерь мощности в отдельных элементах распределительной сети, возникающих в результате воздействия несимметрии, позволяют оценить их общую величину и определить экономический ущерб, обусловленный снижением качества электрической энергии. Все это необходимо для предварительных расчетов экономической целесообразности применения мероприятий по повышению качества электрической энергии.

Тем не менее, в общеизвестных работах при анализе дополнительных потерь мощности мало учитываются соотношения между токами различных фазовых последовательностей, являющихся причиной возникновения несимметрии уровней напряжений. В свою очередь это не позволяет достоверно определить причины и источники, приводящие к возникновению дополнительных потерь мощности и оценить увеличение этих потерь в сравнении с нормальным (симметричным) режимом энергопотребления.

**Второй раздел** посвящен методике и расчету несимметричных режимов СЭС, и программа расчёта показателей качества и потерь электрической энергии в условиях несимметричного электропотребления.

Вопросам расчета потерь напряжения и мощности в электрических сетях при наличии отклонение параметров качества электрической энергии от требуемых нормативных значений, в частности при наличии несимметрии токов и напряжений, посвящен ряд публикаций.

Существующие и известные в настоящее время алгоритмы (методы) для установления уровней несимметрии и связанных с ней потерями мощности в структурных элементах электрической сети, основаны в большей мере на результатах данных измерений в сетях, обработанных вероятно-статистическим способом, либо на предопределенных заранее параметрах элементов, составляющих сеть в целом

Но в большом разнообразии известных методик расчета потерь типичным остается допущение, что выражения, применяемые в них при расчетах, справедливы при условии потребления мощностей потребителями в неискаженно.

Тем не менее, в применяемых в практике методах расчета потерь соотношения между токами и напряжениями различных фазовых последовательностей не учитываются. Данное обстоятельство осложняет определение первопричин, вызывающих увеличение дополнительных потерь мощности и целесообразность применения способов их ограничения.м (номинальном) режиме.

Основной директивной методикой по расчету потерь является приказ Государственного комитета промышленности, энергетики и недропользования Кыргызской Республики от «18» сентября 2020 г. № 01-7/334 «Методика расчета нормативов потерь электрической энергии».

Настоящая Методика разработана в целях организации работ по расчету, обоснованию и прогнозированию технических потерь электроэнергии и их снижения в электрических сетях организаций, осуществляющих передачу и распределение электроэнергии.

Для электрических сетей 0,4 кВ, в силу их большого количества, протяжённости и слабой информационной обеспеченности, в качестве основного метода инструкцией [10] рекомендован метод оценки потерь по обобщённой информации. В то же время, как было отмечено ранее, уже сегодня в электрических сетях этого класса напряжения с развитием розничных рынков электроэнергии и внедрением АПИС КУЭ (автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии) бытовых потребителей вполне реальными и перспективными становятся поэлементные оперативные расчёты

Настоящая Методика разработана в целях организации работ по расчету, обоснованию и прогнозированию технических потерь электроэнергии и их снижения в электрических сетях организаций, осуществляющих передачу и распределение электроэнергии.

Для электрических сетей 0,4 кВ, в силу их большого количества, протяжённости и слабой информационной обеспеченности, в качестве основного метода инструкцией рекомендован метод оценки потерь по обобщённой информации. В то же время, как было отмечено ранее, уже сегодня в электрических сетях этого класса напряжения с развитием розничных рынков электроэнергии и внедрением АПИС КУЭ (автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии) бытовых потребителей вполне реальными и перспективными становятся поэлементные оперативные расчёты.

Проведенный анализ наиболее распространенных методов расчета потерь ЭЭ в низковольтных сетях показал, что

- рассмотренные детерминированные методы расчета отличаются достаточно высокими погрешностями (9-56%) вычислений потерь ЭЭ при недостатке достоверных данных о схемных и режимных параметрах и возможных принятых допущениях.

- целесообразность выбора метода расчета потерь должна быть обусловлена соответствием методических и информационных погрешностей.

С развитием оптового и розничных рынков электроэнергии, с новыми хозяйственными и экономическими отношениями субъектов этих рынков всё более актуальными становятся и новые задачи расчёта технологических потерь электроэнергии, в том числе:

- оперативный мониторинг потерь мощности и электроэнергии на получасовых и часовых интервалах не только для сети в целом, но и для отдельных участков, линий и трансформаторов с целью своевременного принятия решений по снижению этих потерь;

- оперативный расчёт, анализ и прогнозирование потерь от транзитных перетоков мощности и электроэнергии, разделение этих потерь между участниками рынка электроэнергии по степени их влияния на величину транзитных потерь;

- прогноз потерь электроэнергии на сутки вперёд для повышения точности прогнозирования балансов электроэнергии на соответствующих торговых площадках;

□ прогноз потерь электроэнергии на среднесрочную и долгосрочную перспективу с учётом прогнозов электропотребления, развития электрических сетей, ввода нового генерирующего оборудования, климатических условий для повышения обоснованности программ развития электроэнергетики, программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности электросетевого комплекса.

В работе предложен способ измерения потерь электроэнергии в электрических сетях с помощью разработанной экспериментальной установки, основным элементом которой являются термостаты. В термостатах расположены физические модели элементов трехфазной электрической сети. Основным устройством установки является Arduino, с помощью которого проводится экспериментальное исследование по влиянию несимметрии на потери электроэнергии.

В электрических сетях постоянно изменяется сила тока и напряжения, что затрудняет математически получить точные результаты о рассеивании энергии в элементах электрических сетей по закону Джоуля-Ленца. Для упрощения получения данных рассеивания энергии в элементах электрических сетей применяем физическую модель исследования в виде термостатов. Физическая модель разработана для трехфазной сети в виде трех термостатов на каждую фазу. Термостат состоит из корпуса, выполненного из нержавеющей стали, с двойными стенками, между которыми выкачан воздух (создан вакуум) для уменьшения теплопроводности и конвекции между колбой термостатов и внешней средой. Следующими элементами термостата являются физическая модель элемента электрической сети (токопроводящая жила) и наполнитель. Для уменьшения теплового излучения внутренние поверхности стеклянной колбы покрыты слоем из отражающего, зеркального материала. Наружный корпус термостатов со стеклянной колбой изготовлены из металла (рис. 3), в котором находится электронный термодатчик, с заданным коэффициентом рассеивания тепловой энергии в окружающую среду в зависимости от разности температуры внутри термостатов от окружающей среды. Термостаты наполняются трансформаторным маслом, с известной теплоемкостью и весом. Температура трансформаторного масла передается электронному термодатчику, с выходом на Arduino.

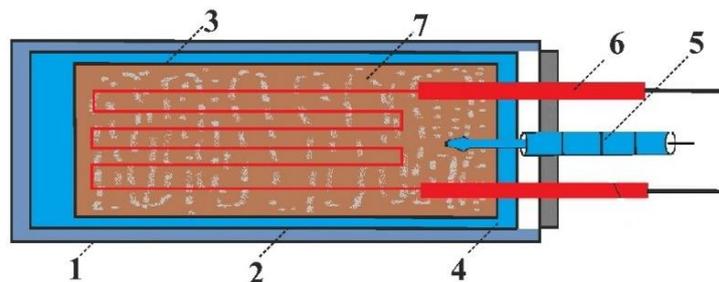


Рис. 3. Термостат: 1 – корпус; 2 – внешний стеклянный сосуд; 3 – внутренний стеклянный сосуд; 4 – вакуум; 5 – электронный термодатчик; 6 – токоведущий элемент; 7 – трансформаторное масло.

Как известно [4], уравнение для определения перегрева жил токопроводов относительно температуры окружающей среды имеет вид

$$\tau \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = \vartheta_{ж.н} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2, \quad (1)$$

где  $\tau$  - реальная постоянная нагрева токопровода;  $\vartheta$  - температура перегрева токопровода;  $\vartheta_{ж.н}$  - максимально допустимая температура жил;  $I$  - ток нагрузки;  $I_n$  - длительно допустимый ток токопровода.

Более точное уравнение, учитывающее зависимость сопротивления и постоянной нагрева токопровода от температуры, имеет вид [5]

$$\tau(\vartheta) \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = K_R(\vartheta) \cdot \vartheta_{ж.н} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2; \quad (2)$$

$$\text{где } \tau(\vartheta) = \frac{\tau_0}{1 + 0.3 \left( 1 - \frac{\vartheta}{\vartheta_{ж.н}} \right)}, \quad (3)$$

$\tau_0$  - значение постоянной нагрева при длительно допустимой температуре жил  $\vartheta_{ж.н}$ ;  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления токопровода.

Физическая модель, в виде токопроводящих жил с подобранными сечениями (0,5мм<sup>2</sup>, 0,75мм<sup>2</sup> и 1,0мм<sup>2</sup> в каждом термостате), удельным сопротивлением, весом и длиной находятся в термостатах. Теплоемкость и вес изоляции токопроводящих жил известны, что позволяет точно определить количество рассеиваемой энергии токопроводящих жил, по формулам:

Сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{s}, \quad (4)$$

где  $R$  — сопротивление, Ом;  $\rho$  - удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $l$  — длина провода, м;  $s$  — площадь сечения провода, мм<sup>2</sup>.

Удельное сопротивление чистой электротехнической меди при 20°C составляет 0,0172 Ом·мм<sup>2</sup>/м.

Удельное сопротивление меди изменяется с температурой, но для температур, характерных для сферы ИТ, эти изменения невелики. Изменение удельного сопротивления рассчитывается по формулам:

$$\Delta\rho = \alpha \cdot R \cdot \Delta T \quad (5)$$

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1)) \quad (6)$$

где  $\Delta\rho$  - изменение удельного сопротивления,  $\rho_1$  - удельное сопротивление при температуре, принятой в качестве базового уровня (обычно 20°C),  $\Delta T$  - градиент температур,  $\alpha$  - температурный коэффициент удельного сопротивления для данного материала (размерность °C<sup>-1</sup>). В диапазоне от 0°C до 100°C для меди принят температурный коэффициент 0,004 °C<sup>-1</sup>. Рассчитаем удельное сопротивление меди при 60°C.

$$\rho_{60^{\circ}C} = \rho_{20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot (60^{\circ}C - 20^{\circ}C)) = 0,0172 \cdot (1 + 0,004 \cdot 40) \approx 0,02 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \quad (7)$$

$k_n$  - коэффициент разности рассеивания энергии при повышении сопротивления токопроводящих жил выше  $25^{\circ}C$ .

Рассчитаем  $k_n$  при  $60^{\circ}C$  и сечением жилы  $0,5 \text{ мм}^2$ :

$$k_{60} = \frac{((\rho_{60^{\circ}C} \cdot 5^2) - (\rho_{25^{\circ}C} \cdot 5^2))}{(\rho_{55^{\circ}C} \cdot 5^2)} = \frac{((0,39904 \cdot 25) - (0,35088 \cdot 25))}{0,39216 \cdot 25} = 0,122807018 \quad (8)$$

Далее определяем теплоёмкость трансформаторного масла. Вес масла  $2 \text{ кг}$ .

Удельная теплоёмкость поливинилхлорида  $1,51 \text{ кДж} / \text{кг}^{\circ}C$ , вес поливинилхлорида равен  $0,0893 \text{ кг}$ ,  $C_{ПВХ} = 0,1348 \text{ кДж}$ .

Удельная теплоёмкость меди  $0,383 \text{ кДж} / \text{кг}^{\circ}C$ , вес меди  $0,20025 \text{ кг}$ ,  $C_{медь} = 0,0767383 \text{ кДж}$ .

При известных значениях теплоёмкости и рассеивания тепла термостатов в окружающую среду находим количество рассеиваемой энергии токопроводящих жил при повышении температуры в термостатах на  $1^{\circ}C$  с  $25^{\circ}C$  до  $26^{\circ}C$ .

Далее в таблице 5 приведены результаты рассеивание энергия за  $1 \text{ час}$  при температуре окружающей среды  $21^{\circ}C$  в кДж.

Находим количество рассеивания энергии в термостатах при повышении температуры на  $1^{\circ}C$  при первоначальной температуре термостата  $30^{\circ}C$  и заложенным сечением жилы  $0,5 \text{ мм}^2$ :

$$\begin{aligned} Q_{0,5} &= \left( (C_{\text{масло } 30^{\circ}C} + C_{\text{медь}} + C_{\text{ПВХ}}) + (k_{\text{расс.} 30^{\circ}C} \cdot t) \right) - \\ & \left( \left( (C_{\text{масло } 30^{\circ}C} + C_{\text{медь}} + C_{\text{ПВХ}}) + (k_{\text{расс.} 30^{\circ}C} \cdot t) \right) \cdot k_{30^{\circ}C} \right) \cdot 1^{\circ}C = \\ & = ((3,458 + 0,0767383 + 0,1348) + (15,7441 \cdot 1)) - \\ & \left( ((3,458 + 0,0767383 + 0,1348) + (15,7441 \cdot 1)) \cdot 0,019607843 \right) \cdot 1 = 19,032979 \text{ кДж} \end{aligned} \quad (9)$$

где  $C_{\text{масло}}$  - теплоёмкость трансформаторного масла в термостате,  $C_{\text{медь}}$  - теплоёмкость меди в термостате,  $C_{\text{ПВХ}}$  - теплоёмкость поливинилхлорида в термостатах,  $k_{\text{расс.}}$  - коэффициент рассеивания тепловой энергии термоса в окружающую среду в зависимости от разности температуры внутри термоса от

окружающей среды,  $t$  - время,  $k_n$  - коэффициент разности рассеивания энергии при повышении сопротивления токопроводящих жил выше  $25^{\circ}\text{C}$ .

Для решения проблем, связанных с измерением потерь электроэнергии в электрических сетях создана экспериментальная установка для исследования влияния показателей качества электроэнергии на элементы электрической сети (рис. 4), основным элементом которой является предлагаемый термостат, представляющий физическую модель исследования. С их помощью проведены экспериментальные исследования в лаборатории кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова.

Элементом сопряжения экспериментальной установки является Arduino, с помощью которого осуществляется автоматическое управление экспериментом.. Разработанная программа на ЭВМ для экспериментальной установки по исследованию влияния показателей качества электроэнергии на элементы электрической сети и алгоритм переключений нагрузок с обработкой данных и выводом информации через Com-port.



Рис. 4. Экспериментальная установка для исследования физических процессов в электрических сетях: 1- электроприемник; 2- магнитные пускатели; 3- реле; 4 -счетчик трехфазный электронный; 5 -электронный датчик температуры; 6 термостат (физическая модель исследования); 7- ArduinoMega 2560; 8 -персональный компьютер.

**В третьей главе** приведен расчет потерь электроэнергии экспериментальным путем с помощью термостата.

Исследования проведены в реально действующих сетях и на экспериментальной установке, созданной в лаборатории с использованием «Arduino». Arduino позволяет компьютеру моделировать электрическую нагрузку. Устройства с помощью Arduino получают информацию датчиков и управляют исполнительными устройствами. Платформа, с программным кодом, построена на простой плате с современной средой для написания программного

обеспечения. Это современное устройство использована в разработанной экспериментальной установке на кафедре «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, для исследования физических процессов в электрических сетях. Исследования проводились на экспериментальной установке при различных режимах: симметричный режим; несимметричный режим, при нагрузке на две фазы; несимметричный режим, при нагрузке на одну фазу (крайний режим несимметрии). Исследования свидетельствуют о влиянии несимметрии на рост потерь электроэнергии в электрических сетях.

Нами проведены исследования в реальных сетях на отходящих фидерах двух подстанций 10/0,4 кВ, расположенных в сельской местности, питающих потребителей (Аламединский РЭС, Воронцовский участок ОАО «Северэлектро»). А также исследования проведены на установке в лабораторных условиях с помощью электронного конструктора «Arduino». Замеры, выполнялись при существующем положении в сети в течение недели. При измерениях использовались лабораторные токоизмерители и вольтметры, а также счетчики.

В качестве контролируемых показателей были приняты: пофазное почасовое измерение токов, напряжений в начале и в конце линий (Рис. 5); пофазное и суммарное потребление активной энергии потребителями, подключенными к исследуемой отходящей от трансформаторной подстанции (ТП) воздушной линии, а также суммарный отпуск активной энергии с шин подстанции 10/0,4 кВ; коэффициент увеличения потерь мощности вследствие неравномерности нагрузки фаз.

На Рис. 5 представлена зависимость токов и падений напряжения по фазам во времени в течении суток, а на Рис. 6 – изменение коэффициента несимметрии во времени, рассчитанного по выражению (10).

$$K_H = \frac{I_o}{I_{cp}}, \quad (10)$$

где  $I_{cp} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$ ;

$$I_o = (I_a - 0,5(I_b + I_c) + \frac{\sqrt{3}}{2}(I_b - I_c))$$

Потери мощности в симметричном и несимметричном режимах определены по выражениям:

$$\begin{aligned} \Delta P_{нес} &= (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + (3I_o)^2) \cdot R; \\ \Delta P_c &= \frac{1}{3} I_{cp}^2 \cdot R. \end{aligned} \quad (11)$$

Из выражений (1) и (2) получим

$$\frac{\Delta P_{нес}}{\Delta P_c} = 1 + K_H^2 (2 + 3 \frac{R_o}{R_{cp}}), \quad (12)$$

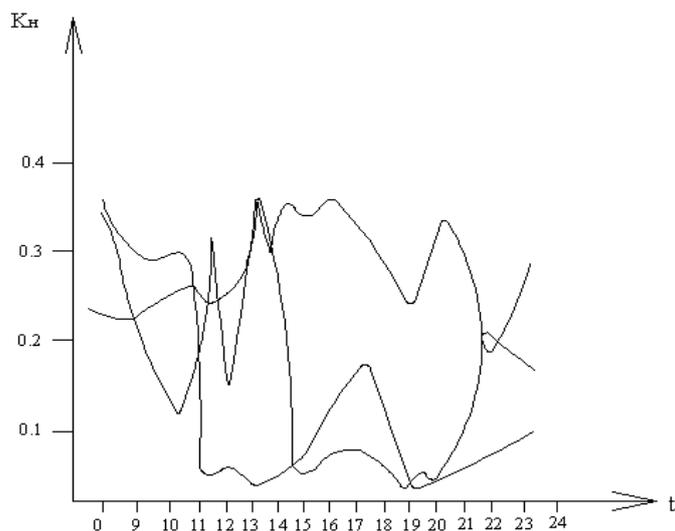


Рис.5. Зависимость токов и падений напряжений по фазам во времени в течении суток

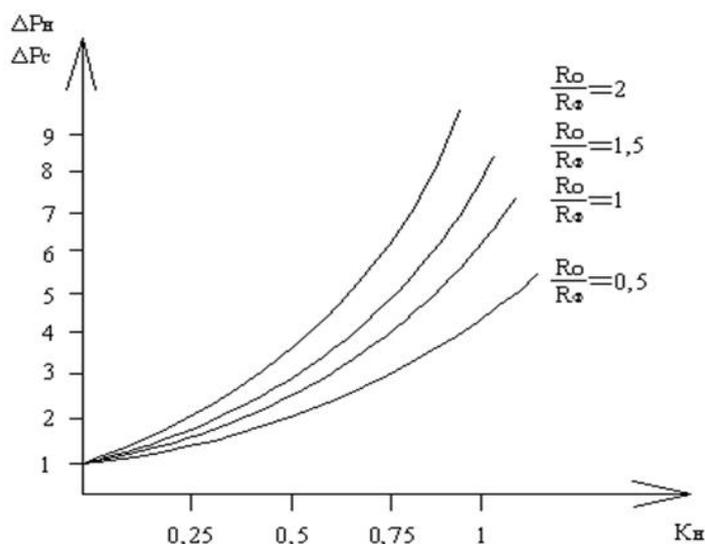


Рис.6. Изменение коэффициента несимметрии во времени, рассчитанного по выражению (10)

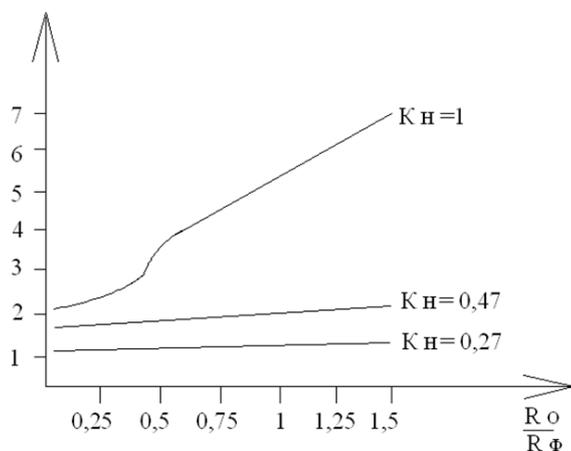


Рис. 7.. Изменение  $K_n$  в зависимости от нагрузки

Несимметричная нагрузка вызывает дополнительные потери мощности, которые можно связать с коэффициентом несимметрии, определяемом по выражению (10), который теоретически может изменяться от 0 до 1. Заметим,

что  $K_H$  изменяется (Рис. 7) с изменением нагрузки. Поэтому необходимо связать его с токовым суточным графиком и определить типовой коэффициент неравномерности.

Определены относительные технических потери по фидерам и в целом по ТП за исследуемый период как разница показаний головного счетчика и суммарные показания счетчиков всех абонентов по ТП. Она составила от 18,6% до 40,3%.

А разница, рассчитана по выражению (13):

$$W = K_{H/M} \cdot \Delta U_{\max} \% \cdot \tau \quad (13)$$

без учета и с учетом коэффициента неравномерности токов в фазах показали отличие в 1,8 раза.

Сравнение расчетных относительных потерь электроэнергии с экспериментальными данными показали, что без учета коэффициента несимметрии погрешность составляет до 51%, а с учетом до 6%, что приемлемо, если учитывать погрешности счетчиков.

Проведенный анализ наиболее распространенных методов расчета потерь ЭЭ в низковольтных сетях показал, что рассмотренные детерминированные методы расчета отличаются достаточно высокими погрешностями (9-56%) вычислений потерь ЭЭ при недостатке достоверных данных о схемных и режимных параметрах и возможных принятых допущениях.

Кроме анализа дополнительных потерь из-за несимметрии, также рассмотрено влияние сопротивления нулевого провода на снижение расхода энергии. Поскольку при симметричной нагрузке фаз ( $I_A = I_B = I_C$ ), то  $K_H = 0$  при несимметричной же нагрузке фаз ( $I_A \neq I_B \neq I_C$ ) и  $0 < K_H < 1$ . В случае включения всей нагрузки на одну фазу (предельный случай несимметрии)  $K_H = 1$ .

Исследуем, как влияет сечение нулевого провода ВЛ 0,4 кВ на величину потерь энергии в ней. Для этого воспользуемся выражением (12). Поскольку потери энергии в ВЛ 0,4 кВ пропорциональны отношению  $\frac{R_0}{R_\phi}$ , то увеличение или уменьшение его значения равносильно увеличению или уменьшению потерь энергии в линии.

На Рис.7. приведено семейство характеристик  $\frac{\Delta P_{\text{нес}}}{P_c}$  от  $\frac{R_0}{R_\phi}$ , где видно, что одним из целесообразных мероприятий по экономии электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ необходимо признать увеличение проводимости нулевых проводов до величины, равной или даже большей, чем у фазных проводов, что не противоречит требованиям ПУЭ.

Результаты замеров токов и напряжений ТП 316 и ТП 1079 представлены на Рис. 8

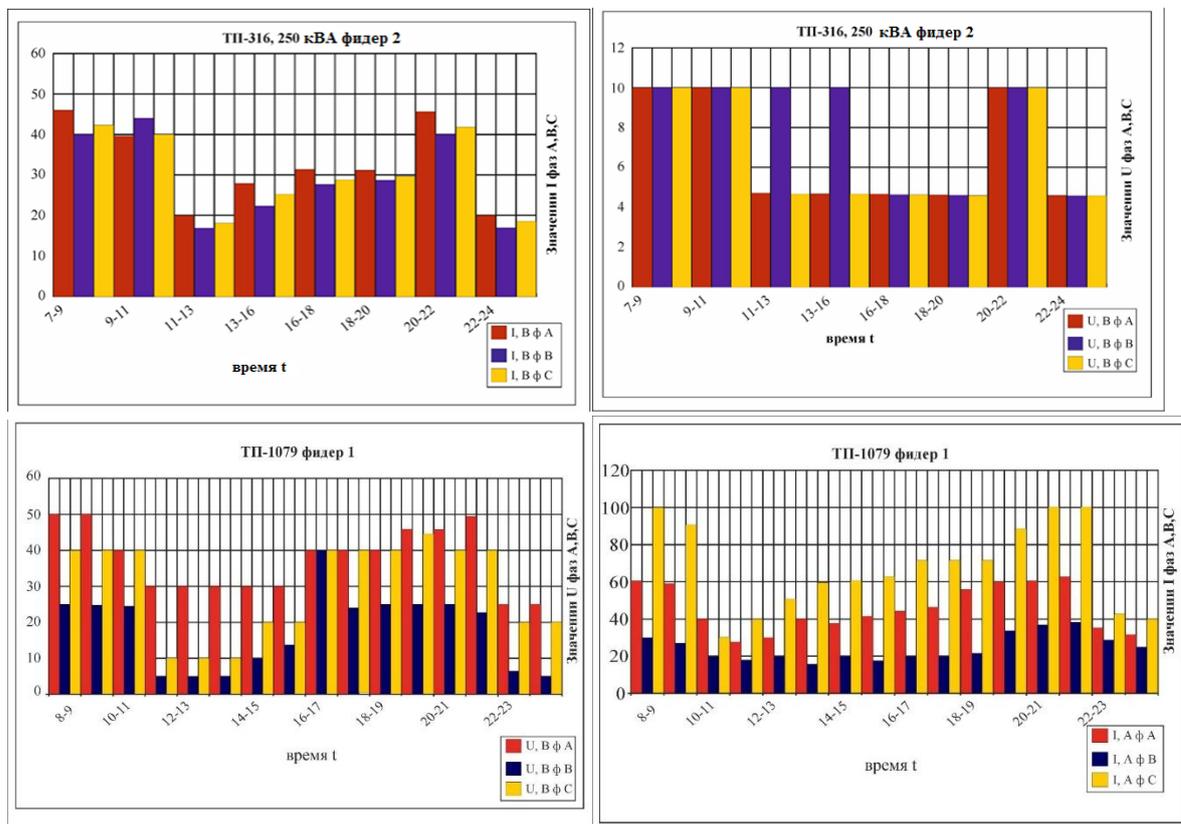


Рис. 8 Результаты замеров токов и напряжений ТП 316 и ТП 1079

Исследование влияния несимметрии на потери электрической энергии проводились также на экспериментальной установке (Рис. 9) в лабораторных условиях, с применением электронного конструктора «Arduino».

«Arduino — это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств. Платформа пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду. Устройство программируется через USB без использования программаторов» [9].

«Язык программирования устройств Ардуино основан на C/C++. Он прост в освоении, и на данный момент Arduino — самый удобный способ программирования устройств на микроконтроллерах.

Базовые и полезные знания, необходимые для успешного программирования под платформу Arduino.

Разбиение на сегменты кода функциями позволяет создавать части кода, которые выполняют определенные задания. После выполнения происходит возврат в место, откуда была вызвана функция. Причиной создания функции является необходимость выполнять одинаковое действие несколько раз.

Для программистов, работающих с BASIC, функции в Arduino позволяют использовать подпрограммы (GOSUB в BASIC)» [10].

Выпускаются различные модели Arduino, предназначены для решения множества поставленных задач.

Далее приведены результаты исследования зависимости температуры нагрева элементов электрической сети от влияния несимметрии при разных режимах загрузки фаз (Рис. 10) находящихся в физических моделях (в виде термостатов) на экспериментальной установке. Экспериментальная установка показана на Рис. 9

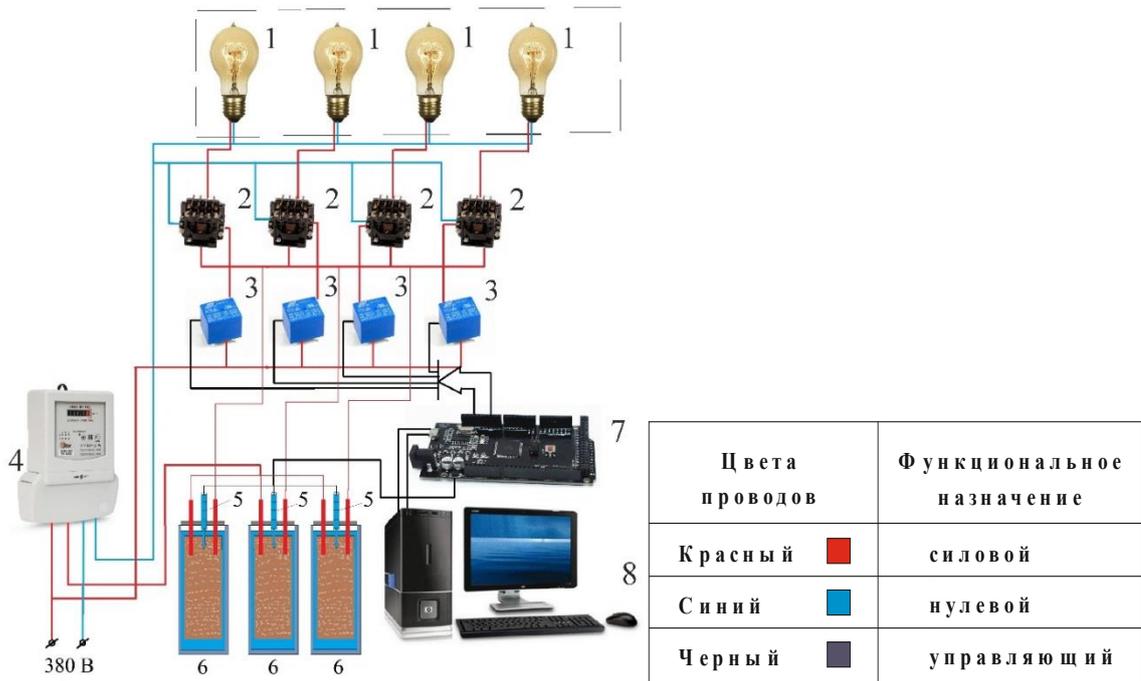
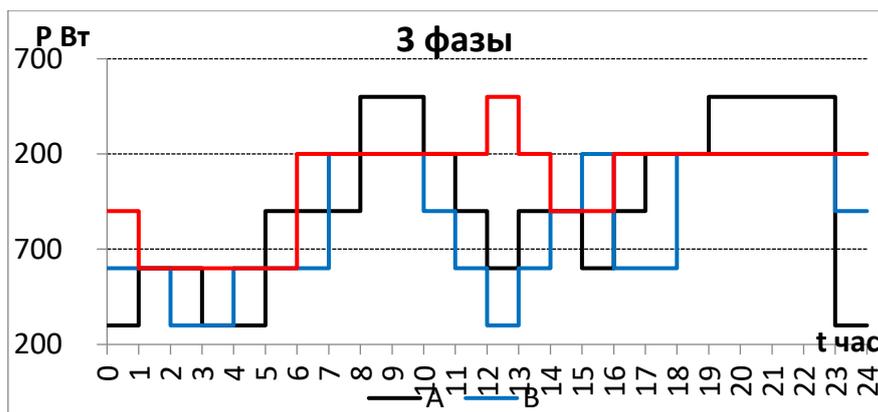
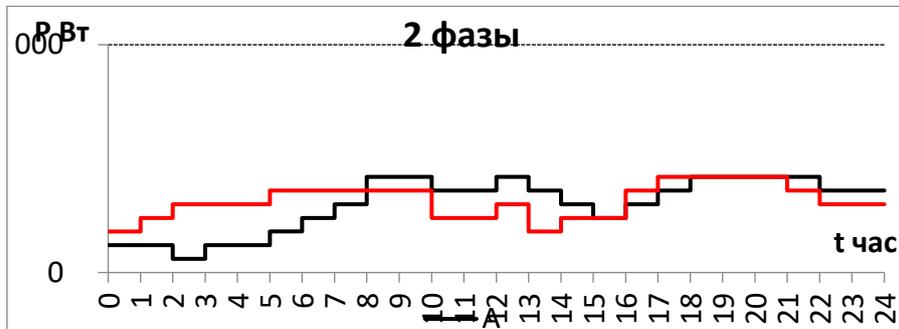


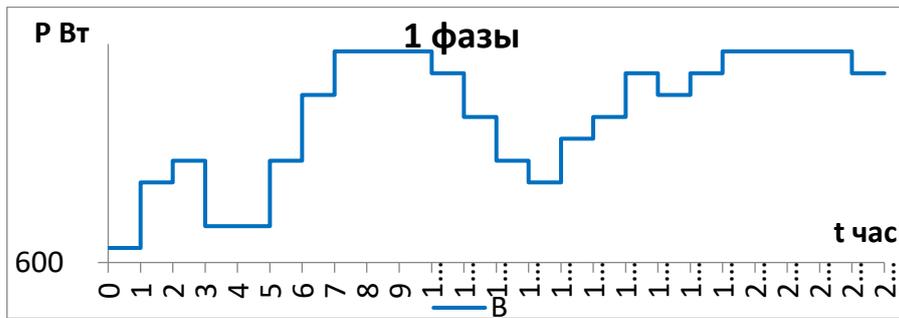
Рис. 9 Экспериментальная установка для исследования влияния показателей качества электроэнергии на элементы электрической сети: 1- электроприемник; 2- магнитные пускатели; 3- реле; 4- счетчик трехфазный электронный; 5- электронный датчик температуры; 6- термостат (физическая модель исследования); 7- Arduino Mega 2560; 8- персональный компьютер.



a)



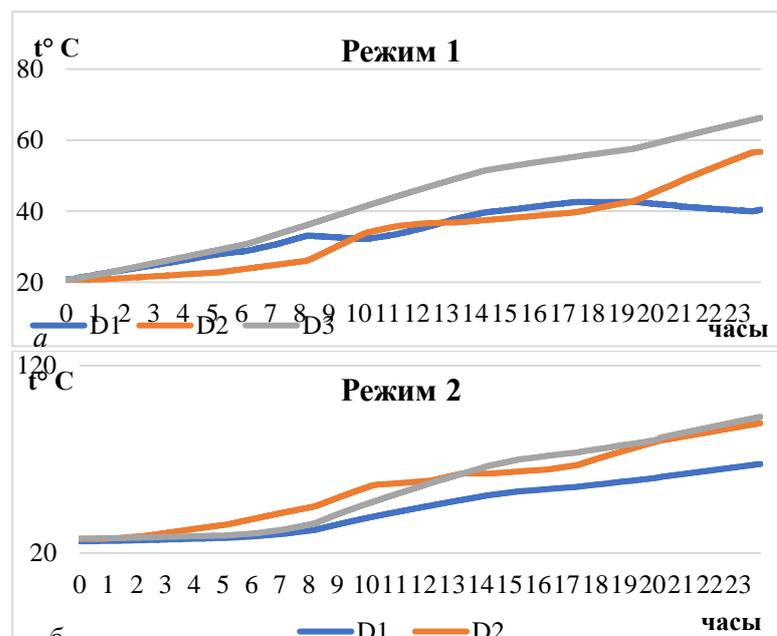
б)



в)

Рис.10. Суточный график электрической нагрузки при разных режимах: а) симметричный режим; б) несимметричный режим, при нагрузке на две фазы; в) несимметричный режим, при нагрузке на одну фазу (крайний режим несимметрии).

На Рис. 12 показаны зависимости температуры нагрева элемента в течении суток, где а) симметричный режим; б) несимметричный режим, при нагрузке на две фазы; в) несимметричный режим, при нагрузке на одну фазу (крайний режим несимметрии).



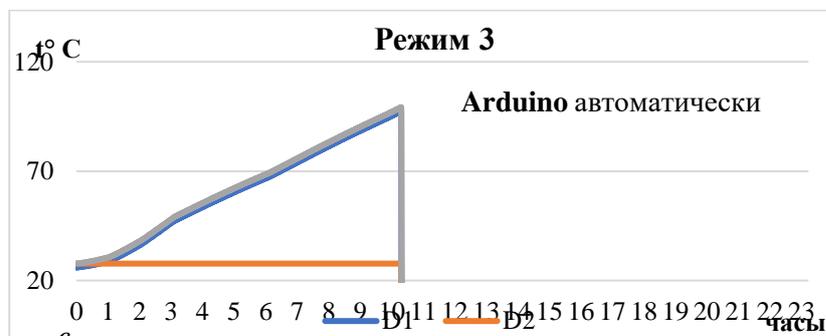


Рис. 11. Зависимость температуры нагрева элемента в течении суток:

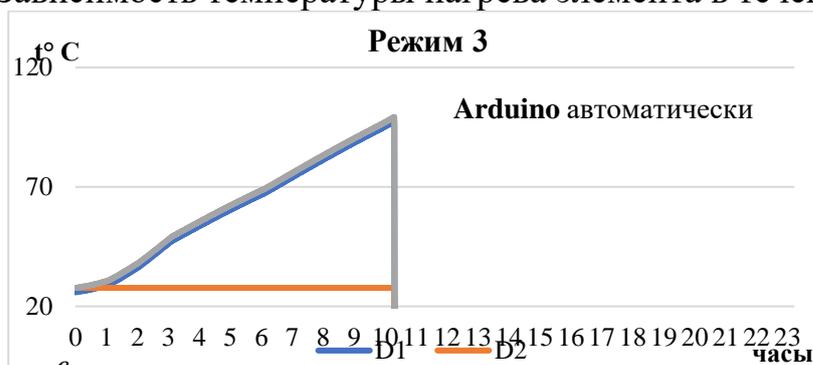


Рис. 12 Зависимость температуры нагрева элемента в течении суток:

- а) симметричный режим; б) несимметричный режим, при нагрузке на две фазы; в) несимметричный режим, при нагрузке на одну фазу (крайний режим несимметрии).

На основании проведенного экспериментального исследования влияния несимметрии на потери электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ, расчета и анализа результатов необходимо сделать следующие выводы:

В сетях 0,4 кВ с коммунально-бытовыми потребителями коэффициент неравномерности фаз изменяется от 0 до 0,47, что увеличивает потери электроэнергии до 2,1 раза, а в предельном случае, когда  $K_{нес} = 1$ , до 6 раз.

1. Необходимо определить экспериментально по сезонам года коэффициент несимметрии и типовой суточный график для характерных потребителей.

2. Одной из мер по снижению потерь электроэнергии и повышению ее качества в электрических сетях 0,4 кВ признать увеличение сечения нулевого провода до величины, равной или даже большей, чем сечение фазного провода.

3. Исследования свидетельствуют о влиянии несимметрии на рост потерь электроэнергии в электрических сетях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена задача исследования расчета потерь при несимметричном режиме в сельских электрических сетях напряжением 380 В.

Для взаимной увязки нормативов потерь, мероприятий по их снижению и стимулирования снижения потерь до нормативного уровня (или их поддержания на этом уровне) должны быть разработаны, утверждены и введены в действие методики расчёта фактических потерь электроэнергии в сетях сельско-хозяйственного назначения, а также методики расчёта фактической эффективности мероприятий по снижению потерь. При отсутствии таких методик имеется множество возможностей подгонки фактических потерь к заданному нормативу.

Новый способ измерения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях, и разработанная программа “Управление переключениями нагрузок с исследованием режимов несимметрии в электрических сетях”, у которой алгоритм переключений нагрузок с фиксированным интервалом времени и мгновенной обработкой данных с электронных термодатчиков, для исследования несимметрии в электрических сетях предложенный автором, который дает возможность измерить потери электроэнергии в электрических сетях с меньшей погрешностью по сравнению с существующими способами до 6%.

Введение позволит исследовать несимметрию в электрических сетях.

Проведенный анализ наиболее распространенных методов расчета потерь ЭЭ в низковольтных сетях показал, что - рассмотренные детерминированные методы расчета отличаются достаточно высокими погрешностями (9-56%) вычислений потерь ЭЭ при недостатке достоверных данных о схемных и режимных параметрах и возможных принятых допущениях

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Абдиева З.Э.**, Оценка влияния несимметрии нагрузки на потери электрической энергии в сетях 0,4 кВ [Текст] / З.Э.Абдиева // Известия, КГТУ, им. И. Раззакова. Том: 32 №1. Бишкек, 2014 - С. 157-159
2. **Абдиева З.Э.**, Куржумбаева Р.Б. Решение проблем по подготовке кадров для энергетики [Текст] / З.Э.Абдиева, Р.Б.Куржумбаева // Известия КГТУ им. И. Раззакова. Том: 41 (1-2). - С. 92-95, (**Импакт-фактор РИНЦ 2016: 0,096**)
3. **Абдиева З.Э.**, Перспективы энергетической стратегии Кыргызской Республики и роль подготовки кадров для успешной ее реализации [Текст] /З.Э. Абдиева, В.М. Касымова, Р.Б. Куржумбаева, Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов, Международный научно-исследовательский журнал. № 7-3 (61). - С. 41-44, (**Импакт-фактор РИНЦ 2016: 0,145**)
4. **Абдиева З.Э.**, Влияние несимметрии напряжения на потери электроэнергии в системах электроснабжения, [Текст] / З.Э.Абдиева, Б.И. Сариев, Р.Б. Куржумбаева, Х.Т. Касмамбетов //Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия» Новосибирский институт программных систем., №2 (20). -С. 46-51, (**Импакт-фактор РИНЦ 2016: 0,152**)
5. **Абдиева З.Э.**, Повышение качества электроэнергии в сетях 0.38 кВ на основе управления электропотреблением, [Текст] / З.Э.Абдиева , Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов, А.С. Рырсалиев //Известия КГТУ им. И. Раззакова. Том: 44 №4. -С. 235-240, (**Импакт-фактор РИНЦ 2016: 0,96**)
6. **Абдиева З.Э.**, Экспериментальное исследование несимметрии трехфазной системы напряжений [Текст] / З.Э.Абдиева, Б.И. Сариев, Р.Б. Куржумбаева, Х.Т. Касмамбетов //Научно-технический вестник брянского государственного университета, Том: 2,-С. 218-225 (**Импакт-фактор РИНЦ 2016: 0,56**)
7. **Свидетельство 504 Кыргызская Республика**, Управление переключением нагрузок с исследованием режимов несимметрии в электрических [Текст] / З.Э.Абдиева, Р.Б. Куржумбаева, Кыргызпатент, № 504 от 17 мая 2018
8. **Свидетельство 3351 Кыргызская Республика** Способ измерения потерь электроэнергии в электрических сетях» [Текст] / З.Э. Абдиева, Х.Т. Касмамбетов, Р.Б. Куржумбаева // Кыргызпатент, № 3351 от 04 июня 2018
9. **Патент №187 Кыргызская Республика**, Устройство для автоматического переключения однофазных потребителей [Текст] / З.Э.Абдиева, Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов, М.А. Суеркулов, Кыргызпатент, № 187 от 27 июня 2014.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Абдиевой Зарина Эдилбековны на тему:

**«Исследование, расчет потерь напряжения и электроэнергии в сетях 380-220 В при несимметричных режимах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.**

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, сельско-хозяйственные потребители, несимметрия, термостат, рассеивание.

**Объект исследования:** Сельскохозяйственные электрические сети 380 В.

**Цель исследования:** является развитие методов расчета потерь электроэнергии в сельских электрических сетях напряжением 380 В, вызванных наличием нагрузок с несимметричным характером.

**Методы исследования:** для достижения задач, определенных в диссертационной работе применялись основные положения теории электрических цепей и метода симметричных составляющих, численного программирования и натурального эксперимента.

**Научная новизна:** способ измерения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях с помощью разработанной экспериментальной установки, основным элементом которой являются колбы. В колбах расположены физические модели элементов трехфазной электрической сети. Основным устройством установки является разработанная программа «Управления переключениями нагрузок с исследованием режимов несимметрии в электрических сетях» на основе Arduino, с помощью которого проводится экспериментальное исследование по влиянию несимметрии на потери электроэнергии; выявления коэффициента разности рассеивания энергии при повышении сопротивления токопроводящих жил при номинально заданной температуры.

**Полученные результаты:** Исследовано несимметричный режим сельских электрических сетей напряжением 380 В и анализ методов расчета потерь ЭЭ, и определение зависимости от уровня несимметрии при несимметричном режиме.

Разработан способ измерения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ, при различных режимах потребления электроэнергии с помощью термостата. Найдено численное значение для определения рассеивания энергии при номинально заданной температуре, с учетом повышения сопротивления токопроводящих жил. Разработана экспериментальная установка, физической модели элементов трехфазной электрической сети с помощью Arduino.

**Степень использования:** Достоверность произведенных исследований подтверждается корректностью использованных методов расчётов симметричных составляющих токов и напряжений. Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научно-практических конференциях КГТУ международной научно-практической конференции ежегодной конференции бакалавров, магистров.

**Зарина Эдилбековна Абдиеванын 05.20.02 – Айыл чарбасындагы электротехнология жана электр жабдуулары адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденүүгө “Асимметриялуу режимдерде 380 В тармактарындагы электр энергиясынын жоготууларын изилдөө, эсептөө” темасындагы диссертацияга**  
**КОРУТУНДУ**

**Ачкыч сөздөр:** электр энергиясын жоготуу, айыл чарба керектөөчүлөрү, асимметрия, термостат, дисперсия.

**Изилдөөнүн объектиси:** 380 В чыңалуудагы айыл чарба керектөөчүлөрү электр тармактарында асимметриялык мүнөздөгү жүктөрдүн болушунан келип чыккан электр энергиясын жоготууларды эсептөө методдорун иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн максаты:** электр энергиясын туруктуу параметрлери менен балластсыз нагруккасы жана гидрогенератордун роторун ылдамдатуудан көз карандысыз бир фазалууавтономдук айыл чарба керектөөчүлөр үчүн чакан-СЭЧ иштеп чыгуужана тажрыйба жасоочу үлгүлөр менен иштетип көрүү.

**Изилдөөнүн методдору** Диссертациялык иште аныкталган милдеттерге жетүү үчүн электр чынжырларынын теориясынын жана симметриялык компоненттердин методунун негизги жоболору, сандык программалоо жана толук масштабдуу эксперимент колдонулган.

**Илимий жаңычылыгы:** негизги элементи колба болгон иштелип чыккан эксперименталдык түзүлүштү колдонуу менен айыл чарба электр тармактарында электр энергиясынын жоготууларын өлчөө ыкмасы. Колбаларда үч фазалуу электр тармагынын элементтеринин физикалык моделдери бар. Орнотуунун негизги түзүлүшү Arduino базасында иштелип чыккан “Электр тармактарындагы дисбаланстык режимдерди изилдөө менен жүктөөнү башкаруу” программасы болуп саналат, анын жардамы менен энергиянын жоготууларына дисбаланстын таасири боюнча эксперименталдык изилдөө жүргүзүлөт; номиналдык белгиленген температурада ток өткөргүчтөрдүн каршылыгынын жогорулашы менен энергиянын диссипациясынын айырмасынын коэффициентин ачуу.

**Алынган натыйжалар:** 380 В чыңалуудагы айылдык электр тармактарынын асимметриялык режими изилденип, энергиянын жоготууларын эсептөө ыкмаларына талдоо жүргүзүлдү жана асимметриялык режимде асимметриянын деңгээлине көз карандылыгын аныктоо. Термостаттын жардамы менен электр энергиясын керектөөнүн ар кандай режимдери менен 0,38 кВ айылдык электр тармактарында электр энергиясынын жоготууларын өлчөө ыкмасы иштелип чыккан. Өткөргүч өткөргүчтөрдүн каршылыгынын жогорулашын эске алуу менен номиналдуу белгиленген температурада энергиянын чыгымын аныктоо үчүн сандык маани табылат. Arduino аркылуу үч фазалуу электр тармагынын элементтеринин физикалык модели эксперименталдык түзүлүш иштелип чыкты.

**Колдонуу деңгээли:** Изилдөөнүн ишенимдүүлүгү токтуун жана чыңалуулардын симметриялык компоненттерин эсептөө үчүн колдонулган методдордун тууралыгы менен ырасталат жана Кыргыз Республикасынын алыскы айыл чарба керектөөчүлөрү колдонууга мүмкүн.

## SUMMARY

**For Abdiyeva Zarina's research dissertation on the theme: « Research, calculation of electricity losses in 380 V networks in asymmetric modes» for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.20.02 - Electrotechnology and electrical equipment in agriculture.**

**Key words:** electrical loss, agricultural consumers, asymmetry, thermostat, dispersion.

**Object of the research:** low-pressure micro-HPP with automatic stabilization of parameters of generated electricity for rural consumers.

**The purpose of the research:** is the development of methods for calculating electricity losses in rural electric networks with a voltage of 380 V, caused by the presence of loads with an asymmetric nature.

**Research methods:** To achieve the tasks defined in the dissertation work, the basic provisions of the theory of electrical circuits and the method of symmetric components, numerical programming and a full-scale experiment were applied.

**Scientific novelty:** make up: a method for measuring electricity losses in rural electrical networks using a developed experimental setup, the main element of which are flasks. The flasks contain physical models of the elements of a three-phase electrical network. The main device of the installation is the developed program "Control of load switching with the study of unbalance modes in electrical networks" based on Arduino, with the help of which an experimental study is carried out on the influence of unbalance on power losses; revealing the difference coefficient of energy dissipation with an increase in the resistance of current-carrying conductors at a nominally specified temperature.

**The obtained results:** The asymmetric mode of rural electric networks with a voltage of 380 V was investigated and the analysis of methods for calculating energy losses and the determination of the dependence on the level of asymmetry in the asymmetric mode.

A method has been developed for measuring electricity losses in rural electrical networks of 0.38 kV, with various modes of electricity consumption using a thermostat. A numerical value is found to determine the energy dissipation at a nominally specified temperature, taking into account the increase in the resistance of the conductive conductors. An experimental setup has been developed, a physical model of the elements of a three-phase electrical network using Arduino.

**Degree of use:** The reliability of the research is confirmed by the correctness of the methods used for calculating the symmetrical components of currents and voltages. The main provisions and results of research were reported and discussed at the annual scientific and practical conferences of KSTU international scientific and practical conference of the annual conference of bachelors, masters.