

На правах рукописи



ХАНИН ЮРИЙ ИВАНОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В
СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 0,38 КВ С КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОЙ
НАГРУЗКОЙ ПОСРЕДСТВОМ КОМПЕНСАЦИИ НЕАКТИВНЫХ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Зерноград, 2017

Диссертационная работа выполнена в Азово-Черноморском инженерном институте – филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде.

Научный
руководитель: кандидат технических наук, профессор
Юндин Михаил Анатольевич

Официальные
оппоненты: **Тропин Владимир Валентинович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», профессор кафедры «Применение электрической энергии».

Костинский Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», доцент кафедры «Электроснабжение и электропривод».

Ведущая
организация: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (г. Саратов).

Защита состоится «12» мая 2017 года в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 999.021.02 при ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» по адресу: 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21, АЧИИ, в зале диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде и на сайте ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» <http://www.dongau.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <http://vak.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» <http://www.dongau.ru/>.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук
профессор



Н. И. Шабанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день энергосбережение является главным направлением энергетической стратегии России в сложившихся экономических условиях на фоне возрастающего потребления электроэнергии и отставания роста генерирующих мощностей.

Для реализации задач энергосбережения и повышения энергоэффективности электрических сетей был принят Федеральный Закон Российской Федерации №261-ФЗ от 23 ноября 2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Энергопотребление коммунально-бытового сектора села в настоящее время в 2 раза превышает энергопотребление производственного сектора и является наиболее крупным энергопотребляющим сектором на селе. Нагрузка в сельской коммунально-бытовой сети напряжением 0,38 кВ является несимметричной, а количество нелинейных нагрузок, генерирующих в электрическую сеть высшие гармоники тока, с каждым годом увеличивается, в результате чего по электрической сети протекают неактивные составляющие полной мощности, которые вызывают дополнительные нагрузочные потери электроэнергии в элементах электрической сети.

Таким образом, оценка влияния неактивных составляющих полной мощности на потери электроэнергии в сельских распределительных сетях напряжением 0,38 кВ и разработка мер по их снижению чрезвычайно актуальны и служат для успешного решения стратегических задач по наращиванию экономического потенциала аграрного сектора.

Степень разработанности темы. Вопросами повышения эффективности передачи электрической энергии за счет снижения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии занимались многие ученые как в России, так и за рубежом: Агунов А.В., Аррилага Дж., Верде Паола, Воротницкий В.Э., Васильева Т.Н., Дрехслер Р., Жежеленко И.В., Железко Ю.С., Карташев И.И., Косоухов Ф.Д., Левин М.С., Лещинская Т.Б., Наумов В.И., Розанов Ю.К., Савенко А.В., Сердешнов А.П., Троицкий А.И., Тропин В.В., Шидловский А.К., Шпиганович А.Н., Юндин М.А. и др.

В большинстве научных работ исследуются искажающие факторы, влияющие на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии по отдельности, считая остальные идеальными. В результате этого не учитывается взаимовлияние факторов друг на друга. В реальных электрических сетях на величину дополнительных потерь электроэнергии влияет совокупность искажающих факторов, изменение одного из которых приводит к изменению остальных. Таким образом, важной задачей становится определение совокупного влияния неактивных составляющих полной мощности на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в реальных сельских распределительных сетях напряжением

0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой.

Научная гипотеза – наиболее полное устранение нагрузочных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 6-10/0,4 кВ и линиях электропередачи напряжением 0,38 кВ сельских распределительных сетей с коммунально-бытовой нагрузкой невозможно без подавления высших гармоник тока, среди которых наиболее влиятельной является третья гармоника в нулевом проводе электрической сети.

Рабочая гипотеза – компенсация тока третьей гармоники в нулевом проводе сельской распределительной сети напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой возможна путем установки электромагнитного компенсатора с включением трансформаторов тока на разность фаз.

Цель работы – обоснование способов и технических средств, повышающих эффективность электропередачи в сельских распределительных сетях напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой посредством компенсации неактивных составляющих полной мощности.

Объектом исследования является силовой трансформатор 6-10/0,4 кВ и линия электропередачи напряжением 0,38 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой.

Предметом исследования является взаимосвязь дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии с комплексом факторов, вызывающих неактивные составляющие полной мощности в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ и линии электропередачи напряжением 0,38 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ существующих технических средств, повышающих коэффициент мощности, улучшающих форму и симметрию токов сети напряжением 0,38 кВ. Определить возможные пути повышения эффективности электропередачи в сельских электрических сетях напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой.

2. Уточнить методику расчёта нагрузочных потерь электроэнергии в элементах электрической сети 0,38 кВ с учетом влияния токов несимметрии и высших гармоник. Определить среднестатистические значения времени максимума нагрузки, времени наибольших потерь и коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих.

3. Провести экспериментальные исследования влияния одновременно изменяющихся уровня напряжения, коэффициента мощности, несимметрии и несинусоидальности токов на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в действующих электрических сетях напряжением 0,38 кВ, питающих коммунально-бытовых потребителей.

4. Аналитически определить степень влияния неактивных составляющих полной мощности на величину дополнительных нагрузочных

потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой.

5. Разработать метод и устройство для снижения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии за счет компенсации неактивных составляющих полной мощности и оценить экономическую эффективность предлагаемых технических разработок.

Научная новизна заключается в:

- ранжировании факторов, определяющих снижение нагрузочных потерь электроэнергии в элементах сельской распределительной сети напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой;

- разработанных регрессионных моделях для оценки дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии и определении степени влияния неактивных составляющих полной мощности на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой;

- полученной зависимости изменения тока третьей гармоники в нулевом проводе в течение суток на вводе 0,4 кВ силового трансформатора сельских распределительных сетей с коммунально-бытовой нагрузкой;

- уточненной методике расчета дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой посредством времени наибольших потерь и коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих;

- обосновании технического средства для снижения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии за счет компенсации неактивных составляющих полной мощности.

Теоретическую и практическую значимость работы представляют:

- определенные численные значения времени использования максимума нагрузки, времени наибольших потерь, коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока сельской распределительной сети напряжением 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой;

- полученные статистические значения долей составляющих дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой;

- уточненная методика расчета дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой посредством времени наибольших потерь и коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих;

– разработанный электромагнитный компенсатор тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методы математической статистики, корреляционно-регрессионного анализа, теоретического анализа, основные положения теоретических основ электротехники, теорий нелинейных электрических цепей и гармонического анализа. Данные экспериментальных исследований получены с использованием современных сертифицированных приборов: анализаторов качества электроэнергии НЮКИ 3196 и Энергомонитор 3.3Т, осциллографа смешанных сигналов АКТАКОМ АСК-4166, токоизмерительных клещей АКТАКОМ АТК-1001, универсального цифрового мультиметра, счетчика Меркурий 230. В расчетах использовались специализированные высокоточные компьютерные программы: Mathcad 15, StatSoft *STATISTICA* 6.0, Multisim 10.1, MS Excel 2010.

На защиту выносятся следующие основные результаты и положения:

– уточненная методика расчета дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой посредством времени наибольших потерь и коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих;

– полученные численные значения времени использования максимума нагрузки, времени наибольших потерь, коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих;

– регрессионные модели для оценки дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой;

– зависимость изменения тока третьей гармоники в нулевом проводе в течение суток на вводе 0,4 кВ силовых трансформаторов сельских распределительных сетей с коммунально-бытовой нагрузкой;

– принципиальные электрические схемы электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

Степень достоверности и апробация работы.

Достоверность научных результатов подтверждается применением научно-обоснованных методов, корректным использованием математического аппарата с использованием современных математических и статистических компьютерных систем, использованием сертифицированных высокоточных измерительных средств, проверочными тестами математических моделей, расчетами на конкретных примерах и измерениях, адекватностью теоретических и экспериментальных результатов.

Разработанные электротехнические устройства «Электромагнитный компенсатор тока третьей гармоники 4-х проводной сети» и «Устройство для

компенсации тока 3-ей гармоники в нулевом проводе 4-х проводной сети» внедрены в Зимовниковский РЭС ПО ВЭС филиала ПАО «МРСК Юга» - «Ростовэнерго». Методика расчета дополнительных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 6-10/0,4 кВ сельских коммунально-бытовых сетей 0,38 кВ используется в учебном процессе Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде на кафедре «Электроэнергетика и электротехника» и ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ на кафедре «Электроснабжение с.-х. и ТОЭ».

Основные положения и результаты исследований диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях и конкурсах: в Азово-Черноморском инженерном институте - филиале ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград в 2012-2014 г., в ФГБОУ ВО СтГАУ, г. Ставрополь в 2012-2014 г., в ФГБОУ ВО СГАУ имени Н.И. Вавилова, г. Саратов в 2014 г., в ФГБОУ ВО МГАУ, г. Москва в 2012 г., в ТДАТУ, г. Мелитополь в 2012 г., в ФГБОУ ВО ВГТУ, г. Воронеж в 2013 г., ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии, г. Москва в 2013-2014 г., в Анапском филиале ФГБОУ ВО КубГАУ, г. Анапа в 2013г., в АННОО «Приволжский Дом знаний», г. Пенза в 2014 г., в ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, г. Зерноград в 2014 г., в ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград 2014-2016 г.

Публикации. По результатам исследований получены в соавторстве 4 патента и опубликованы 20 печатных работ, в том числе 2, в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 116 наименований (т.ч. 15 на иностранных языках) и приложения. Основное содержание работы изложено на 177 страницах машинописного текста, включая 73 рисунка и 31 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, приведены цель и задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту диссертации, а также изложена научная новизна, практическая и теоретическая значимости работы.

В первой главе «**Аналитический обзор причин возникновения и способов снижения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой**» приведена характеристика сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой, динамика и структура потерь электроэнергии в электрической сети напряжением 0,38 кВ, произведен обзор и анализ технических средств борьбы с составляющими неактивной мощности.

Анализ динамики и структуры потерь электроэнергии в электрических

сетях РФ показал, что в энергосистемах со значительной бытовой нагрузкой относительные потери электроэнергии, как правило, значительно выше. Потребление электроэнергии с каждым годом увеличивается, соответственно растут в абсолютном значении и потери электроэнергии, но, несмотря на положительную динамику снижения относительных потерь электроэнергии в последние несколько лет, их значение, по-прежнему, находится на высоком уровне. Нагрузочные потери электроэнергии в электрической сети напряжением 0,38 кВ помимо активной составляющей, обусловленной протеканием активной мощности, включают в себя дополнительные нагрузочные потери электроэнергии, возникающие при протекании по сети неактивных составляющих полной мощности, обусловленных токами высших гармоник, симметричных составляющих основной частоты и реактивными прямой последовательности основной частоты.

Большинство методов снижения дополнительных потерь электроэнергии по техническим или экономическим причинам не могут быть использованы в сельских электрических сетях 0,38 кВ. Наиболее перспективными являются активные методы компенсации, основанные на генерации сигнала в противофазе, однако, они также имеют ряд недостатков.

Во второй главе «**Определение и снижение дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в элементах сельской распределительной сети 0,38 кВ**» представлена математическая модель возникновения неактивных составляющих полной мощности в несимметричной и несинусоидальной трехфазной системе, также теоретическое обоснование влияния этих составляющих на величину потерь электроэнергии, уточнена методика определения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток Y/Ун. Разработана компьютерная модель сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ с нелинейной нагрузкой, генерирующей токи частотой 150 Гц. Разработан электромагнитный компенсатор тока третьей гармоники 4-х проводной сети, теоретически обоснована эффективность его работы.

Нагрузочные потери электроэнергии в силовом трансформаторе (СТ) можно разложить на составляющие:

$$\Delta W_{нагр} = \Delta W_{IAKT} + \Delta W_{Д.РМ} + \Delta W_{Д.Н} + \Delta W_{Д.ВГ},$$

где ΔW_{IAKT} – активные потери электроэнергии в СТ, Вт·ч; $\Delta W_{Д.РМ}$, $\Delta W_{Д.Н}$, $\Delta W_{Д.ВГ}$ – дополнительные потери электроэнергии в СТ от протекания реактивного тока прямой последовательности основной гармоники, из-за несимметрии токов и от протекания токов высших гармоник, соответственно, Вт·ч.

Активные потери электроэнергии в СТ представляют собой потери необходимые для передачи электроэнергии:

$$\Delta W_{IAKT} = 3 \cdot \sum (I_1 \cdot \cos(\varphi_1))^2 \cdot r_{кз} \cdot \Delta t,$$

где I_1 – ток прямой последовательности основной частоты, А; φ_1 – угол

между напряжением и током прямой последовательности основной частоты, град; Δt – интервал времени, в течение которого действует токовая нагрузка.

Дополнительные потери в СТ от протекания реактивного тока прямой последовательности основной гармоники:

$$\Delta W_{Д.РМ} = 3 \cdot \sum (I_1 \cdot \sin(\varphi_1))^2 \cdot r_{кз} \cdot \Delta t.$$

Дополнительные потери электроэнергии в СТ из-за несимметрии токов, включают нагрузочные потери электроэнергии от протекания токов обратной и нулевой последовательностей основной гармоники:

$$\Delta W_{Д.Н} = \Delta W_2 + \Delta W_0,$$

где $\Delta W_2 = 3 \cdot \sum I_2^2 \cdot r_{кз} \cdot \Delta t$, $\Delta W_0 = 3 \cdot \sum I_0^2 \cdot r_{0кз} \cdot \Delta t$ – потери электроэнергии от протекания токов обратной и нулевой последовательности основной гармоники, соответственно, Вт·ч; I_2 , I_0 – токи обратной и нулевой последовательности основной частоты, А; $r_{0кз} = (9 \div 11) \cdot r_{кз}$ – сопротивление короткого замыкания СТ для нулевой последовательности основной частоты, Ом.

Дополнительные потери электроэнергии в СТ от протекания токов высших гармоник:

$$\Delta W_{Д.ВГ} = \sum \Delta W_{(v)},$$

где v – номер соответствующей гармоники; $\Delta W_{(v)} = \Delta W_{A(v)} + \Delta W_{B(v)} + \Delta W_{C(v)} + \Delta W_{N(v)}$ – потери электроэнергии в СТ от протекания токов v -ой гармоники, Вт·ч; $\Delta W_{A(v)}$, $\Delta W_{B(v)}$, $\Delta W_{C(v)}$, $\Delta W_{N(v)}$ – потери электроэнергии в соответствующем фазном или нулевом проводе от протекания тока v -ой гармоники, Вт·ч.

Дополнительные потери электроэнергии в фазных и нулевом проводах для СТ от протекания высших гармоник тока:

$$\Delta W_{\Phi(v)} = \sum I_{\Phi(v)}^2 \cdot r_{кз} \cdot \Delta t \cdot k_{(v)} \cdot k_{BT}, \quad \Delta W_{N(v)} = \sum I_{N(v)}^2 \cdot r_{кзN} \cdot \Delta t \cdot k_{(v)} \cdot k_{BT},$$

где $I_{\Phi(v)}$, $I_{N(v)}$ – токи v -ой гармоники соответствующего фазного и нулевого провода, А; $r_{кзN} = 3 \cdot r_{кз}$ – сопротивления нулевого провода СТ, Ом; $k_{(v)} = 0,47 \cdot \sqrt{v}$ – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления вследствие поверхностного и эффекта близости; $k_{BT} = 1 + 0,05 \cdot v^2$ – коэффициент, учитывающий потери от вихревых токов высших гармоник в магнитопроводе и баке СТ.

Для упрощения расчетов были уточнены методики определения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ 6-10/0,4 кВ от протекания токов высших гармоник посредством статистических значений времени наибольших потерь τ и коэффициента формы графиков нагрузки k_{ϕ}^2 :

$$\Delta W_{(v)} = (I_{A.cр(v)}^2 + I_{B.cр(v)}^2 + I_{C.cр(v)}^2) \cdot k_{\phi(v)}^2 \cdot r_{кз} \cdot 24 \cdot k_{(v)} \cdot k_{BT},$$

$$\Delta W_{(v)} = (I_{A.макс(v)}^2 + I_{B.макс(v)}^2 + I_{C.макс(v)}^2) \cdot r_{кз} \cdot \tau_{(v)} \cdot k_{(v)} \cdot k_{BT},$$

где $I_{A.cр(v)}$, $I_{B.cр(v)}$, $I_{C.cр(v)}$, $I_{A.макс(v)}$, $I_{B.макс(v)}$, $I_{C.макс(v)}$ – среднесуточные и максимальные токи фаз v -ой гармоники, соответственно, А.

И аналогичные выражения для определения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии из-за несимметрии:

$$\Delta W_2 = 3 \cdot I_{2cp}^2 \cdot k_{\phi 2}^2 \cdot r_{кз} \cdot 24, \Delta W_0 = 3 \cdot I_{0cp}^2 \cdot k_{\phi 0}^2 \cdot r_{0кз} \cdot 24,$$

$$\Delta W_2 = 3 \cdot I_{2макс}^2 \cdot r_{кз} \cdot \tau_2, \Delta W_0 = 3 \cdot I_{0макс}^2 \cdot r_{0кз} \cdot \tau_0,$$

где I_{2cp} , I_{0cp} , $I_{2макс}$, $I_{0макс}$ – среднесуточные и максимальные токи обратной и нулевой последовательности, соответственно, А.

На рисунке 1 представлена схема электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

Действие электромагнитного компенсатора основано на том, что под действием первичных напряжений во вторичных обмотках трансформаторов тока $ТТ1-ТТ6$ индуцируются вторичные токи, которые, проходя через диоды $VD1-VD3$ трехфазного однополупериодного выпрямителя с нулевой точкой, выпрямляются. Кратность пульсаций выпрямленного тока, протекающего во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока $ТТ7$, по отношению к основной частоте первичной сети, равна трем. Для компенсации постоянной составляющей и нежелательных гармоник выпрямленного тока введен фильтр $L1-C1$ с полосой пропускания 150 Гц. В результате ток, протекающий через измерительный трансформатор тока $ТТ7$, будет содержать только токи частотой 150 Гц, а вторичные обмотки не будут дополнительно прогреваться.

За счет включения ТТ на разность фаз достигается увеличение амплитуды компенсирующего тока третьей гармоники в $\sqrt{3}$ раз и сдвиг фазы на 90° .

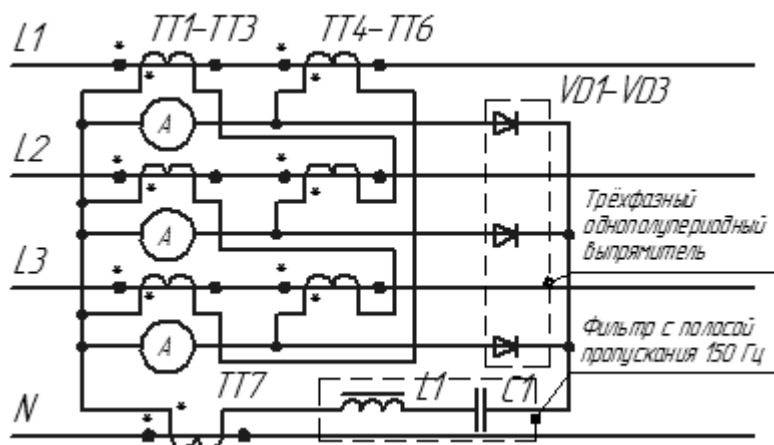


Рисунок 1 –
Электромагнитный
компенсатор тока
третьей гармоники
4-х проводной сети

В третьей главе «Методика проведения исследований в сельских электрических сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой» представлена методика проведения экспериментальных измерений исходных данных для расчета дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии, определения времени максимума нагрузки, времени наибольших потерь и коэффициента формы суточных графиков нагрузки. Описана схема проведения экспериментальных исследований электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

Посредством сертифицированных анализаторов качества электроэнергии Hioki 3196 и Энергомонитора 3.3Т1 были проведены

исследования ТП 10/0,4 кВ, питающих коммунально-бытовую нагрузку, и получены 37 суточных баз данных с минутным усреднением, таким образом, интервал усреднения $\Delta t = 1/60$ ч.

Для определения факторов, влияющих на дополнительные потери электроэнергии в СТ 10/0,4 кВ сельской коммунально-бытовой сети, был проведен корреляционно-регрессионный анализ. В качестве входных факторов, предположительно влияющих на дополнительные нагрузочные потери электроэнергии в СТ, приняты среднесуточные значения следующих величин: δU – среднего значения отклонения фазных напряжений; pF – среднего значения коэффициента мощности фаз; K_{2i} , K_{0i} – коэффициентов несимметрии токов по обратной и нулевой последовательности; K_i – среднего значения суммарного коэффициента гармонических искажений фазных токов; K_3 – коэффициента загрузки СТ. Выходными переменными, для которых определяются регрессионные модели, являются: $\Delta W_{д\%}$ – дополнительные нагрузочные потери электроэнергии в СТ, отнесенные к активным нагрузочным потерям в СТ, %.

Для подтверждения эффективности схемы электромагнитного компенсатора с 6-ю ТТ на разность фаз и практического определения эффекта от его использования были проведены три лабораторных эксперимента: с ТТ без диодов, с 3-мя ТТ и диодами, с 6-ю ТТ на разность фаз и диодами. Лабораторная модель включает в себя: источник питания трансформатор 220/380 мощностью 1 кВА, воздушную линию и несимметричную нелинейную нагрузку: лампа накаливания 500 Вт и две лампы ДРЛ 250 Вт. Энергетические характеристики фиксировались счетчиком Меркурий 230, анализатором качества электроэнергии НЮКИ3196, токоизмерительными клещами АКТАКОМ АТК-1001, осциллографом АКТАКОМ АСК-4166, мультиметром. Электромагнитный компенсатор включал в себя: 7 трансформаторов тока ТТИ-А 30/5; 3 диода 2Д201В 5А, 200В.

В четвертой главе «**Результаты экспериментальных исследований в сельских электрических сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой**» определены значения и доли дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ 10/0,4 кВ. Получены регрессионные модели для оценки дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии. Определены численные значения времени использования максимума нагрузки, времени наибольших потерь, коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих. Получена зависимость изменения тока третьей гармоники в нулевом проводе в течение суток. Приведены результаты экспериментального исследования и производственной проверки электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

По полученным данным прошедшим первичную обработку в соответствии с описанными условиями определены нагрузочные потери электроэнергии в СТ со схемой соединения обмоток Y/Yn. На рисунке 2 представлены среднестатистические значения долей составляющих

нагрузочных потерь электроэнергии в СТ со схемой соединения обмоток Y/Y_n .

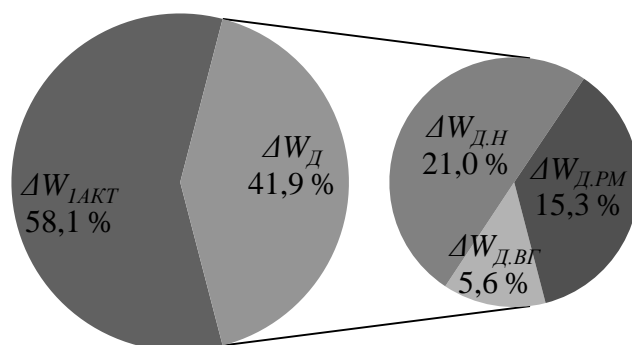


Рисунок 2 –
Составляющие
нагрузочных потерь
электроэнергии в СТ
со схемой
соединения обмоток
 Y/Y_n

Расчеты также показали, что потери электроэнергии от протекания тока 3-ей гармоники занимают львиную долю (67,5%) всех дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ от протекания по сети токов высших гармоник.

Исследования динамики тока третьей гармоники нулевого провода показали, что изменение тока третьей гармоники в нулевом проводе за сутки для разных сельских подстанций с коммунально-бытовой нагрузкой имеет одинаковый характер, что позволило получить зависимость (рисунок 3), характеризующую динамику тока третьей гармоники в нулевом проводе, следующего вида: $I^* = -206,03 \cdot t^6 + 555,3 \cdot t^5 - 548,39 \cdot t^4 + 233,13 \cdot t^3 - 33,469 \cdot t^2 - 0,6501 \cdot t + 0,7593$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,79$. Здесь t – время суток, где 0 соответствует 0:00, а 1 соответствует 24:00.

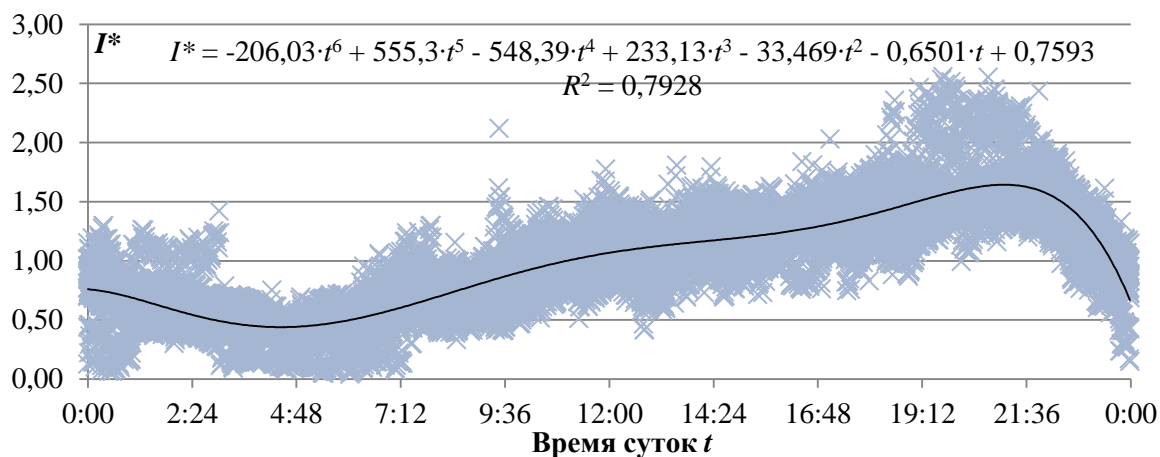


Рисунок 3 – Динамика тока третьей гармоники в нулевом проводе

Для репрезентативной выборки объемом из 37 головных участков сети напряжением 0,38 кВ произведена статистическая оценка средних значений времени использования максимальной нагрузки T_{max} и времени наибольших потерь τ электроэнергии за сутки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих (таблицы 1 и 2) и коэффициентов формы суточных графиков нагрузки k_{ϕ}^2 (таблица 3).

Данные величины следует использовать при расчете дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ 6-10/0,4 кВ от протекания токов

высших гармоник и из-за несимметрии.

Таблица 1 – Статистические характеристики T_{max} и τ за сутки для наиболее значимых гармоник тока фазных проводов

Показатель	Номер гармоники									
	1		3		5		7		9	
	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч
Ср. значение	12,65	7,36	10,39	5,62	12,62	7,71	12,88	7,90	12,41	7,25
Дисперсия	4,41	4,31	4,78	3,42	4,77	4,83	5,50	5,85	4,88	4,39
Ст. отклонение	2,10	2,08	2,19	1,85	2,18	2,20	2,35	2,42	2,21	2,09
Δx при $\alpha=0,95$	0,39	0,39	0,41	0,35	0,41	0,41	0,44	0,46	0,42	0,39
ε , %	3,12	5,30	3,96	6,18	3,25	5,37	3,42	5,76	3,35	5,43

Таблица 2 – Статистические характеристики T_{max} и τ за сутки для симметричных составляющих основной гармоники

Показатель	Последовательность					
	Прямая		Обратная		Нулевая	
	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч	T_{max} , ч	τ , ч
Ср. значение	14,30	9,11	9,05	4,24	9,58	4,65
Дисперсия	2,78	3,56	3,91	2,34	3,29	2,29
Ст. отклонение	1,67	1,89	1,98	1,53	1,81	1,51
Δx при $\alpha=0,95$	0,56	0,63	0,66	0,51	0,60	0,50
ε , %	3,88	6,91	7,27	12,02	6,31	10,84

Таблица 3 – Статистические характеристики k_{ϕ}^2 для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих

Показатель	$v=1$	$v=3$	$v=5$	$v=7$	$v=9$	Прям.	Обр.	Нул.
Ср. значение	1,088	1,224	1,149	1,128	1,123	1,060	1,211	1,196
Дисперсия	0,005	0,011	0,007	0,007	0,011	0,001	0,007	0,006
Ст. отклонение	0,069	0,105	0,083	0,085	0,106	0,031	0,081	0,080
Δx при $\alpha=0,95$	0,013	0,020	0,016	0,016	0,020	0,010	0,027	0,027
ε , %	1,188	1,618	1,366	1,423	1,780	0,961	2,221	2,234

Сведя поминутные значения времени использования максимальных нагрузок и времени наибольших потерь для наиболее значимых гармоник в один массив (рисунок 4), определили зависимость $\tau = 0,0316 \cdot T_{max}^2 + 0,1972 \cdot T_{max} - 0,1039$, которая имеет высокую точность ($R^2 = 0,98$). Таким образом, зная значение времени использования максимальных нагрузок для любой из исследуемых гармоник, можно определить значение времени наибольших потерь.

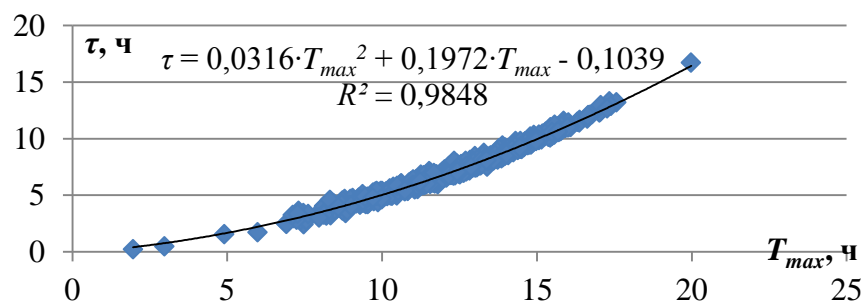


Рисунок 4 –
Зависимость
 $\tau=f(T_{max})$ для 1-ой,
3-ей, 5-ой, 7-ой и 9-
ой гармоник

По результатам корреляционно-регрессионного анализа для наиболее значимых факторов определена регрессионная модель для оценки дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ:

$$\Delta W_{д\%} = 357,45 - 447,45 \cdot pF + 481,67 \cdot K_{oi} + 364,52 \cdot K_i.$$

Модель обладает высокой точностью, коэффициент детерминации $R^2 = 0,93$. Модель справедлива для факторов, изменяющихся в следующих пределах: $pF = 0,76-0,95$, $K_{oi} = 0,05-0,33$, $K_i = 0,03-0,25$. Несимметрия токов оказывает большее влияние на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в СТ, чем реактивный ток прямой последовательности основной гармоники и токи высших гармоник.

Моделирование вечернего максимума нагрузки среднестатистической сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ с нелинейной нагрузкой, генерирующей токи частотой 150 Гц в среде Multisim 10.1 показало, что наибольшая часть тока частотой 150 Гц нелинейного потребителя замыкается через СТ, сопротивление которого значительно меньше, чем сопротивление нагрузок. Таким образом, наиболее предпочтительный способ компенсации – компенсация тока третьей гармоники в нулевом проводе на головном участке сети.

По результатам экспериментального исследования электромагнитного компенсатора (таблица 4) можно увидеть, что потребляемая активная мощность в схеме с 3-мя ТТ снизилась на 0,67%, в схеме с 6-ю ТТ на разность фаз снижение составило 1,09%. Потребление реактивной мощности в схеме с 3-мя ТТ снизилось на 1,98%, а в схеме с 6-ю ТТ на разность фаз на 3,13%. Снижение тока 3-ей гармоники в нулевом проводе в схеме с 3-мя ТТ составило 17,2%, а в схеме с 6-ю ТТ на разность фаз – 39,5%.

Таблица 4 – Усредненные значения энергетических характеристик, полученные по результатам экспериментальных исследований

	ТТ без диодов	3 ТТ и диоды	6 ТТ на разность фаз и диоды
I_a , А	2,28	2,27	2,28
I_b , А	1,76	1,85	1,85
I_c , А	1,62	1,50	1,47
I_n , А	1,44	1,27	1,26
I_{a3} , А	0,0995	0,0807	0,0483
I_{b3} , А	0,1533	0,1506	0,1182
I_{c3} , А	0,1833	0,1308	0,0984
I_{n3} , А	0,2430	0,2012	0,1471
P , Вт	946,16	939,81	935,37
Q , вар	569,70	558,64	552,40

Производственная проверка в Зимовниковском РЭС ПО ВЭС филиала ПАО «МРСК Юга» – «Ростовэнерго» показала, что внедрение электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети в трансформаторные подстанции 6-10/0,4 кВ, питающие преимущественно

коммунально-бытовую нагрузку, позволило уменьшить величину тока третьей гармоники нулевого провода сельской распределительной сети на 64,4% и за год эксплуатации сократить величину потерь электроэнергии с 18,6 до 16,75 %. Эффект от снижения потерь электроэнергии составляет 9,95%.

В пятой главе «Технико-экономическая оценка эффективности электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети» приведен расчет основных технико-экономических показателей усовершенствования электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

На примере одной подстанции произведена оценка экономической эффективности усовершенствования электромагнитного компенсатора в сравнение с базовым вариантом – электромагнитным компенсатором, включающим 3 ТТ в фазных проводах, определены чистый дисконтированный доход – 7024,61 руб., индекс доходности – 5,73, срок окупаемости составил 1,3 года при капитальных вложениях 1260 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования.

1. В силовом трансформаторе 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой при одновременном воздействии несимметричных токов, высших гармоник тока и избыточной реактивной мощности дополнительные нагрузочные потери электроэнергии составляют 41,9% от величины нагрузочных потерь электроэнергии. Таким образом, применение устройств, компенсирующих неактивные составляющие полной мощности, позволит значительно повысить эффективность электропередачи.

2. Определены статистические значения времени использования максимума нагрузки T_{max} , времени наибольших потерь τ и коэффициента формы графика нагрузки k_f^2 для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих в сельских распределительных сетях с коммунально-бытовой нагрузкой. Для наиболее значимых гармоник тока получена зависимость времени наибольших потерь от времени использования максимума нагрузки вида $\tau = 0,0316 \cdot T_{max}^2 + 0,1972 \cdot T_{max} - 0,1039$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$. Данные величины рекомендуется использовать при расчёте дополнительных потерь электроэнергии от протекания токов высших гармоник и из-за несимметрии токов.

3. Получена зависимость изменения тока третьей гармоники в нулевом проводе в течение суток на вводе 0,4 кВ силовых трансформаторов сельских распределительных сетей с коммунально-бытовой нагрузкой следующего вида $I^* = -206,03 \cdot t^6 + 555,3 \cdot t^5 - 548,39 \cdot t^4 + 233,13 \cdot t^3 - 33,469 \cdot t^2 - 0,6501 \cdot t + 0,7593$, коэффициент детерминации $R^2=0,79$. Где t – время суток,

изменяющееся в пределах от 0 (0:00) до 1 (24:00). Данную зависимость рекомендуется использовать при проектировании и определении режимов работы электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети.

4. Получена регрессионная модель для оценки дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ сельских распределительных сетей с коммунально-бытовой нагрузкой вида $\Delta W_{д\%} = 357,45 - 447,45 \cdot pF + 481,67 \cdot K_{oi} + 364,52 \cdot K_i$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,93$. Модель справедлива для факторов, изменяющихся в следующих пределах: $pF = 0,76-0,95$, $K_{oi} = 0,05-0,33$, $K_i = 0,03-0,25$. Коэффициенты регрессии показывают степень влияния искажающих факторов на величину дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии.

5. Внедрение электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети в трансформаторные подстанции 6-10/0,4 кВ, питающие преимущественно коммунально-бытовую нагрузку, позволяет уменьшить величину тока третьей гармоники нулевого провода сельской распределительной сети на 64,4%. Эффект от снижения потерь электроэнергии составляет 9,95%.

6. Основные технико-экономические показатели усовершенствования электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети показали, что при дополнительных капитальных вложениях 1260 руб., возможно получить дополнительную экономию от снижения потерь электроэнергии в размере 1446,89 руб. Чистый дисконтированный доход составляет 7024,61 руб., индекс доходности капиталовложений составляет 5,73, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 1,3 года.

Рекомендации производству. Полученные в диссертации методики, математические модели и статистические значения времени использования максимума нагрузки, времени наибольших потерь, коэффициента формы суточных графиков нагрузки для наиболее значимых гармоник тока и симметричных составляющих рекомендуется использовать при определении значения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 6-10/0,4 кВ сельской распределительной сети с коммунально-бытовой нагрузкой. Разработанный электромагнитный компенсатор тока третьей гармоники 4-х проводной сети рекомендуется использовать в сельских электрических сетях напряжением 0,38 кВ для снижения дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшее повышение эффективности электропередачи в сельских сетях 0,38 кВ целесообразно вести в направлении поиска малозатратных и универсальных устройств активной компенсации неактивных составляющих полной мощности.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Ханин, Ю.И. Дополнительные потери электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). – С. 74–84. (0,69 п.л.).

2. Ханин, Ю.И. О коэффициенте небаланса наиболее значимых высших гармоник токов в сельских коммунально-бытовых сетях 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, Н.И. Шабанов // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – №2(14). – С.102-105. (0,38 п.л.).

В сборниках научных трудов и материалах всероссийских и международных конференций:

3. Ханин, Ю.И. Динамика изменения тока 3-ей гармоники в нулевом проводе / М.А. Юндин, Ю.И. Ханин // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (г. Ставрополь, 15-18 мая 2012 года). – Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2012. – 156с. (0,31 п.л.).

4. Ханин, Ю.И. О дополнительных потерях электроэнергии в сети 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Пленарные доклады и тезисы сообщений Международной НПК «Инновационные проекты в области агроинженерии» 8-9 ноября 2012 г., ФГБОУ ВПО МГАУ, г. Москва, 2012 г. – С.89-91. (0,13 п.л.)

5. Ханин Ю.И. Модель сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ с нелинейной нагрузкой / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Всерос. Конф. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет, 2013. – С.191-193 (0,13 п.л.).

6. Ханин, Ю.И. О временах использования максимальной нагрузки и наибольших потерь электроэнергии от высших гармоник тока в сети 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, А.Н. Чепурнов // Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования: сборник научных трудов. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2014. – 304с. (0,31 п.л.).

7. Ханин, Ю.И. Дополнительные потери электроэнергии от токов высших гармоник в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, А.Б. Коник // Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования: сборник научных трудов. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2014. – 304с. (0,31 п.л.).

8. Ханин, Ю.И. К вопросу о времени использования максимума нагрузки и времени наибольших потерь в сельских коммунально-бытовых сетях / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы V Международной научно-практической конференции. / Под ред. В.А. Трушкина. – Саратов, Буква, 2014. – 358с. (0,31 п.л.).

9. Ханин, Ю.И. Исследование динамики тока третьей гармоники в нулевом

проводе сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий и устройств: сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – 116 с. (0,25 п.л.).

10. Ханин, Ю.И. Повышение эффективности электропередачи в сельских сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой / Ю.И. Ханин // Материалы XIX Региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области. 11-14 ноября 2014 г., г. Волгоград. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015, - 184 с. (0,13 п.л.).

11. Ханин, Ю.И. К расчету дополнительных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе от протекания по сети токов высших гармоник методом «времени наибольших потерь» / Ю.И. Ханин // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941 -1945 гг., Волгоград, 03-05 февраля 2015 г. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015. – Том 2. – 428 с. (0,31 п.л.).

12. Ханин, Ю.И. Корреляционный анализ факторов, влияющих на величину дополнительных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ / Ю.И. Ханин // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 26-28 января 2016 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2016. – Том 2. – 400 с. (0,38 п.л.).

13. Ханин, Ю.И. Методы определения дополнительных потерь электроэнергии / Ю.И. Ханин, Е.Н. Барыкина, Е.В. Ерпылёва // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 26-28 января 2016 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2016. – Том 2. – 400 с. (0,38 п.л.).

В других изданиях научных трудов:

14. Ханин, Ю.И. Анализ дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии от протекания токов высших гармоник в элементах сети 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2012. – № 6(24).– С. 151–154. (0,38 п.л.).

15. Ханин, Ю.И. О дополнительных потерях электроэнергии в сети 0,38 кВ / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №4(13). – С. 27–29. (0,31 п.л.).

16. Ханин, Ю.И. Моделирование сельской коммунально-бытовой распределительной сети 0,38 кВ с нелинейной нагрузкой, генерирующей токи частотой 150 Гц // Вестник Аграрной науки Дона. – 2013. – №1(21). – С. 72-77. (0,63 п.л.).

17. Ханин, Ю.И. К расчету дополнительных потерь электроэнергии силовом трансформаторе от протекания токов высших гармоник по средним токам с учетом коэффициентов формы графиков нагрузки / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – №4. – С. 160-164. (0,31 п.л.).

18. Ханин, Ю.И. Корреляционно-регрессионный анализ дополнительных

потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ // Вестник Аграрной науки Дона. – 2014. – №3(27). – С. 27-32. (0,69 п.л.).

19. Ханин, Ю.И. Исследование электромагнитного компенсатора тока третьей гармоники 4-х проводной сети / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №3(13). – С. 74-78. (0,31 п.л.).

20. Ханин, Ю.И. Определение факторов, влияющих на величину дополнительных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ / Ю.И. Ханин // Уникальные исследования XXI века. – 2015. – №12(12). – С. 55-61. (0,44 п.л.).

Патентные документы:

21. Патент на полезную модель №119954 РФ, МПК⁷ H02J3/01, H02J3/18. Устройство для повышения энергоэффективности трехфазных четырехпроводных сетей / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, В.В. Головинов, И.Н. Максаев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия" (ФГОУ ВПО АЧГАА) (RU). - № 2012109448/07; заявл. 12.03.2012; опублик. 27.08.2012, Бюл. № 24. (0,57 п.л.).

22. Патент на полезную модель №145062 РФ, МПК⁷ H02J3/00, H02J3/01. Устройство для компенсации тока 3-ей гармоники в нулевом проводе 4-х проводной сети / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия" (ФГОУ ВПО АЧГАА) (RU). - № 2014105817/07; заявл. 17.02.2014; опублик. 10.09.2014, Бюл. № 25. (0,44 п.л.).

23. Патент на полезную модель №158207 РФ, МПК⁷ H02J3/01. Электромагнитный компенсатор тока третьей гармоники 4-х проводной сети / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, Р.Р. Швек, А.В. Бухвал; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ в г. Зернограде (RU). - № 2014145063; заявл. 06.11.2014, опублик. 27.12.2015, Бюл. №36 (0,44 п.л.).

24. Патент на полезную модель №161057 РФ, МПК⁷ H02J3/01. Устройство для снижения тока третьей гармоники четырехпроводной сети / Ю.И. Ханин, М.А. Юндин, Е.Н. Барыкина; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ) (RU). - № 2015151761; заявл. 02.12.2015, опублик. 18.03.2016, Бюл. №10 (0,44 п.л.).

В авторской редакции

Подписано в печать 03.03.2017. Формат 60x84^{1/16}.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ ____.

ИПК ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива».
400002, Волгоград, пр. Университетский, 26.