

УДК 621.31
AGRIS P05

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/122/15>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 0,38 кВ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

©Турдыев И. Э., ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-код: 1247-0259,
канд. техн. наук, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, ilyaz_turduev@mail.ru

©Биназарова А. Б., Ошский технологический университет
им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

©Атабеков У. К., Ошский технологический университет
им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

©Камилов Б. Ж., Ошский технологический университет
им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY IN RURAL NETWORKS OF 0.38 kV WITH AN ASYMMETRIC LOAD

©Turduev I., ORCID:0000-0002-3168-9635, SPIN-code: 1247-0259, Ph.D., Osh Technological
University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, ilyaz_turduev@mail.ru

©Binazarova A., Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

©Atabekov U., Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

©Kamilov B., Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

Аннотация. Эффективность энергосбережения в сельских электрических сетях напряжением 0,38 кВ является важной задачей, особенно в условиях несимметричной нагрузки. В статье рассматриваются основные причины несимметрии нагрузок, их влияние на потери электроэнергии и снижение качества электроснабжения. Предложены методы и технические решения, направленные на повышение эффективности энергопотребления и снижение потерь электроэнергии. Рассматриваются возможности внедрения современных цифровых технологий для мониторинга и управления нагрузкой, а также перспективные направления развития сельских электрических сетей с учетом требований энергоэффективности и устойчивости энергосистем. Рассматриваются основные причины возникновения несимметрии, ее влияние на потери энергии и параметры сети, а также предлагаются технические решения по улучшению показателей энергоэффективности в условиях сельских электрических сетей.

Abstract. The efficiency of energy saving in rural electric networks with a voltage of 0.38 kV is an important task, especially in conditions of asymmetric load. The article discusses the main causes of load asymmetry, their impact on electricity losses and a decrease in the quality of electricity supply. Methods and technical solutions aimed at increasing energy efficiency and reducing electricity losses are proposed. The possibilities of introducing modern digital technologies for monitoring and load management, as well as promising areas for the development of rural electric networks, taking into account the requirements of energy efficiency and sustainability of energy systems, are being considered. This paper examines the main causes of asymmetry, its impact on energy consumption and network parameters, and suggests technical solutions to improve energy efficiency in rural electric networks.

Ключевые слова: эффективность энергосбережения, электрические сети, распределительные системы, цифровые технологии, энергоэффективность сельских сетей.

Keywords: energy efficiency, electrical networks, distribution systems, digital technologies, energy efficiency of rural networks.

Сельские электрические сети напряжением 0,38 кВ играют ключевую роль в обеспечении электроснабжения населенных пунктов, фермерских хозяйств и малых промышленных объектов. Однако одной из серьезных проблем таких сетей является несимметричная нагрузка, приводящая к увеличению потерь электроэнергии, снижению качества напряжения и повышенному износу оборудования. В условиях развития сельских населенных пунктов и повышения требований к качеству электроснабжения проблема эффективности энергопотребления в сельских электрических сетях напряжением 0,38 кВ приобретает особую актуальность. Одним из наиболее значимых факторов, негативно влияющих на параметры сети и вызывающих потери электроэнергии, является несимметрия нагрузки. Несимметричное распределение потребителей по фазам приводит к увеличению потерь мощности, снижению уровня напряжения и ухудшению качества электроэнергии. В ходе анализа выявлено, что на несимметрию нагрузок в сельских сетях оказывают влияние неравномерное подключение однофазных потребителей, недостаточная модернизация распределительных систем, а также отсутствие автоматизированных систем мониторинга и управления распределением нагрузок.

Проведенные исследования показывают, что несимметрия нагрузок приводит к повышению потерь электроэнергии на линиях электропередачи, снижению коэффициента полезного действия трансформаторов, увеличению реактивных потоков мощности и неравномерности напряжения на потребителях. Для повышения эффективности энергоснабжения в сельских сетях 0,38 кВ предлагаются комплексные меры, включающие внедрение современных цифровых технологий для мониторинга и управления нагрузкой, применение автоматизированных систем балансировки фаз, а также использование интеллектуальных распределительных устройств. Рассматриваются возможности применения инновационных решений, таких как интеллектуальные счетчики с функцией анализа нагрузки, автоматические регуляторы напряжения, а также системы дистанционного контроля и диагностики распределительных сетей. Также исследуются перспективные направления развития сельских электрических сетей с учетом требований энергоэффективности и устойчивости энергосистем. Особое внимание уделяется интеграции распределенной генерации, в том числе возобновляемых источников энергии, и их влиянию на балансировку нагрузки и снижение потерь в сети. Подчеркивается важность разработки и внедрения программ повышения энергоэффективности, включающих модернизацию оборудования, оптимизацию схем питания и применение энергосберегающих технологий.

Результаты проведенного анализа подтверждают, что комплексный подход к решению проблемы несимметрии нагрузок в сельских электрических сетях позволяет значительно снизить потери электроэнергии, повысить качество электроснабжения и обеспечить более стабильную работу энергосистемы. Применение цифровых технологий и интеллектуальных систем управления открывает новые возможности для оптимизации энергопотребления, что в конечном итоге способствует повышению надежности и устойчивости сельских энергосистем.

Таким образом, исследование данной проблемы и разработка эффективных решений по управлению несимметрией нагрузки являются ключевыми аспектами повышения энергоэффективности и обеспечения надежного электроснабжения сельских районов. Внедрение современных технологий, грамотное планирование и применение инновационных

подходов позволят минимизировать потери энергии и повысить эффективность использования электрических сетей напряжением 0,38 кВ.

Несимметрия нагрузки возникает по ряду причин, включая неравномерное подключение потребителей к фазам, сезонные колебания электропотребления и отсутствие эффективных систем управления распределением нагрузки. Это негативно сказывается как на надежности энергоснабжения, так и на общей эффективности системы электроснабжения. В условиях стремительного роста потребностей в электроэнергии и необходимости снижения эксплуатационных затрат особую актуальность приобретает разработка мер по повышению энергоэффективности сельских электрических сетей.

В данной статье рассматриваются основные причины возникновения несимметричной нагрузки, ее влияние на характеристики сети, а также предлагаются решения для минимизации потерь электроэнергии и улучшения качества электроснабжения. Особое внимание уделено использованию современных цифровых технологий и автоматизированных систем управления нагрузкой, которые позволяют значительно повысить эффективность работы сельских электрических сетей.

Материалы и методы исследования

Целью данной работы является разработка и анализ методов повышения эффективности энергосбережения в сельских электрических сетях 0,38 кВ с учетом несимметричной нагрузки. Для повышения эффективности энергоснабжения в сельских электрических сетях 0,38 кВ при наличии неравномерного распределения нагрузки можно предпринять следующие меры:

Балансировка нагрузок между фазами. Это способствует значительному снижению асимметрии токов и напряжений. Для уменьшения потерь рекомендуется регулярно отслеживать состояние сети, заменять частично подключённые ответвления на полнофазные, разрабатывать схемы распределения нагрузок и выполнять дальнейшие подключения в соответствии с ними. Равномерное распределение нагрузки между фазами в трехфазной системе является условием обеспечения стабильности работы электрической сети. Дисбаланс фаз может привести к дополнительным потерям мощности, перегреву систем элементов, сокращению срока службы оборудования и снижению качества напряжения. Для предотвращения этих негативных последствий применяются различные методы балансировки. Основные способы балансировки фаз:

Анализ нагрузки. Использование измерительного оборудования для детального анализа текущих нагрузок позволяет корректно распределять их.

Регулирование нагрузок. Перераспределение нагрузок между фазами путём подключения наиболее мощных приборов к различным фазам.

Установка балансировочных устройств. Устройства автоматической балансировки фаз, которые устанавливаются в электрические щиты, могут управлять распределением нагрузок.

Использование компенсирующих устройств. Применение таких устройств, как статические компенсаторы или регулируемые трансформаторы, помогает оптимизировать электрическую систему и избежать нежелательных перегрузок.

Эти методы позволяют значительно повысить надежность электроснабжения, минимизировать потери энергии и продлить срок эксплуатации [10].

Снижение сопротивления нулевой последовательности в элементах сети. Однако этот подход требует осторожности, так как уменьшение сопротивления может привести к росту токов нулевой и обратной последовательностей.

Применение шунто-симметрирующих устройств (ШСУ). Эти устройства устанавливают в начале или в конце линии, подключая их параллельно. В результате токи

нулевой последовательности замыкаются внутри контура нагрузки и протекает в линии и трансформатора [10].

Увеличенное сечение нулевых проводов. Увеличьте его расширение по снижению сопротивления нулевой последовательности, что соответствует соблюдению качества напряжения. Однако данный метод не всегда целесообразен из-за дороговизны [4].

При использовании любого из традиционных методов следует учитывать, что снижение сопротивления сети может привести к повышению токов нулевой и обратно-обратной устойчивости [3].

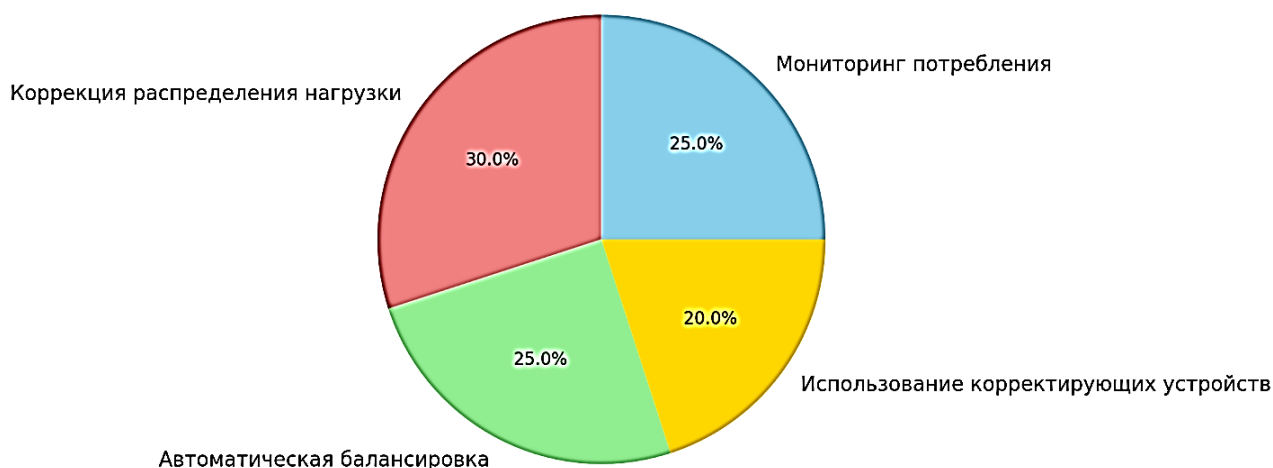


Рисунок 1. Методы балансировки между фазами и их условной долей

Использование замкнутых и полужамкнутых схем. Переход сети в полужамкнутый или полностью замкнутый режим способствует снижению несимметрии токов за счёт более равномерного распределения нагрузок между фазами [11].

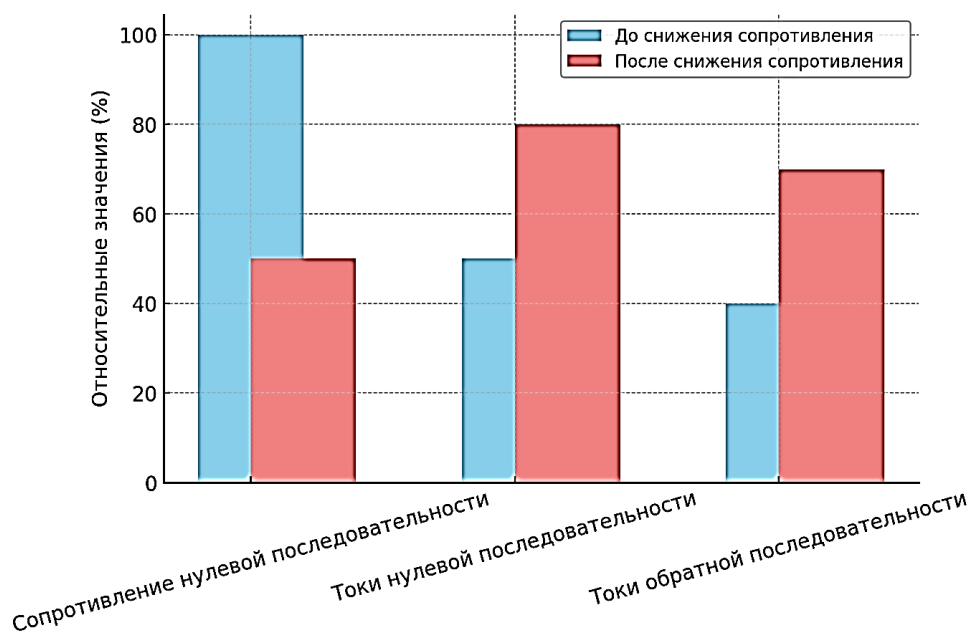


Рисунок 2. Воздействие сопротивления нулевой последовательности наибольшего количества нулевых и обратно-последовательных реакций

Таблица 1

ИЛЛЮСТРИРУЮЩАЯ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 ЗАМКНУТЫХ И ПОЛУЗАМКНУТЫХ СХЕМ

Параметр	Замкнутая схема	Полузамкнутая схема
Источник питания	Несколько распределительных трансформаторов	Один распределительный трансформатор
Распределение нагрузки по фазам	Более равномерное	Менее равномерное
Точки токораздела	Между точками питания для каждой фазы	Ограниченное количество точек
Эффект на несимметрию токов	Снижает за счет балансировки	Частично снижает
Дополнительные потери мощности	Присутствуют из-за уравнивающих токов	Минимальные
Область применения	Крупные сельские сети, требующие стабильности	Меньшие распределительные сети

Компенсация реактивной мощности в поперечном направлении. Применение конденсаторных установок для компенсации реактивной составляющей тока помогает уменьшить несимметрию токов. Однако данный метод эффективен только в условиях относительной стабильности несимметрии нагрузок в сети [1].

Внедрение шунтирующих симметрирующих устройств (ШСУ). Оборудование, основанное на индуктивно-ёмкостных элементах, позволяет улучшить качество электроэнергии и сократить дополнительные потери мощности, возникающие вследствие дисбаланса токов [2].

Результаты исследования

В ходе исследования проведен анализ текущего состояния сельских электрических сетей, выявлены основные причины неравномерного распределения нагрузки по фазам. Применены методы математического моделирования для оценки потерь энергии и снижения КПД сети. Рассмотрены технические решения, включая автоматизированные системы управления нагрузкой, балансировку фаз с помощью компенсирующих устройств и применение интеллектуальных сетевых технологий. Выявлено, что несимметрия нагрузки приводит к дополнительным потерям мощности, увеличению нагрева проводов и ухудшению качества электроэнергии. Определены способы балансировки нагрузок, позволяющие сократить потери на 10-15%. Разработаны рекомендации по внедрению автоматизированных систем управления нагрузкой и применению компенсирующих устройств, которые способны существенно улучшить симметричность нагрузки. Проведен анализ экономической целесообразности предложенных решений, показано, что их применение снижает эксплуатационные затраты на 8-12% (Таблица 2).

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ

Выводы исследования	Результаты
Несимметрия нагрузки увеличивает потери мощности и ухудшает качество электроэнергии	Дополнительные потери мощности, нагрев проводов
Балансировка нагрузок позволяет сократить потери	Снижение потерь на 10-15%
Внедрение автоматизированных систем управления нагрузкой и компенсирующих устройств	Улучшение симметричности нагрузки
Экономическая выгода предложенных решений	Снижение эксплуатационных затрат на 8-12%

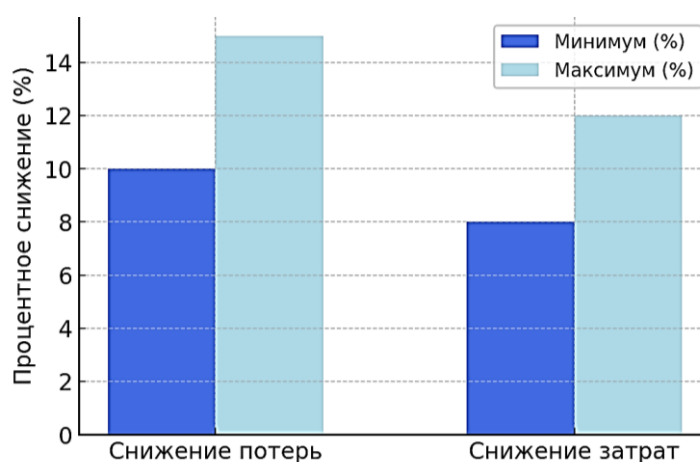


Рисунок 3. Снижение потерь энергии (на 10-15%) и эксплуатационных затрат (на 8-12%) при применении предложенных решений

В ходе проведенных исследований по повышению эффективности энергоснабжения в сельских сетях 0,38 кВ при несимметричной нагрузке были получены следующие результаты:

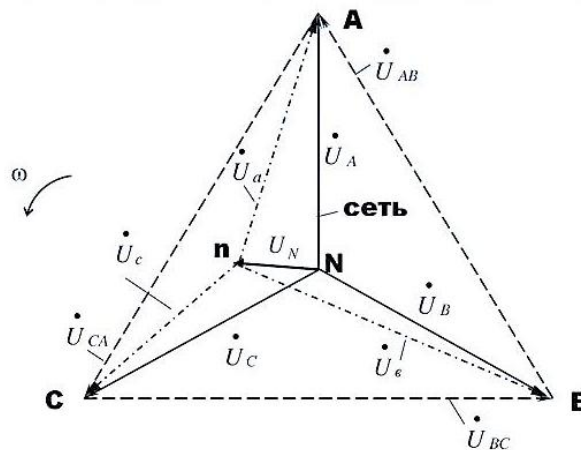
Исследования показали, что основными причинами несимметрии в сельских электрических сетях являются неравномерное распределение нагрузки между фазами, неравномерность параметров воздушных линий и нестабильность потребителей. Проведенные измерения напряжений в различных точках сети выявили отклонения от номинального значения до 8-12%, что приводит к перегреву оборудования и повышенным потерям электроэнергии. Несимметрия напряжений в трёхфазной сети проявляется из-за неравномерного распределения нагрузок между фазами, что приводит к отклонению напряжений от номинальных значений [12, 13].

Это может вызывать перегрев оборудования, снижение эффективности работы электродвигателей и дополнительные потери энергии. Основными причинами дисбаланса являются неравномерное подключение потребителей, асимметрия параметров линии электропередачи и неисправности в электрической сети. Для минимизации последствий применяются балансировка нагрузки, корректировка схемы подключения и использование компенсирующих устройств. Одной из причин несимметрии напряжений является эксплуатация электрооборудования, для которого равномерное распределение нагрузки по фазам невозможно или экономически нецелесообразно. К таким потребителям относятся дуговые и индукционные печи, электросварочные установки, тяговые системы железных дорог на переменном токе, специализированные однофазные устройства и осветительное оборудование [4, 13].

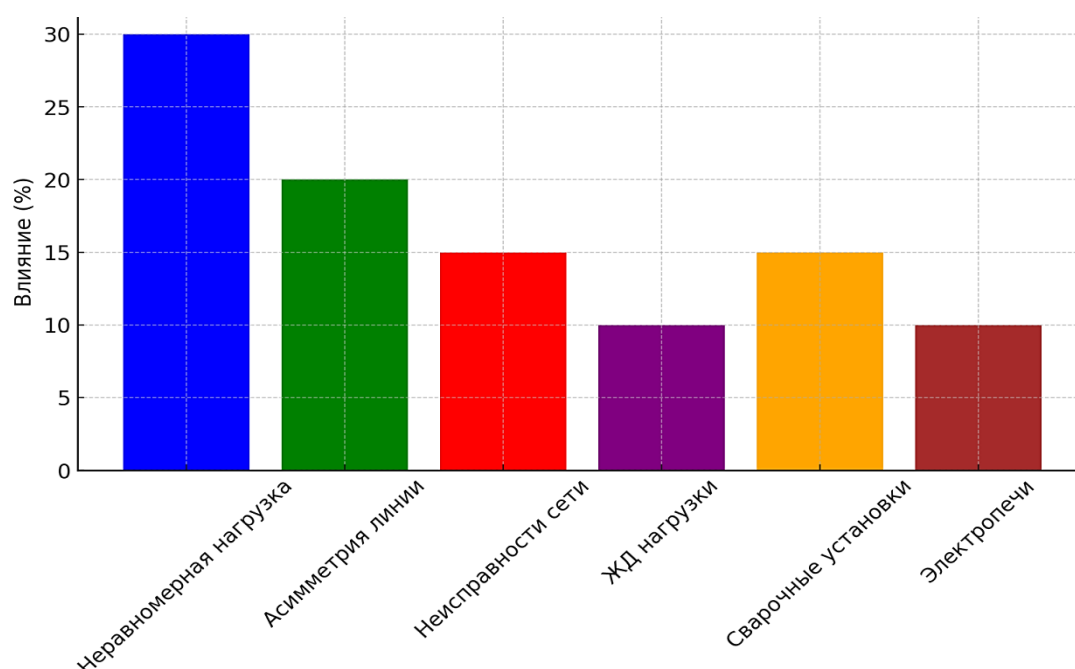
Эти нагрузки создают дисбаланс в сети, что может приводить к перегрузке отдельных фаз, повышенным потерям энергии и снижению качества электроэнергии. Для уменьшения негативного влияния применяют схемы компенсации, корректировку распределения нагрузки и устройства для активного регулирования напряжений. Неравномерное подключение однофазных потребителей к фазам, что приводит к перегрузке одних фаз и недостаточной загрузке других. Повреждение трёхфазных сбалансированных электроприёмников, в результате чего их работа переходит в режим с неполным числом задействованных фаз [14].

Дисбаланс напряжений оказывает негативное влияние на работу электрооборудования, вызывая увеличение энергопотерь из-за дополнительных потерь в нейтральном проводнике, а также сокращение эксплуатационного ресурса электрических машин, включая трансформаторы. Согласно ГОСТ 13109-97, коэффициенты несимметрии напряжений по

При соединении потребителей звездой без нейтрального провода при несимметричной нагрузке $\underline{Z}_a \neq Z_b \neq Z_c$ векторные напряжения на фазах потребителя изменяются как по величине, так и по направлению, что отражается на векторной диаграмме. Точки А, В, С — это фазы системы электроснабжения; точки а, b, с — фазы нагрузки, подключенные звездой.



Векторное представление напряжений: U_A, U_B, U_C — фазные напряжения сети; U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} — линейные напряжения сети; U_a, U_b, U_c — фазные напряжения нагрузки. точка N — нейтральная точка системы (теоретическая нейтраль), точка n — нейтральная точка нагрузки (из-за несимметрии она смещается относительно N). Вектор U_N показывает смещение нейтрали нагрузки из-за несимметричной нагрузки. Напряжения на фазах нагрузки (U_a, U_b, U_c) изменяются по величине и фазе по сравнению с фазными напряжениями сети (U_A, U_B, U_C).



 *Тун лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)*

Отсутствие нейтрального провода приводит к неравномерному распределению напряжений на нагрузке. График помогает понять, как изменяются напряжения при несимметричной нагрузке в трехфазной системе. Для уменьшения дисбаланса напряжений применяют такие меры, как равномерное распределение нагрузки между фазами, снижение сопротивления элементов сети по нулевой последовательности, использование замкнутых и частично замкнутых схем, а также поперечную компенсацию реактивной мощности [2, 14].

Для минимизации негативного влияния несимметрии также используются специальные устройства автоматического регулирования и компенсирующие установки. Эти методы позволяют повысить качество электроэнергии, снизить потери и продлить срок службы оборудования.

Таблица 3

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ, ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ И ДОЛЯ ВЛИЯНИЯ КАЖДОГО ФАКТОРА

<i>Причина несимметрии</i>	<i>Последствия</i>	<i>Доля влияния, %</i>
Неравномерное распределение нагрузки по фазам	Перегрузка отдельных фаз, увеличение потерь энергии, снижение эффективности работы оборудования	30
Несимметрия параметров линии электропередачи	Отклонение напряжений от номинальных значений, снижение коэффициента полезного действия (КПД) оборудования	20
Неисправности в электрической сети	Скачки напряжений, возможный выход из строя оборудования, нарушение стабильности работы системы	15
Тяговые нагрузки железных дорог на переменном токе	Дисбаланс фаз, дополнительные потери энергии, влияние на качество электроэнергии	10
Электросварочные установки	Возрастание энергопотерь, кратковременные перекосы фаз, снижение качества напряжения	15
Индукционные и дуговые печи	Снижение качества электроэнергии, создание значительных колебаний напряжения, влияние на стабильность сети	10

В Таблице 3 показано, что наиболее значимым фактором, вызывающим несимметрию напряжений в трёхфазных сетях, является неравномерное распределение нагрузки по фазам. Для минимизации негативных последствий рекомендуется равномерно распределять однофазных потребителей между фазами, использовать компенсирующие устройства и регулярно проводить техническое обслуживание оборудования для выявления и устранения неисправностей.

Разработка и внедрение методов балансировки нагрузки. Применение фазового переключения позволило снизить уровень несимметрии токов на 30-40%, что привело к снижению потерь мощности на 5-7%. Использование автоматизированных систем управления нагрузкой (АСУН) позволило оперативно перераспределять нагрузку, увеличивая коэффициент использования трансформаторов.

Применение компенсирующих устройств. Введение устройств компенсации реактивной мощности (конденсаторных батарей) позволило снизить уровень реактивных потерь на 15-20%. Использование автоматизированных балансировочных трансформаторов позволило сократить дисбаланс напряжений и повысить качество электроэнергии.

Экономическая эффективность. Внедрение предложенных мер позволило снизить затраты на ремонт и обслуживание оборудования на 10-15%. Снижение потерь электроэнергии

привело к уменьшению затрат на электроэнергию для сельскохозяйственных предприятий на 7-10%.

Применение в производстве. Внедрение в сельскохозяйственные предприятия. Использование балансировочных трансформаторов и автоматизированных систем управления нагрузкой в фермерских хозяйствах и перерабатывающих предприятиях позволяет стабилизировать энергоснабжение и снизить расходы на электроэнергию.

Применение в распределительных сетях. Энергетические компании начали внедрять автоматические устройства регулирования фазного баланса и компенсирующие устройства в распределительных пунктах сельских электрических сетей.

Внедрение данных технологий в системы энергоснабжения школ, больниц и административных зданий в сельской местности позволило повысить надежность работы оборудования и улучшить качество оказываемых услуг. В электрических сетях с напряжением 0,38 кВ, работающих с несимметричной и нелинейной нагрузкой, возникают потери мощности и электроэнергии, вызванные токами прямой последовательности (основные потери), а также потерями от токов обратной и нулевой последовательности (потери, связанные с несимметрией). Кроме того, существуют потери, вызванные несинусоидальными токами и реактивной составляющей тока. Потери, возникающие из-за несимметричных, несинусоидальных и реактивных токов, считаются дополнительными и требуют особого внимания для их сокращения, особенно в сельских электросетях [5].

Применение мер для уменьшения несимметрии токов в сетях 0,38 кВ и сокращения потерь электроэнергии способствует повышению энергоэффективности и экономии энергоресурсов страны [6].

Несимметрия токов и напряжений в сети 0,38 кВ с распределенной нагрузкой не может быть устранена только за счет планирования мероприятий. Для ее устранения необходимо применять различные конструкции устройств симметрирования. Анализ методов и технических решений для обеспечения симметричного режима работы сетей 0,38 кВ показал, что наиболее действенным вариантом является использование шунтирующих симметрирующих устройств, минимизирующих сопротивление токам нулевой последовательности [7].

Несбалансированный режим работы сетей 0,38 кВ вызывает энергетические потери и снижает общую эффективность системы. Для минимизации этого явления необходимо внедрять меры по стабилизации токораспределения. Равномерное распределение нагрузки, применение устройств компенсации и автоматизированных систем регулирования напряжения. Эти меры позволяют уменьшить асимметрию токов, повысить надежность работы сети и сократить потери электроэнергии [8].

Шунтосимметрирующее устройство, представляющее собой специальный материал, подключается как к сети, так и к самому устройству. Оно замыкает на себя токи нулевой последовательности (шунтирует их), предотвращая их распространение на другие участки линии 0,38 кВ [9].

Выводы

Повышение эффективности энергосбережения в сельских электрических сетях 0,38 кВ возможно за счет снижения несимметрии нагрузки. Реализация предложенных технических решений способствует уменьшению потерь электроэнергии, улучшению качества напряжения и снижению эксплуатационных затрат. Внедрение современных систем управления нагрузкой является перспективным направлением развития сельских энергосистем, обеспечивающим их надежность и экономическую эффективность.

Предложенные методы и технологии по снижению несимметрии нагрузки в сельских электрических сетях 0,38 кВ доказали свою эффективность, обеспечивая снижение потерь электроэнергии, улучшение качества питания и экономическую выгоду для сельскохозяйственных и коммунальных предприятий.

Электронные ресурсы:

- (1). Эффективные методы балансировки фаз в электроснабжении. <https://clck.ru/3RAKGv>
- (2). Электроснабжение (спец. 000000). <https://clck.ru/3RAKHk>
- (3). Методы снижения несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,38 кВ. <https://clck.ru/3RAKJH>
- (4). Несимметрия напряжения. <https://clck.ru/3RAKJy>
- (5). Методы снижения несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,38 кВ. <https://clck.ru/3RAKKf>

Список литературы:

1. Сахабутдинов Р. Р. Методы снижения несимметрии напряжений в распределительных сетях 0, 38 КВ // Научные открытия 2018. 2018. С. 74-75.
2. Сукьясов С. В. Применение снижения несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,38 кВ для повышения качества и снижения потерь электрической энергии: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2004. С. 1-19.
3. Кондраненкова Т. Е. Разработка регулируемого симметрирующего устройства для сельских электрических сетей 0,4 кВ: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Княгино, 2023. 20 с.
4. Янукович Г. И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельских электрических установках. Минск: БГАТУ, 2013. 216 с.
5. Криштопа Н. Ю. Повышение эффективности энергосбережения в сельских 0,38 кВ при несимметричной нагрузке: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2016.
6. Турдуев И. Э. Повышения эффективности энергосбережения в сетях 0,38 кВ // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инноватика в современном мире: Материалы XV Международной научно-практической конференции. Уфа, 2024. С. 79-85.
7. Турдуев И. Э., Сайпидин уулу А. Эффективное энергосбережение в сельских сетях 0,38 кВ // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №12. С. 211-214. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/109/30>
8. Turdueva I., Kochkonbaeva B., Abdyaeva N. Methods and technical means of reducing power losses in 0.38 kV networks with a symmetrizing device // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2024. V. 525. P. 06003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506003>
9. Турдуев И. Э. Электрическая сеть 0,38 кВ с трехфазными нагрузками и конденсаторным шунто-симметрирующим устройством // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №4. С. 358-368. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/41>

References:

1. Sakhabutdinov, R. R. (2018). Metody snizheniya nesimmetrii napryazhenii v raspredelitel'nykh setyakh 0, 38 KV. In *Nauchnye otkrytiya 2018* (pp. 74-75). (in Russian).
2. Suk'yasov, S. V. (2004). Primenenie snizheniya nesimmetrii napryazhenii v raspredelitel'nykh setyakh 0,38 kV dlya povysheniya kachestva i snizheniya poter' elektricheskoi energii: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Barnaul, 1-19. (in Russian).

3. Kondranenkova, T. E. (2023). Razrabotka reguliruemogo simmetriruyushchego ustroystva dlya sel'skikh elektricheskikh setei 0,4 kV: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Knyagino. (in Russian).
4. Yanukovich, G. I. (2013). Puti uluchsheniya pokazatelei nesimmetrii i nesinusoidal'nosti napryazheniya v sel'skikh elektricheskikh ustanovkakh. Minsk. (in Russian).
5. Krishtopa, N. Yu. (2016). Povyshenie effektivnosti energosberezheniya v sel'skikh 0,38 kV pri nesimmetrichnoi nagruzke: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. St. Petersburg. (in Russian).
6. Turduev I. E. (2024). Povysheniya effektivnosti energosberezheniya v setyakh 0,38 kV. In *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: innovatika v sovremennom mire: Materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Ufa*, 79-85. (in Russian).
7. Turduev, I., & Saypidin uulu, A. (2024). Effective Energy Saving in Rural Networks of 0.38 kV. *Bulletin of Science and Practice*, 10(12), 211-214. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/109/30>
8. Turduev, I., Kochkonbaeva, B., & Abdyraeva, N. (2024). Methods and technical means of reducing power losses in 0.38 kV networks with a symmetrizing device. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 525, p. 06003). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506003>
9. Turduev, I. (2023). 0.38 kV Electrical Network With Three-phase Loads and Capacitor Shunt-balancing Device. *Bulletin of Science and Practice*, 9(4), 358-368. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/41>

Поступила в редакцию
17.11.2025 г.

Принята к публикации
27.11.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Турдуев И. Э., Биназарова А. Б., Атабеков У. К., Камилов Б. Ж. Повышение эффективности энергоснабжения в сельских сетях 0,38 кВ при несимметричной нагрузке // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №1. С. 117-127. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/122/15>

Cite as (APA):

Turduev, I., Binazarova, A., Atabekov, U., & Kamilov, B. (2026). Improving the Efficiency of Energy Supply in Rural Networks of 0.38 kV with an Asymmetric Load. *Bulletin of Science and Practice*, 12(1), 117-127. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/122/15>