

## АЙЫЛ ЧАРБА КАРДАРЛАРЫН ЭЛЕКТР МЕНЕН ЖАБДУУНУН ИШЕНИМДҮҮЛҮГҮ

А.С. Рырсалиев<sup>1</sup>, К.С. Алтынбеков<sup>2</sup>, Э.Э. Амангелдиев<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> техника илимдеринин кандидаты, Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин электр менен камсыздоо кафедрасынын доценти, Кыргызстан, 720044, Бишкек ш., Айтматов пр.66, e-mail: arysaliev@kstu.kg.

<sup>(2,3)</sup> магистрант, И.Раззаков атындагы КМТУ

**Аннотация:** Айылдык калктуу конуштарды электр менен камсыздоо системаларынын иштөөсүнө коюлган негизги талаптар каралып, жерге туташтырылган бир фазалуу токтун таралышы талданган, айылдык электр тармактарында бир фазалуу токтуу экспоненциалдык таралуу ыктымалдык тыгыздыгы аныкталган.

**Негизги сөздөр:** айылдык электр тармактары, ишенимдүүлүк, бир фазалуу жерге төшөө.

## НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А.С. Рырсалиев<sup>1</sup>, К.С. Алтынбеков<sup>2</sup>, Э.Э. Амангелдиев<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: [aryrsaliev@kstu.kg](mailto:aryrsaliev@kstu.kg).

<sup>(2,3)</sup> магистрант, КГТУ

**Аннотация:** Рассмотрены основные требования, предъявляемые к работе систем электроснабжения сельских населенных пунктов, проведен анализ распределения токов однофазного замыкания на землю, определена плотность вероятности экспоненциального распределения токов однофазного замыкания в сельских электрических сетях.

**Ключевые слова:** сельские электрические сети, надежность, однофазное замыкание на землю.

## RELIABILITY OF ELECTRICAL SUPPLY OF RURAL CONSUMERS

A.S. Rysaliev<sup>1</sup>, K.S. Altynbekov<sup>2</sup>, E.E. Amangeldiev<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply, Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Aitmatov Ave. 66, e-mail: arysaliev@kstu.kg.

<sup>(2,3)</sup> master student, KSTU named after I. Razzakova

**Abstract:** The main requirements for the operation of power supply systems in rural settlements are considered, the distribution of single-phase earth fault currents is analyzed, the probability density of the exponential distribution of single-phase currents in rural electrical networks is determined.

**Key words:** rural electrical networks, reliability, single-phase earth fault.

**Введение.** Распределительные сети 6–35 кВ обеспечивают электроснабжение потребителей промышленных объектов, потребителей собственных нужд электростанций, сельскохозяйственных потребителей, объектов коммунального хозяйства и т.д.

Надёжность работы электрических сетей 6–35 кВ в значительной мере определяет безаварийность электроснабжения потребителей, и эта задача является

актуальной в современных условиях не идеального технического состояния воздушных электрических сетей, в том числе и сельских.

Сельскими электрическими сетями считаются сети, которые снабжают электроэнергией преимущественно сельскохозяйственных потребителей, объекты мелиорации и водного хозяйства. В отличие от городов, особенности электроснабжения в сельской местности заключаются в охвате электрическими сетями большой территории с малыми плотностями электрических нагрузок, составляющими 1–15 кВт/км<sup>2</sup>. Подвод электроэнергии осуществляется к большому количеству сравнительно маломощных рассредоточенных объектов. Сельским сетям свойственно наличие сезонных потребителей, существенное изменение нагрузок в течение суток, в течение года, причем в зависимости от времени года нагрузка потребителей изменяется в широких пределах.

Специфика электроснабжения сельских населенных пунктов определяется большим количеством электроприемников относительно небольшой мощности, которые разбросаны на большой площади, преобладанием электроприемников второй категории по требованиям надежности электроснабжения в жилых районах, отсутствием постоянного дежурного персонала на трансформаторных подстанциях и распределительных пунктах.

Сельские электрические сети не всегда способны справляться с возрастающими электрическими нагрузками как на этапе передачи, так и на этапе распределения электрической энергии потребителям. На современном этапе важное значение приобретают требования к надежности работы сельских электрических сетей. Уровень надежности их работы определяется такими показателями, как вероятность отказа, или средний коэффициент вынужденного простоя, параметр потока отказов, среднее время восстановления элементов сети, а также относительное значение недоотпуска электроэнергии потребителям.

**Актуальность темы и постановка задач.** Электрические сети в сельской местности снабжают потребителей преимущественно по воздушным линиям электропередачи, следовательно, повышение надёжности сельских электрических сетей может быть обеспечено, в первую очередь, повышением надёжности ВЛ.

Согласно договору на снабжение электрической энергией, поставщик электрической энергии обязан обеспечить потребителей бесперебойной, надежной, безопасной и качественной электроэнергией:

- качественной электрической энергией считается, если напряжение электрической сети колеблется в пределах  $\pm 5\%$  от номинального (209-231 В), в аварийных случаях -  $\pm 10\%$  от номинального (198-242 В);
- бесперебойность снабжения электроэнергией обеспечивается, когда имеет место только одно неплановое отключение в месяц продолжительностью не более 24-х часов.

Однако, как подтверждают результаты исследования, потребители до сих пор испытывают трудности, связанные с низким напряжением и перерывами в электроснабжении.

Ниже представлена сводка ответов респондентов на вопрос: «Были ли у Вас за последние 3 года проблемы с напряжением в сети (низкое напряжение, колебание) и отключения электроэнергии (по различным причинам)»:

Напряжение в сети

- 51,0% опрошенных ответили, что имели проблемы с напряжением в сети,
  - проблемы ощущались в основном в зимний период – у 82,8% респондентов, круглый год – у 14,9% и летом - у 2,3% опрошенных;
  - были указаны различные причины, по которым происходили отключения (мнение потребителей): о по техническим причинам (неисправность, аварии в линиях/сети, трансформаторов) - 76,9%; о из-за нехватки электроэнергии в районе – 64,5%,

Как правило, отказы в работе электрических сетей сопровождаются однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ), которые заканчиваются пробоем изоляции в ее ослабленных местах. Кроме того, в режиме ОЗЗ в сельских электрических сетях, работающих в режиме изолированной нейтрали источника питания, распределенные по всей сети активные и емкостные токи утечки сосредотачиваются в месте замыкания, под действием выделяемой активной мощности может произойти увеличение температуры нагрева и создаться пожароопасная ситуация. Помимо этого, преобразование части энергии в тепло приводит к увеличению потерь электрической энергии. Все это неблагоприятно сказывается на надежности работы электроснабжения сельских потребителей, поэтому для анализа надежности работы сельских электрических сетей был проведен анализ распределения токов однофазного замыкания на землю.

Сельские электрические сети 6–35 кВ характеризуются токами однофазного замыкания на землю, как правило, до 5–10 А. Эксплуатируемым сельским электрическим сетям свойственна относительно большая степень несимметрии напряжений из-за большой доли однофазных нагрузок (до 5 %), что накладывает определенные условия как на применение систем компенсации емкостных токов ОЗЗ, так и на производство измерений емкостных токов в таких сетях. Определение числа групп значений токов однофазного замыкания на землю  $I_{OЗЗ}$  осуществлялось математическим путем с использованием формулы Стерджесса:

$$n = 1 + 3,322 \lg N \quad (1)$$

где  $n$  – число групп;  $N$  – число единиц совокупности.

Величина интервала определялась по формуле:

$$h = \frac{x_{max} - x_{min}}{n} \quad (2)$$

где  $x_{max}$  и  $x_{min}$  – максимальное и минимальное значение признака в совокупности;  
 $n$  – число групп.

Для определения закона распределения токов ОЗЗ в электрических сетях 6–35 кВ

данные по величинам токов ОЗЗ были отнесены к законам вероятностных распределений непрерывных величин и проверено соответствие статистических данных с ожидаемыми частотами в теоретическом распределении в принятой гипотезе с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$  при заданном уровне значимости  $\alpha$ .

Хорошо согласующаяся гипотеза распределения  $I_{\text{ОЗЗ}}$  в сельских электрических сетях – экспоненциальное распределение вероятности величины  $I_{\text{ОЗЗ}}$ , которое описывается плотностью:

$$P(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

где  $\lambda$  – параметр распределения:

$$\lambda = \frac{1}{M} \quad (4)$$

Согласно выдвинутой гипотезе об экспоненциальном распределении токов ОЗЗ в сельских электрических сетях 6–35 кВ, математическое ожидание появления  $I_{\text{ОЗЗ}}$  при возникновении в сельских сетях ОЗЗ, определяемое по [6], составит  $M = 5,02$ , а дисперсия  $D = 25,25$ .

Анализ эмпирических и теоретических частот с помощью критерия Пирсона показал, что наблюдаемое значение для уровня значимости  $\alpha = 0,01$  не превышает критического значения  $\chi_{\text{кр}}^2$

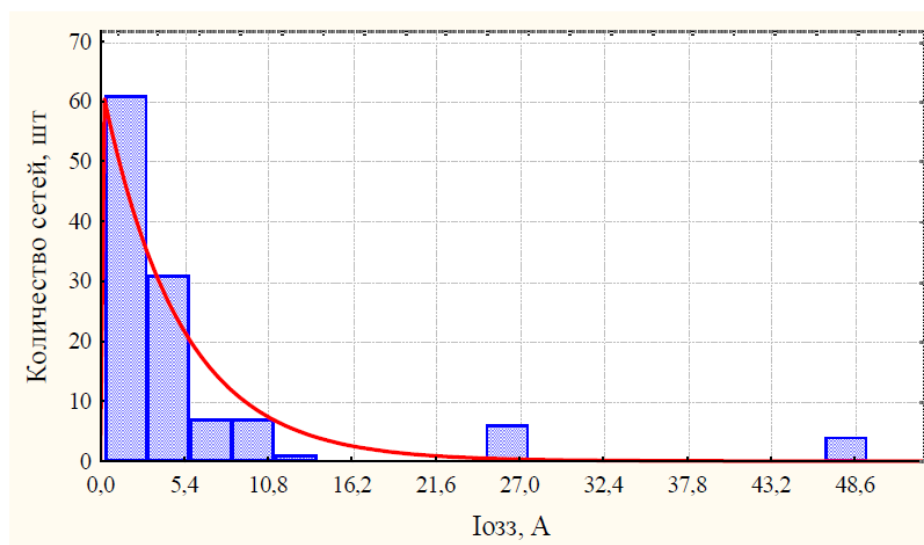
$$\chi^2 = 11,55 < \chi_{\text{кр}}^2 \quad (5)$$

Следовательно, данные наблюдений согласуются с этой гипотезой. Тогда закон плотности распределения (схема 1) вероятности появления  $I_{\text{ОЗЗ}}$  при возникновении в сельских электрических сетях ОЗЗ будет описываться уравнением:

$$P = 0.119 \cdot e^{-0.199 \cdot I_{\text{ОЗЗ}}} \quad (6)$$

а функция распределения этого закона:

$$F = 1 - e^{-0.199 \cdot I_{\text{ОЗЗ}}} \quad (7)$$



**Схема 1. Плотность вероятности экспоненциального распределения  $I_{\text{ОЗЗ}}$  в сельских электрических сетях**

**Результаты исследований.** Несмотря на то, что при токах до 5А открытые электрические дуги, которыми сопровождаются однофазные замыкания в электрических сетях с изолированной нейтралью источника питания, горят неустойчиво и в большинстве случаев самоустраиваются, изоляция восстанавливает свою электрическую прочность и сеть восстанавливает нормальный режим работы, такие значения токов представляют опасность для живого организма. Опасности поражения электрическим током в результате шагового напряжения или напряжения прикосновения может подвергаться электротехнический персонал при осмотрах линии, население, а также животные, находящиеся вблизи места однофазного замыкания на землю.

Кроме того, длительная работа сети в режиме ОЗЗ может привести к выходу из строя некоторых типов трансформаторов напряжения (ТН), к перерастанию однофазного замыкания на землю в двухфазные или трехфазные КЗ, а также к значительным повреждениям электротехнического оборудования. Малые токи замыкания на землю (до 5А) в сельских сетях не позволяют обеспечить достаточный уровень токовой защиты нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю. Применение ТН типа НАМИ в сетях с изолированной нейтралью 6–35 кВ позволяет решить вопрос обеспечения надежности ТН к феррорезонансу при однофазных дуговых замыканиях. Кроме того, повышение надежности может быть обеспечено применением резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35кВ, позволяющем существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдырасулова Н., Кравцов Н., Сулайманова Д. Система распределения и потребления электроэнергии Кыргызстана: анализ и оценка управления. Бишкек 2013 С. 22*
2. *Федин В.Т. Принятие решений при проектировании развития электроэнергетических систем. – Минск: Технопринт, 2000. – 165 с.*
3. *Трофимова С.Н. Повышение надёжности электроснабжения при резистивном заземлении нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ / С.Н. Трофимова // Электробезопасность. – 2009. – № 2–3.– С. 3–8.*
4. *Нагорный П.Д. Измерительные трансформаторы напряжения и контроль изоляции в сетях 6–35 кВ / П.Д. Нагорный, В.В. Назаров // Промышленная энергетика. – 2002. – № 3. – С. 22–23.*
5. *Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. – 8-е изд., испр. и доп. – Изд-во МЭИ, 2002. – 964 с.*
6. *Сидоров А.И. Исследование причин нарушений в работе сельских электрических сетей 6–35 кВ / А.И. Сидоров, С.Н. Трофимова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 4. – С. 29–31.*
7. *Садыков М.А., Барпиев Б.Б. Анализ возобновляемых источников электроэнергии Кыргызской Республики. Вестник КГУСТА им. Н. Исанова, 2016, No.3(53), с. 98–101.*
8. *Садыков М.А. Потенциал развития малой гидроэнергетики в Кыргызской Республике,*

*Известия ВУЗов Кыргызстана. 2016. № 6. С. 16-19.*

9. **Садыков М.А., Байышов Э.Н.** Анализ возобновляемых источников электроэнергии. *Наука и инновационные технологии*. 2016. № 1 (1). С. 91-93.

10. **Байышов Э.Н., Бердыбаева М.Т., Садыков М.А.** Один из способов повышения энергоэффективности здания за счет использования солнечной энергии. *Наука и инновационные технологии*. 2017. № 3 (3). С. 72-77.

11. **Барпиев Б.Б., Садыков М.А.** Анализ возобновляемых источников электроэнергии Кыргызской Республики. *Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова*. 2016. № 3 (53). С. 98-101.

12. **Садыков М.А., Кубаныбекова М.К.** Использование ветроустановки в системе электроснабжения. *Наука и инновационные технологии*. 2018. № 8 (8). С. 113-114.

13. **Мамыркулов К.М., Жумаев Р.Д., Садыков М.А.** Учет объема потребленной электроэнергии в бытовом секторе как фактор повышения эффективности взаимодействия энергосбытовых компаний и потребителя. *Наука и инновационные технологии*. 2018. № 8 (8). С. 90-93.