

**Выводы.** На основе статистической обработки экспериментальных данных для кедровых шишек в целом были определены естественные статистические закономерности в виде аналитических зависимостей:

1) установлена корреляционная связь, которая оценивается парными коэффициентами связи параметров шишки и орешков как высокая и весьма высокая, связь между шишками и орешками слабая и умеренная;

2) определены аналитические выражения параметров шишки в виде линейной и квадратичной зависимости;

3) получена математическая модель функциональной зависимости на основе многофакторной линейной регрессии между шириной орешка и параметрами шишки.

### Литература

1. Иванов В.А. Кедр и кедровый промысел. – М.: Изд-во АН СССР, 1934. – 134 с.
2. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Физматгиз, 1960. – 344 с.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика // Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
4. Kallenberg W.C.M., Oostererhoff J., Schrever B.F. The number of classes in thi-squared goodness-of-fit tests // JASA. – 1985. – V.80, № 392. – P. 959–968.

---

УДК 621.311.2.004

И.В. Наумов, И.В. Ямщикова

### К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НИЗКОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ

*В статье рассматривается способ эффективного управления работой сельских низковольтных распределительных сетей. Представлены симметрирующее устройство, схема автоматического управления его работой, а также методика расчета его параметров.*

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, несимметрия напряжений, электрическая сеть, эффективное управление, сети низкой наблюдаемости.

I.V. Naumov, I.V. Yamshchikova

### TO THE ISSUE OF THE EFFECTIVENESS INCREASE IN CONTROL OF THE OPERATING MODES OF THE LOW OBSERVABILITY ELECTRIC NETWORKS

*The way of the effective control of the rural low-voltage distributive networks operation is considered in the article. The symmetrizing device, the scheme of the automatic control of its work, as well as the method of its parameters calculation are presented.*

**Key words:** quality of electric energy, asymmetry of tension, electric network, effective control, networks of low observability.

---

**Введение.** Универсальность электроэнергии предопределила использование ее в очень многих сферах материального производства и, тем самым, большую сложность и силу внешних связей СЭС с многообразными потребителями ее продукции. В то же время СЭС сами являются крупнейшими потребителями основных ресурсов и создают большую нагрузку на окружающие системы. При этом широкая взаимозаменяемость электроэнергии с другими видами энергии постоянно усиливает взаимодействие этих прямых и обратных связей.

В настоящее время широко применяются методы решения многокритериальных задач развития СЭС, основанные на использовании важнейшего свойства экономического критерия – его пологости в зоне оптимума. Технически разные решения в этой зоне считаются равноэкономичными и оцениваются по другим критериям. Известны и другие отличающиеся подходы: с выбором ра-

циональных (в общем случае нескольких) решений на основе ряда характерных оценок (критериальных функций выбора решений), предварительным ранжированием (упорядочением) значимости критериальных функций, применением экспертных оценок их значимости и некоторые другие.

В настоящей статье мы остановимся на одном из критериев оценки функционирования электрических распределительных сетей и систем электроснабжения в целом, определяющем не только нормальную работу сети в рассматриваемый период времени, но и в отдаленной перспективе. Таким критерием является качество электрической энергии, доставляемой потребителю системами электроснабжения всех уровней.

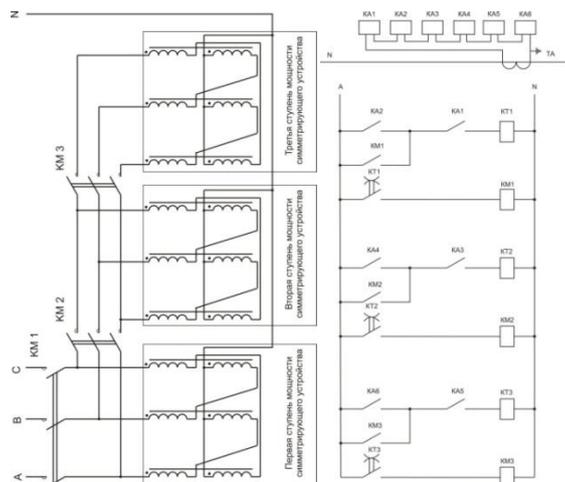
**Цель исследований:** повышение эффективности использования электрической энергии при управлении режимами работы электрических сетей низкой наблюдаемости.

**Задачи исследований:** предложить техническое средство, способ управления его работой и определение его параметров для симметрирования режимов работы низковольтных электрических сетей.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Многочисленные исследования в этой области [1, 2] доказали неоднозначность подходов в выборе решений по кондиционированию электрической энергии. В наибольшей степени это свойственно электрическим сетям низкого напряжения, где даже небольшое изменение токовой нагрузки приводит к значительному ухудшению и качества, и дополнительных потерь ЭЭ [1, 2]. Такие электрические сети можно отнести к сетям низкой наблюдаемости в силу их очень слабой оснащенности средствами управления.

Одним из наиболее характерных режимов низковольтных электрических сетей, который объективно не зависит от качества ЭЭ в местах ее производства, является режим несимметрии трехфазной системы напряжений. В наибольшей степени несимметричные режимы соответствуют городским и сельским электрическим сетям, питающим коммунально-бытовую нагрузку.

Способы и технические средства минимизации несимметричных режимов, их всесторонний анализ достаточно подробно рассмотрены в [1, 2]. Вместе с этим остается еще много нерешенных вопросов в этой области, связанных, в частности, с визуализацией несимметричных режимов, управляемостью и методами расчета средств симметрирования. Одним из наиболее целесообразных симметрирующих устройств (СУ), рекомендуемых для электрических сетей, питающих коммунально-бытовую нагрузку сельских и городских потребителей, является СУ на основе электромагнитных элементов (рис.). Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом [4] состоит из трехфазных электромагнитных аппаратов, обмотки которых соединены по схеме «встречный зигзаг», имеющих три фазных вывода и один нейтральный, причем каждый фазный вывод предназначен для подключения к фазным проводам сети, а нейтральный – к нулевому проводу. Каждый трехфазный электромагнитный аппарат образует одну ступень мощности симметрирующего устройства.



а б

Электромагнитное СУ с регулируемыми параметрами: а) силовая схема; б) схема управления

На первой ступени мощности подключается первый трехфазный электромагнитный аппарат. При возрастании несимметрии токов и напряжений мощность устройства увеличивается. Это достигается путем подключения дополнительных одного или двух трехфазных электромагнитных аппаратов к электрической сети. Предлагаемое устройство полностью отключается от сети при достижении тока в нулевом проводе минимальной величины, соответствующей допустимому значению несимметрии токов и напряжений, установленных ГОСТ 32144-2013.

Параметры данного устройства в режиме максимальной несимметрии токов и напряжений можно рассчитать по методике, изложенной в [3]:

$$\begin{cases} Y_{cy1} = Y_{\varphi 1} - Y_1 - Y_{S1} \\ Y_{cy2} = Y_{\varphi 2} - Y_2 - Y_{S2}, \\ Y_{cy0} = Y_{\varphi 0} - Y_0 \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} Y_{\varphi 1} &= \frac{U_A \cdot Y_A + a \cdot U_B \cdot Y_B + a^2 \cdot U_C \cdot Y_C}{3 \cdot (U_{\varphi 1} - U_{H1})}; \\ Y_{\varphi 2} &= \frac{(-U_A \cdot Y_A - a^2 \cdot U_B \cdot Y_B - a \cdot U_C \cdot Y_C)}{3 \cdot U_{H2}}; \\ Y_{\varphi 0} &= \frac{(-U_A \cdot Y_A - U_B \cdot Y_B - U_C \cdot Y_C)}{3 \cdot U_{H0}}. \\ U_{H1} &= \frac{U_a}{1 + K_{2ун} + K_{0ун}}; \quad U_{H2} = U_{H1} \cdot K_{2ун}; \quad U_{H0} = U_{H1} \cdot K_{0ун}. \end{aligned}$$

Значения показателей качества  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$  определяются на основе произведенных измерений и их расчета по программе «Несимметрия» [1].

Место установки симметрирующего устройства в электрической сети может быть выбрано в зависимости от рассматриваемого участка электропередачи. Если речь идет о конкретном потребителе (отдельная квартира, жилой дом), то местом установки СУ следует считать непосредственно точку после прибора учета. В этом случае и прибор учета, и адаптированное к нему СУ, имеющее незначительные габариты, можно рассматривать как регистрирующий и симметрирующий комплекс (РСК). Если же местом установки СУ считать точку передачи ЭЭ в низковольтной сети (шины 0,4 кВ) ТП-10/0,4 кВ), от которой получают питание n-е количество квартир (домов), то, соответственно, и параметры такого СУ и его габариты будут рассчитываться, исходя из максимального уровня несимметрии токов и напряжений на отходящей от шин ЛЭП, питающей эти потребители.

## Выводы

Таким образом, предлагаемое устройство, входящее в состав РСК, может рассматриваться как один из способов интеллектуального управления режимами работы низковольтных электрических сетей, в значительной мере позволяющий повысить не только эффективность использования электрической энергии в этих сетях, но также и уровень надежности электроснабжения в них.

## Литература

1. Наумов И.В. Оптимизация несимметричных режимов системы сельского электроснабжения. Теоретические обобщения. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2001. – 217 с.
2. Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: дис. ... д-ра техн. наук. – Иркутск, 2002. – 387 с.
3. Наумов И.В., Пруткина А.В. Выбор параметров симметрирующего устройства в зависимости от изменяющихся показателей несимметрии в распределительных сетях 0,38 кВ с сосредоточенной нагрузкой // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 11. – С. 186–195.
4. Пат. № 2490768. Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом / Наумов И.В. [и др.]; опубл. 2013.

