

2. Гаркуша, А. В. Проблемы санитарно-бытового оснащения ремонтных мастерских / А. В. Гаркуша, К. В. Гаркуша, А. Н. Гурина // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сборник статей V Международной научно-практической конференции, Минск, 25-26 марта 2021 г. - Минск : БГАТУ, 2021. - С. 206-208.
3. Шерьязов С.К. Определение энергетической характеристики ветрового потока в зависимости от продолжительности солнечного сияния/ С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Достижения науки - агропромышленному производству: мат-лы XLIV междунар. науч.-техн. конф. ЧГАУ - Челябинск, 2005. - Ч. 2. - С. 221-226.
4. Саплин Л.А. Структура системы энергоснабжения фермерских хозяйств с использованием ВИЭ / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Сб. науч. тр. ЧГАУ. - Челябинск, 2001. - С.241 – 243/

## УДК 621.311

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ**

**Наумов<sup>1,2</sup> И.В.**, д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

**Введение.** На современном этапе развития электроэнергетики большое внимание уделяется развитию нового направления – созданию «умных» электрических сетей, оснащенных новейшими средствами управления, позволяющими интеллектуализировать режимы работы этих сетей, способных в автоматическом режиме обеспечивать требования надежности и качества функционирования компонентов систем электроснабжения.

Неоднократно в многочисленных публикациях о режимах работы действующих сельских электрических сетей 0,4 кВ констатировалось, что объективной характеристикой этих режимов является несимметрия фазных токов и напряжений. При этом несимметрия трехфазной системы приводит к значительному изменению показателей качества, характеризующих уровень несимметрии и значение которых устанавливаются государственным стандартом [1]. В дополнение к этому, установлено, что использование современных электроприемников на производстве и в быту, в силу их нелинейного характера электропотребления, приводит к дополнительным несинусоидальным искажениям, вызванными эмиссией токов высших гармонических составляющих (ВГС). В результате такого дополнительного возмущения в значительной степени нарушаются балансовые характеристики режима работы СНН за счет протекания дополнительных совокупностей токов прямой, обратной и нулевой последовательностей, обусловленных не только основной частотой напряжения электропитания, но и токами ВГС. Наиболее подробно характеристика объединенных несимметрично-несинусоидальных режимов, создающих несбалансированное электропотребление, представлена в [2]. Здесь же предложено устройство балансирования режима работы сети за счет снижения дополнительных совокупностей токов прямой, обратной и нулевой последовательностей. В результате работы такого устройства в значительной степени происходит снижение показателей несбалансированности токов и напряжений, которые определяют основные критерии качества электрической энергии и возникновения ее дополнительных потерь:

$$K_{2U(UOM)} = \frac{(U_2 + \sum_2^{38} U_{ANS})}{U_1} \cdot 100\%; \quad K_{0U(UOM)} = \frac{(U_0 + \sum_3^{39} U_{AZS})}{U_1} \cdot 100\%. \quad (1)$$

$$K_{P(UOM)} = 1 + K_{APS}^2 + K_{2i}^2 + K_{ANS}^2 + \{K_{0i}^2 + K_{AZS}^2\}K_R, \quad (2)$$

где  $\underline{K}_{2U(UOM)}$  и  $\underline{K}_{0U(UOM)}$  – комплексные коэффициенты несбалансированности напряжения по обратной и нулевой последовательностям;  $\underline{U}_1, \underline{U}_2$  и  $\underline{U}_0$  – комплексные значения напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности основной частоты;  $\sum_2^{38} \underline{U}_{ANS}$  и  $\sum_3^{39} \underline{U}_{AZS}$  – суммарные комплексные значений симметричных составляющих напряжения, обусловленных совокупностями ВГС напряжений, соответственно дополнительных прямой, обратной и нулевой последовательностей;  $K_{APS} = \frac{\sum_4^{40} I_{APS}}{I_1}$ ,  $K_{ANS} = \frac{\sum_2^{38} I_{ANS}}{I_1}$  и  $K_{AZS} = \frac{\sum_3^{39} I_{AZS}}{I_1}$  – коэффициенты, представляющие собой отношение сумм гармонических составляющих, формирующих дополнительные прямую, обратную и нулевую последовательности к гармонической составляющей тока прямой последовательности основной частоты;  $K_{2i} = \frac{I_2}{I_1}$  и  $K_{0i} = \frac{I_0}{I_1}$  – коэффициенты, представляющие собой отношение токов, соответственно обратной и нулевой последовательностей к току прямой последовательности основной частоты. При этом, выражения для определения значений симметричных составляющих токов и напряжений при несимметричном режиме с достаточной степенью достоверности могут быть определены в соответствии с модульным методом расчета, предложенным профессором Ф.Д. Косоуховым [3]. А выражения  $\sum_4^{40} I_{APS}$ ,  $\sum_2^{38} I_{ANS}$ ,  $\sum_3^{39} I_{AZS}$ ,  $\sum_2^{38} \underline{U}_{ANS}$  и  $\sum_3^{39} \underline{U}_{AZS}$  определяются на основании измерения параметров электроэнергии сертифицированным прибором в действующих СНН.

**Результаты исследования.** Осенью 2023 г. в действующих СНН Иркутской области на шинах 0,4 кВ одной из трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, питающей группу домов в сельской местности, был установлен сертифицированный прибор PQ-701, который фиксировал в течение суток на жестком диске требуемые показатели (рис.1).



Рисунок 1 – Измерение параметров в исследуемой электрической сети: а) шины 0,4 кВ силового трансформатора 10/0,4 кВ; б) прибор PQ-701

На основе полученной исследовательской информации, с использованием авторского программного обеспечения [4] произведена имитация подключения усовершенствованной модели БУ в исследуемую электрическую сеть. При этом параметры устройства в каждый момент времени автоматически изменяются в зависимости от уровня несбалансированного электропотребления:

$$\begin{aligned} & \underline{Y}_{\text{БУННRP}} \left( \left\{ \underline{U}_1 + \sum_4^{40} \underline{U}_{APS} \right\}, \left\{ I_1 + \sum_4^{40} I_{APS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\ & = \frac{1}{14,1428 \cdot (\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{I_1 + \sum_4^{40} I_{APS}\}(t)}{\{\underline{U}_1 + \sum_4^{40} \underline{U}_{APS}\}(t)} dt; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underline{Y}_{2\text{БУНРР}} \left( \left\{ \underline{U}_2 + \sum_2^{38} \underline{U}_{ANS} \right\}, \left\{ \underline{L}_2 + \sum_2^{38} \underline{L}_{ANS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\
 & = \frac{1}{14,1428 \cdot (\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{ \underline{L}_2 + \sum_2^{38} \underline{L}_{ANS} \}(t)}{\{ \underline{U}_1 + \sum_2^{38} \underline{U}_{ANS} \}(t)} dt; \\
 & \underline{Y}_{0\text{БУНРР}} \left( \left\{ \underline{U}_0 + \sum_3^{39} \underline{U}_{AZS} \right\}, \left\{ \underline{L}_0 + \sum_3^{39} \underline{L}_{AZS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\
 & = \frac{6}{(\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{ \underline{L}_0 + \sum_3^{39} \underline{L}_{AZS} \}(t)}{\{ \underline{U}_0 + \sum_3^{39} \underline{U}_{AZS} \}(t)} dt, \tag{3}
 \end{aligned}$$

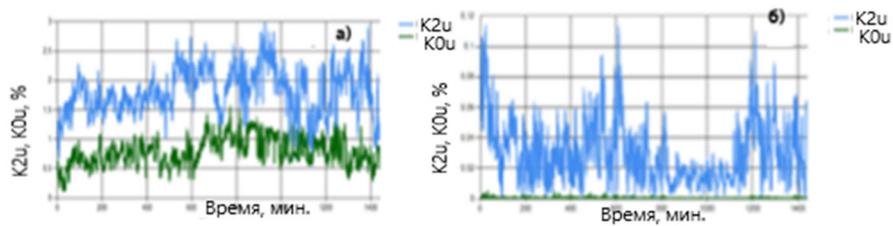


Рисунок 2 – Изменение коэффициентов несбалансированности напряжений по обратной и нулевой последовательностям: а) сеть без БУ; б) сеть с БУ

Анализ рисунка 2 показал, что при отсутствии в сети БУ значения модулей коэффициентов  $\underline{K}_{2U(UOM)}$  и  $\underline{K}_{0U(UOM)}$  (рис. 2, а), составляли, соответственно 1,8% и 0,8%<sup>1</sup>. При включении БУ (рис. 2, б) эти же значения составили, соответственно 0,03% и 0,0004%. Таким образом, эффект балансирования по этим двум показателям превысил 98%.

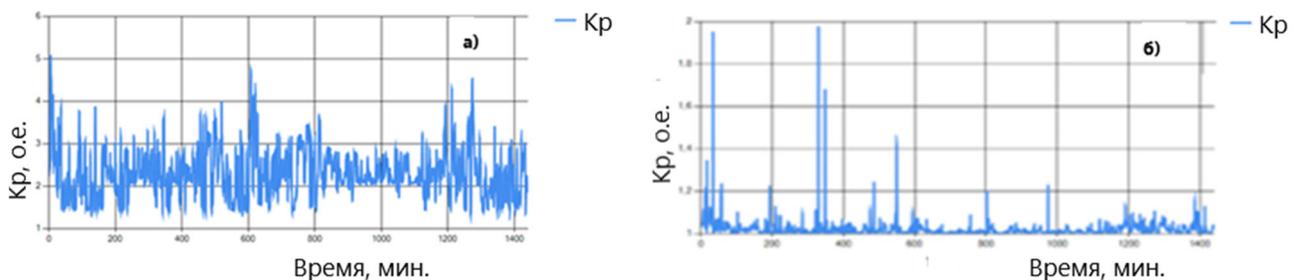


Рисунок 3 – Изменение коэффициента потерь мощности: а) сеть без БУ; б) сеть с БУ

Аналогичная ситуация и с коэффициентом потерь мощности: при отсутствии Бу в сети (рис 3, а) его значение составляло 2,3. То есть, превышение активных потерь в исследуемой сети в несбалансированном режиме в 2,3 раза превышает аналогичные потери в условно симметричном и сбалансированном режиме. При имитации включения БУ в исследуемую действующую СНН значение этого показателя составило 1,02. То есть, эффект балансирования по потерям активной мощности и электроэнергии составил более 65%.

Более реально изменение коэффициента потерь можно продемонстрировать на примере изменения потерь активной и реактивной мощностей в исследуемой сети (рис. 4).

Анализ рисунка 4 показывает, что при отсутствии БУ в исследуемой сети потери активной и реактивной мощности составляли, соответственно 1,84 кВт и 14,8 квар. При включении БУ в сети эти значения составили, соответственно 0,9 кВт и 6,6 квар. Таким

<sup>1</sup> Здесь и далее под значением показателя принимается его усредненная величина за весь исследуемый период, в течении 1400 одноминутных интервалов усреднения за одни сутки.

образом, снижение потерь активной и реактивной мощности при включении БУ составило 51% и 55%, соответственно.

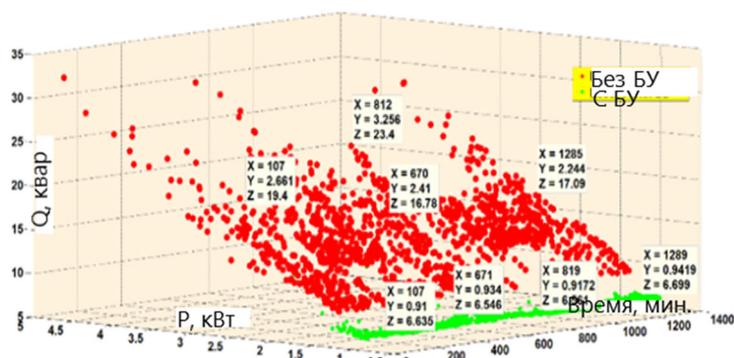


Рисунок 4 – Изменение потерь активной и реактивной мощности в исследуемой электрической сети до и после подключения БУ

**Заключение.** Таким образом, в результате произведенных исследований установлено следующее.

1. Режимы работы электрических сетей низкого напряжения характеризуются значительным несбалансированным электропотреблением.
2. Разработанная smart-grid технология управления этими режимами, основанная на использовании авторских балансирующего устройства и программного обеспечения позволяет эффективно производить минимизацию последствий несбалансированных режимов работы низковольтных сетей, повышая показатели, характеризующие качество электрической энергии более чем на 90%, и снижая соответствующие потери мощности и энергии более, чем на 50%.

#### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Дата введения 2014.07.01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: (дата обращения: 13.01.2024 г.).
2. Наумов И.В. Устройство для снижения потерь в электрических сетях с нелинейно-несимметричной нагрузкой. *Электричество*, 2023, 6, 57-66.
3. Косоухов Ф.Д. Методы расчета и анализа показателей несимметрии токов и напряжений в сельских распределительных сетях. Учеб. Пособие. Ленинград: ЛСХИ. 1984. 42 с.
4. Наумов И.В. “Unbalance-3”. Программа расчета несбалансированных режимов работы низковольтных электрических сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684122 от 13.11.23 г.

УДК 631.171

### **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ВИТАМИНИЗИРОВАННОГО МОЛОКА**

**Якубовская Е.С., Щепко Н.Ю., студент**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Качество производства молочной продукции определяется точностью поддержания технологических параметров, строгим соблюдением технологического регламента. Обеспечить эти условия можно с помощью эффективной системы автоматизации приемлемого уровня, которая учитывает особенности технологических процессов того или иного производства.