

4. Кривовязенко, Д.И. Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной сыворотке / Д.И. Кривовязенко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2019. – №4. – С. 42–45.
5. Ющенко, И. Б. Разработка способа электрокоагуляции белка картофельного сока : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / И. Б. Ющенко. – Минск, 1997. – 122 л.

УДК 621.313

### **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ**

**Зеленькевич<sup>1</sup> А.И.**, к.т.н., доцент, **Збродыга<sup>1</sup> В.М.**, к.т.н., доцент,  
**Шевчик<sup>2</sup> Н.Е.**, к.т.н., доцент

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,

<sup>2</sup>Институт энергетики НАН Беларуси, г. Минск

При отсутствии специальных приборов для непосредственного измерения показателей качества электроэнергии коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности можно определить аналитическими методами, используя измеренные с помощью вольтметров значения междуфазных и фазных напряжений трехфазной электрической сети. Применяются точные аналитические методы, требующие большого количества вычислений, и приближенные. Эти методы были представлены в действовавшем ранее ГОСТ 13109-97 [1].

Например, действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты вычисляется по формуле

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left( \sqrt{3}U_{AB} - \sqrt{4U_{BC}^2 - \left( \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 + \left( \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

а коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  – действующие значения напряжения междуфазных напряжений прямой последовательности основной частоты, В;  $U_1$  – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Допускается вычислять  $U_2$  по приближенной формуле

$$U_2 = 0,62(U_{нб} - U_{нм}), \quad (3)$$

где  $U_{нб}$ ,  $U_{нм}$  – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты, В.

При этом относительная погрешность определения  $K_{2U}$  с использованием формулы (3) вместо формулы (1) не превышает 8 % [1].

Действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты  $U_0$

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[ \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} - 3 \cdot \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right]^2 + \left[ \sqrt{4U_{BC}^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right)^2} \right]^2}, \quad (4)$$

где  $U_A, U_B$  – действующие значения фазных напряжений прямой последовательности основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах

$$K_{0U} = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100, \quad (5)$$

Допускается вычислять  $U_{0(1)}$  по приближенной формуле

$$U_0 = 0,62(U_{нб.ф} - U_{нм.ф}), \quad (6)$$

где  $U_{нб.ф}, U_{нм.ф}$  – наибольшее и наименьшее из трех действующих значений фазных напряжений основной частоты, В.

При этом относительная погрешность определения  $K_{0(1)}$  с использованием формулы (6) вместо формулы (4) не превышает  $\pm 10\%$  [1].

При определении  $U_0$  в четырехпроводных сетях по (4) при  $U_{AB}=0$  и  $U_{BC}=U_{CA}$  (двухфазное короткое замыкание) формула дает неопределенность  $0/0$  и, таким образом, неприменима для критических случаев несимметрии.

В действующем ГОСТ 32144-2013 [2], который соответствует европейскому региональному стандарту EN 50160 [3], уже не представлена методика расчета, но указано, что для определения показателей несимметрии напряжений должны быть проведены измерения по ГОСТ 30804.4.30 [4]. Согласно ГОСТ 30804.4.30 коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_2, \%$ , определяют по формуле (2) или из выражения:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где

$$\beta = \frac{U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4}{(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)^2}. \quad (8)$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_0, \%$ , определяют по формуле (5).

Но в ГОСТ 30804.4.30 не полностью представлена методика расчета вышеуказанных показателей. В частности, отсутствуют формулы определения напряжений обратной и нулевой последовательности, что в некоторой степени затрудняет расчет и вызывает сомнение в достоверности полученных таким образом результатов.

**Выводы:**

1. В действующих нормативных документах не в полном объеме приведены методики расчета показателей несимметрии напряжений с использованием измеренных значений междуфазных и фазных напряжений трехфазной электрической сети, что затрудняет их определение при отсутствии специальных дорогостоящих измерительных приборов, а также может вызвать сомнения в достоверности полученных результатов.

2. Существующие методики аналитического расчета требуют доработки, так как предназначены только для вычисления модулей симметричных составляющих и коэффициентов несимметрии, но не позволяют определять углы фазового сдвига  $\varphi_2$  и  $\varphi_0$ .

**Литература**

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2006. 33 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ). - Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2016-04-01. - Минск : Госстандарт, 2015. - 20 с.
3. EN 50160-2020 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks (Характеристики напряжения электроэнергии, подаваемой от общих распределительных сетей), 2020.
4. ГОСТ 30804.4.30 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии». М.: Стандартинформ, 2014. 52 с.

УДК 621.311, 658.261

**РАЗВИТИЕ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Фицнер М.А., магистрант**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Развитие сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь – одна из главных социально-экономических задач государства [1]. Решение этой задачи направлено на обеспечение внутренних потребностей в продовольствии и наращивание экспорта. Причем экспорт сельскохозяйственной продукции является важным источником доходов для экономики Республики Беларусь. В условиях конкуренции для наращивания экспорта сельскохозяйственным предприятиям приходится заботиться не только об увеличении объемов выпуска продукции, но и о повышении ее конкурентоспособности, в том числе за счет снижения себестоимости, которая существенно зависит от энергозатрат на единицу производимой продукции.

Энергосбережение и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является актуальным вопросом не только для отдельных сельскохозяйственных организаций, но и для государства в целом [2, 3]. Это связано с высокой зависимостью Республики Беларусь от импортируемых энергоресурсов, что негативно сказывается не только на энергетической безопасности, но и на других аспектах государственной политики. В соответствии с [3] «в складывающейся экономической ситуации необходимо активизировать работу по реализации государственной политики по повышению энергетической эффективности социально-экономического комплекса, предусматривающую жесткую экономию ТЭР, снижение затрат на единицу производимой продукции, в том числе тепловой и электрической энергии».