

УДК 621.31

UDC 621.31

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Technical sciences)

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В СЕТИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**FEATURES OF TECHNICAL AND ECONOMIC CALCULATION OF PARAMETERS OF A DEVICE FOR REDUCING ENERGY LOSSES IN THE NETWORK OF AN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Здановская Лидия Борисовна  
кандидат филологических наук, доцент  
РИНЦ SPIN-код: 7701-1615  
zdanovskaya2903@gmail.com  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Zdanovskaya Lidiya Borisovna  
Candidate of Philological Sciences, Associate Professor  
RSCI SPIN code: 7701-1615  
zdanovskaya2903@gmail.com  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia*

Масенко Алексей Владимирович  
инженер  
РИНЦ SPIN-код: 1304-4262  
almasenko@yandex.ru  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Masenko Alexey Vladimirovich  
Engineer  
RSCI SPIN-code: 1304-4262  
almasenko@yandex.ru  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia*

Представлен анализ технико-экономических показателей симметрирующего устройства, применяемого в агропромышленной сети. Техничко-экономический расчет произведен в относительных значениях для максимального значения тока в самый нагруженный период года, что позволяет использовать его под различные мощности устройства снижения потерь и под различные объемы потребленной энергии. Вопрос применения устройства симметрирования нагрузок обусловлен только его экономической эффективностью, что имеет важное значение в агропромышленном секторе с учетом больших потерь электроэнергии при передаче и трансформации (20 %)

The article presents an analysis of the technical and economic indicators of the balancing device used in the agro-industrial network. The technical and economic calculation is made in relative values for the maximum current value in the most loaded period of the year, which allows using it for different capacities of the loss reduction device and for different volumes of consumed energy. The issue of using the load balancing device is determined only by its economic efficiency, which is important in the agro-industrial sector given the large losses of electricity during transmission and transformation (20%)

Ключевые слова: ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, УСТРОЙСТВО СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ, УСТРОЙСТВО СИММЕТРИРОВАНИЯ НАГРУЗОК, ПОТЕРИ В АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ, ПОТЕРИ В НЕЙТРАЛЬНОМ ПРОВОДНИКЕ

Keywords: ECONOMIC INDICATORS, LOSS REDUCTION DEVICE, LOAD BALANCING DEVICE, LOSSES IN AGRO-INDUSTRIAL NETWORKS, LOSSES IN THE NEUTRAL CONDUCTOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-046>

Для исследования технико-экономических показателей разрабатываемого симметрирующего токи фаз устройства [1], предназначенного для снижения потерь энергии и повышения показателей

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/45.pdf>

ее качества в сетях агропромышленного комплекса, зададимся его параметрами.

В первую очередь необходимо задаться его характерным режимом работы и периодом времени его пиковой нагрузки (летний или зимний период). Под таким режимом работы стоит понимать условие максимальной несимметрии токов в фазных проводниках (максимальное значение токов в нулевом проводнике) в характерный период года [2].

Определение основных параметров устройства происходит в следующей последовательности. Сначала определяем среднее значение фазного тока, А

$$I_{\text{cp}} = \frac{I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}}{3}, \quad (1)$$

где  $I_{Li}$  – ток  $i$ -й фазы, А.

Далее необходимо определить номинальную мощность самого симметрирующего устройства, кВА

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{cp}} \cdot U_{\text{ном}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение электроустановки, кВ.

Далее находится необходимая реактивная мощность статических конденсаторов, устанавливаемых параллельно симметрирующему устройству и необходимых для его корректной работы, квар [1]

$$Q_{\text{кв}} = S_{\text{ном}} \cdot (\sin \varphi_{\text{д}} - \sin \varphi_{\text{п}}), \quad (3)$$

где  $\varphi_{\text{д}}$  – угол сдвига фаз до компенсации реактивной мощности (КРМ),

$\varphi_{\text{п}}$  – угол сдвига фаз после КРМ.

В сетях сельскохозяйственного назначения следует принимать  $\sin \varphi_{\text{п}}$  равным 0,31, что соответствует принимаемому коэффициенту мощности, равному 0,95.

Определяем мощность одиночной батареи статических конденсаторов, устанавливаемой в одной фазе, квар

$$Q_{\text{ку1}} = \frac{1}{3} \cdot Q_{\text{ку}}. \quad (4)$$

Далее определяем емкостное сопротивление одиночной батареи статических конденсаторов, Ом

$$X_{\text{ку}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{3 \cdot Q_{\text{ку1}}} \cdot 10^3. \quad (5)$$

Индуктивное сопротивление симметрирующего устройства связано с емкостным сопротивлением следующим соотношением, Ом

$$X_{\text{су}} = \frac{X_{\text{ку}}}{3}. \quad (6)$$

Тогда индуктивность дросселя симметрирующего устройства определится выражением, Гн

$$L = \frac{X_{\text{су}}}{2\pi \cdot f}, \quad (7)$$

где  $f$  – значение промышленной частоты, Гц.

Величина тока нулевой последовательности  $I_0$  также связана определенным соотношением, только с коэффициентом тока по нулевой последовательности  $k_{0i}$  [1], А

$$I_0 = k_{0i} \cdot \frac{I_{\text{ср}}}{2}. \quad (8)$$

Тогда реактивная мощность дросселя симметрирующего устройства найдется по выражению, квар

$$Q_{\text{су}} = 3 \cdot I_0^2 \cdot X_{\text{су}}. \quad (9)$$

Суммарная мощность используемых реактивных элементов симметрирующего устройства определится выражением

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{ку}} + Q_{\text{су}}. \quad (10)$$

Рассчитанные ранее элементы (дроссель  $L$  и три секции КУ1 батареи статических конденсаторов) объединяются в симметрирующее устройство согласно схеме, представленной на рисунке 1 [2].

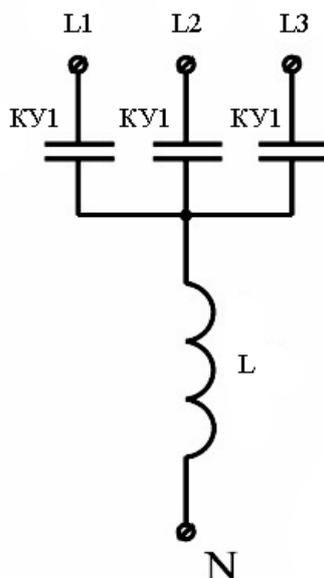


Рисунок 1 – Схема симметрирующего устройства

Приведем алгоритм расчета экономической эффективности использования устройства симметрирования токов фаз в агропромышленном секторе, характерного для юга нашей страны.

Как известно [3], сетевые потери составляют в среднем около 20 % от всей отпущенной энергии, а на долю потерь в низковольтных линиях и понижающих трансформаторах приходится  $\approx 60$  % от всего уровня потерь. Соответственно, на долю потерь в линиях и трансформаторах агропромышленного сектора приходится 12 % от всей отпущенной энергии.

Используя формулу определения коэффициента дополнительных потерь [4], запишем выражения для его определения до ( $k_{дд}$ ) и после ( $k_{дп}$ ) симметрирования

$$k_{дд} = \frac{\Delta W_{д}}{\Delta W_0}, \quad (11)$$

где  $\Delta W_0$  – потери энергии в симметричном режиме, кВт·ч.

$\Delta W_{д}$  – потери энергии в несимметричном режиме, кВт·ч,

$$k_{дп} = \frac{\Delta W_{п}}{\Delta W_0}, \quad (12)$$

где  $\Delta W_{\text{п}}$  – потери энергии при работе предлагаемой установки, кВт·ч.

Суммарное изменение величины потерь (кВт·ч) после установки устройства симметрирования находится как

$$\delta W = \Delta W_{\text{д}} - \Delta W_{\text{п}}. \quad (13)$$

Потери энергии в сети после установки симметрирующего устройства определяются по следующему выражению, кВт·ч

$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{k_{\text{дп}}}{k_{\text{дд}}} \cdot \Delta W_{\text{д}}. \quad (14)$$

Подставив (14) в (13) получаем

$$\delta W = \Delta W_{\text{д}} - \frac{k_{\text{дп}}}{k_{\text{дд}}} \cdot \Delta W_{\text{п}} = \Delta W_{\text{д}} \cdot \left( 1 - \frac{k_{\text{дп}}^2}{k_{\text{дд}}^2} \right). \quad (15)$$

Доля потерь в сельской распределительной сети составляет ~12 %, от всей отпущенной электроэнергии, поэтому она может быть выражена следующим соотношением, кВт·ч

$$\Delta W_{\text{д}} = \frac{12}{100} W, \quad (16)$$

где  $W$  – отпущенная энергия потребителю, кВт·ч.

Как известно, потери в сети связаны с коэффициентом мощности следующим соотношением

$$k_{\text{р}} \approx \frac{1}{\cos^2 \varphi}. \quad (17)$$

где  $k_{\text{р}}$  – относительный коэффициент общих технических потерь.

Представим коэффициенты потерь мощности до и после мероприятий по КРМ

$$\begin{cases} k_{\text{дд}}^{\varphi} \approx \frac{1}{\cos^2 \varphi_{\text{д}}} \\ k_{\text{дп}}^{\varphi} \approx \frac{1}{\cos^2 \varphi_{\text{п}}} \end{cases}. \quad (18)$$

Коэффициент дополнительных потерь  $k_{дд}^f$  в соответствии с (11), (12) примет следующий вид

$$\begin{cases} k_{дд}^{\varphi} = \frac{\Delta W_{д}}{\Delta W_{0(\cos \varphi_{п})}} \\ k_{дп}^{\varphi} = \frac{\Delta W_{п}}{\Delta W_{0(\cos \varphi_{п})}} \end{cases} \quad (19)$$

где  $\Delta W_{0(\cos f_{п})}$  – потери энергии при отсутствии реактивной мощности в сети —  $\cos f = 1$ , кВт·ч,

$\Delta W_{п}$  – потери энергии при КРМ, кВт·ч,

$\Delta W_{д}$  – потери энергии без КРМ, кВт·ч.

Потери энергии (кВт·ч) при частичной КРМ находятся как (15)

$$\delta W_{КРМ} = \frac{12}{100} W - \frac{k_{дп}^{\varphi}}{k_{дд}^{\varphi}} \cdot \Delta W_{п} = \frac{12}{100} W \cdot \left( 1 - \frac{(k_{дп}^{\varphi})^2}{(k_{дд}^{\varphi})^2} \right) \quad (20)$$

Коэффициент доп. потерь  $k_{дп}^f$  при полной КРМ ( $\cos f = 0,95$ ) будет составлять величину

$$k_{дп}^{\varphi} = \frac{1}{0,95^2} = 1,05.$$

Поэтому выражение (20) окончательно примет следующий вид

$$\delta W_{КРМ} = \frac{12}{100} W \cdot \left( 1 - \frac{1,1}{(k_{дд}^{\varphi})^2} \right).$$

Эффект от снижения потерь энергии  $\delta W_{real}$  (кВт·ч) при применении симметрирующего устройства с учетом потерь энергии в нем самом может быть представлен в следующем виде

$$\delta W_{real} = \delta W + \Delta W_{КРМ} - \Delta W_{cy}, \quad (21)$$

Величина потерь (кВт·ч) в устройстве симметрирования рассчитывается по следующей формуле[4]

$$\Delta W_{cy} = T \cdot (Q_{ky} \cdot p_c + Q_{cy} \cdot p_L), \quad (22)$$

где  $T$  – время максимума нагрузки, ч/год,

$p_c$  – удельные потери мощности в конденсаторах, устанавливаемых в устройстве симметрирования (0,003 кВт/квар),

$p_L$  – удельные потери мощности в индуктивном элементе устройства симметрирования, кВт/(квар).

Снижение потерь с учетом (22), (20) и (15) определится по выражению

$$\delta W_{\text{real}} = 0,12W \cdot \left(1 - \frac{k_{\text{дп}}^2}{k_{\text{дд}}^2}\right) + 0,12W \cdot \left(1 - \frac{1,1}{(k_{\text{дд}}^{\phi})^2}\right) - T \cdot (Q_{\text{кв}} \cdot 0,003 + Q_{\text{св}} \cdot p_L), \quad (23)$$

Годовой экономический эффект установки определяется как

$$\Xi = \frac{K}{t} - 0,2 \cdot K, \quad (24)$$

где  $K$  – капитальные затраты на установку симметрирующего устройства, у.е.,

0,2 – коэффициент экономической эффективности затрат.

$t$  – срок окупаемости, лет; определяемый по выражению

$$t = \frac{K}{c_3 \cdot \delta W_{\text{real}} - 0,12 \cdot K}, \quad (25)$$

где  $c_3$  – стоимость 1 кВт·ч энергии по действующему тарифу, у. е.,

0,12 – доля относительных расходов на амортизацию и текущее обслуживание (0,1).

Подставив (25) в (24) и с учетом (23), получим итоговое выражение

$$\Xi = c_3 \cdot \left(0,12W \cdot \left(1 - \frac{k_{\text{дп}}^2}{k_{\text{дд}}^2}\right) + 0,12W \cdot \left(1 - \frac{1,1}{(k_{\text{дд}}^{\phi})^2}\right) - T \cdot (Q_{\text{кв}} \cdot 0,003 + Q_{\text{св}} \cdot p_L)\right) - 0,08 \cdot K, \quad (26)$$

**Выводы:**

Технико-экономический расчет показывает, что использование симметрирующего устройства эффективно в качестве способа снижения уровня технических потерь в сельской низковольтной распределительной

сети и поддержания параметров качества электроэнергии на должном уровне. Кроме того, экономический эффект от применения устройства симметрирования может быть увеличен за счет снижения уровня потерь в нем самом путем ограничения времени его работы в электрической сети: при работе автоматики, реагирующей на определенную величину уставки тока нулевой последовательности, произойдет его подключение к электрической сети, а при снижении данного тока – его отключение.

### Список литературы

1. Савенко, А. В. Средства контроля показателей качества электроэнергии на предприятиях АПК / А. В. Савенко, В. А. Щebetеев, А. В. Емелин // Сельский механизатор. – 2024. – № 12. – С. 28-29, 33.
2. Методы и средства снижения потерь в низковольтных распределительных сетях / Н. А. Гранкина, А. В. Масенко, О. С. Турчанин, В. А. Щebetеев. – Уфа : Аэтерна, 2024. – 178 с. – ISBN 978-5-00249-003-5.
3. Щebetеев, В. А. Методика распределения нагрузок по фазам / В. А. Щebetеев, К. А. Гладких, Н. В. Папезжук // Проблемы научной мысли, № 4, 2024, Т. 1. – С. 106-109. – ISSN 1561-6916.
4. Тропин, В. В. Анализ связи параметров сети с показателями качества электроэнергии / В. В. Тропин, А. В. Савенко, В. А. Перепечин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2005. – № 5. – С. 16-18.

### References

1. Savenko, A. V. Sredstva kontrolya pokazatelej kachestva elektroenergii na predpriyatiyah APK / A. V. Savenko, V. A. SHCHebeteev, A. V. Emelin // Sel'skij mekhanizator. – 2024. – № 12. – S. 28-29, 33.
2. Metody i sredstva snizheniya poter' v nizkovol'tnyh raspredelitel'nyh setyah / N. A. Grankina, A. V. Masenko, O. S. Turchanin, V. A. SHCHebeteev. – Ufa : Aeterna, 2024. – 178 s. – ISBN 978-5-00249-003-5.
3. SHCHebeteev, V. A. Metodika raspredeleniya nagruzok po fazam / V. A. SHCHebeteev, K. A. Gladkih, N. V. Papezhuk // Problemy nauchnoj mysli, № 4, 2024, T. 1. – S. 106-109. – ISSN 1561-6916.
4. Tropin, V. V. Analiz svyazi parametrov seti s pokazatelyami kachestva elektroenergii / V. V. Tropin, A. V. Savenko, V. A. Perepechin // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika. – 2005. – № 5. – S. 16-18.