

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Н.Г. Королевич,**

*зав. каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент*

**Г.И. Янукович,**

*профессор каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, профессор*

*В статье приведена методика определения ущерба сельскохозяйственных потребителей от использования некачественной электроэнергии.*

*Ключевые слова: качество энергоснабжения, энергоэффективность, электрические сети.*

*In the article the technique of definition of damage of agricultural consumers from use of the poor-quality electric power is presented.*

*Key words: quality of power supply, energy efficiency, electrical networks.*

### Введение

Ущерб потребителей электроэнергии в значительной степени зависит от качества электроснабжения, которое представляет собой интегральную характеристику, включающую в себя показатели качества электрической энергии, надежности электроснабжения и энергоэффективности.

Качество электроэнергии в определенной точке сети характеризуется величиной и длительностью отклонений напряжений в этой точке. При этом необходимо также учитывать мощность присоединенных приемников электроэнергии.

В оценке технических показателей существует экономический смысл. Действительно, в процессе работы, например электродвигателя, при пониженном напряжении возникают повышенные потери электроэнергии в обмотках. Естественно, чем большее количество двигателей работает в таких условиях, и чем больше времени будут существовать отклонения напряжения, тем больше от этого будет размер экономического ущерба.

В электрической сети существует большое количество различных электроприемников. Все они чувствительны к отклонениям напряжения. На ущерб влияет не только отклонение напряжения, но и другие показатели качества напряжения. Наиболее существенными показателями для сельскохозяйственных потребителей являются несимметрия и несинусоидальность напряжения.

Различают прямую и дополнительную составляющие ущерба. Прямая составляющая представляет собой сумму ущербов от сокращения срока службы электроприемников и увеличения потерь электроэнергии в этих электроприемниках и электрических сетях. Дополнительная составляющая ущерба включает в себя ущерб от снижения продуктивности жи-

вотных, увеличения расхода кормов, возрастания заболеваемости и падежа молодняка.

К сожалению, нет достаточно обоснованной методики определения ущерба для многих потребителей при изменении показателей в относительно узком диапазоне.

Анализ работы отдельных видов сельскохозяйственных потребителей показывает, что наибольший ущерб от ухудшения качества напряжения бывает при чисто осветительной нагрузке, наименьший – при двигательной. Другие потребители по величине ущерба занимают промежуточные места.

Не все показатели качества электроэнергии в одинаковой степени влияют на технологические процессы в сельскохозяйственном производстве. Наибольший ущерб вызывают такие показатели, как отклонение, несимметрия и несинусоидальность напряжения. Рассмотрим влияние некоторых показателей качества напряжения на формирование ущерба сельскохозяйственных потребителей.

### Основная часть

Приведем методику определения основной составляющей ущерба от отклонения напряжения для различных сельскохозяйственных потребителей.

*Лампы накаливания.* Режим работы ламп накаливания достаточно полно характеризуется такими показателями, как потребляемая мощность, световой поток, световая отдача и срок службы. При отклонении напряжения от номинального, изменяются все эти показатели. Однако в условиях сельского хозяйства наиболее существенное влияние на формирование ущерба оказывают изменения мощности и срока службы.

Потребляемая лампами накаливания мощность и соответственно энергия при увеличении напряжения выше номинального возрастают, при уменьшении

напряжения – снижаются и имеют прямо пропорциональную зависимость.

Изменение потребляемой энергии при изменении напряжения равно:

$$\Delta W = W - W_n, \quad (1)$$

где  $W$  – потребляемая энергия при напряжении, отличном от номинального, кВт · ч;

$W_n$  – потребляемая лампами энергия при номинальном напряжении, кВт · ч.

Ущерб от изменения мощности ламп накаливания при изменении напряжения будет равен:

$$Y_{мл} = C_1 \cdot \Delta W, \quad (2)$$

где  $C_1$  – тариф (цена) 1 кВт · ч электроэнергии, руб.

Изменение срока службы лампы накаливания от отклонения напряжения характеризуется отношением срока службы лампы при напряжении, отличном от номинального ( $T$ ) к сроку службы при номинальном напряжении ( $T_n$ ). Величина, обратная этому отношению, представляет собой коэффициент, учитывающий изменения затрат на замену вышедших из строя ламп при работе их на напряжении, отличном от номинального, за время работы лампы при номинальном напряжении:

$$k = \frac{T_n}{T}. \quad (3)$$

При отклонении напряжения выше номинального коэффициент  $k > 1$ , при напряжении сети ниже номинального  $k < 1$ , при номинальном напряжении  $k = 1$ .

Ущерб от изменения срока службы ламп накаливания по организации будет равен:

$$Y_{сл} = C_2 \cdot k \cdot n - C_2 \cdot n = C_2 \cdot n(k-1), \quad (4)$$

где  $C_2$  – стоимость одной лампы данной мощности, руб.;

$n$  – количество ламп данной мощности, шт.

Суммарный ущерб основной составляющей ламп накаливания при изменении напряжения:

$$Y_{лн} = Y_{мл} + Y_{сл}. \quad (5)$$

*Люминесцентные лампы.* Люминесцентные лампы менее чувствительны к отклонениям напряжения.

Перерасход активной энергии, как и для ламп накаливания, определяется по формуле (1). Ущерб от изменения активной мощности люминесцентной лампы определяется по формуле (2).

Перерасход реактивной энергии от отклонения напряжения:

$$\Delta W_p = W_p - W_{np}, \quad (6)$$

где  $W_p$  – потребление реактивной энергии при напряжении, отличном от номинального, кВАр · ч;

$W_{np}$  – потребление реактивной энергии при номинальном напряжении, кВАр · ч.

Ущерб от изменения реактивной мощности люминесцентных ламп

$$Y_{рмл} = C_p \cdot \Delta W_p, \quad (7)$$

где  $C_p$  – стоимость 1 кВАр · ч реактивной энергии, руб.

Ущерб от изменения срока службы:

$$Y_{слл} = k_1 \sum_{i=1}^n C_{zi} - \sum_{i=1}^n C_{zi} = (k_1 - 1) \sum_{i=1}^n C_{zi}, \quad (8)$$

где  $C_{zi}$  – стоимость  $i$ -й лампы, руб.;

$n$  – количество ламп, шт.

Основная составляющая ущерба от люминесцентных ламп:

$$Y_{лл} = Y_{амл} + Y_{рмл} + Y_{слл}. \quad (9)$$

При изменении напряжения изменяется и световой поток. Это приводит к соответствующему изменению освещенности и, в конечном счете, влияет на производительность труда и утомляемость человека. Однако зависимость этих показателей от освещенности нельзя выразить в виде однозначных математических выражений.

Вместе с тем, влияние освещенности на рост растений в теплицах оказывает существенное значение. При снижении напряжения ниже номинального, уменьшается освещенность, а это приводит к замедленному росту растений, недоотпуску продукции и, естественно, к ущербу предприятия.

*Энергосберегающие и светодиодные лампы.* Технические характеристики этих ламп от напряжения не зависят. Наиболее экономичными являются светодиодные лампы. Световая отдача их около 200 лм/Вт, срок службы – 50 000 часов, потребляемая мощность лампы, например СД-9, 8 Вт. Однако в распределительных сетях из-за светодиодных источников света наблюдается значительное искажение формы кривых тока, что во многих случаях превышает пределы, определяемые международными стандартами. Такие источники света, кроме того, приводят к росту тока в нулевом проводе даже при полностью симметричной нагрузке. Это увеличение тока может привести к аварийным ситуациям из-за перегорания нулевого провода [1]. Ущерб определить при такой ситуации весьма сложно, так как он зависит от схемы электрооборудования и вида электроприемников.

*Электротепловые процессы.* Перерасход активной мощности при изменении напряжения электродвигателей, электрокалориферов, теплоэлектроагрегатов характеризуется зависимостью, приведенной в методических рекомендациях по определению ущерба от отклонений напряжения на животноводческих предприятиях [2]. Перерасход энергии и ущерб от изменения срока службы электроагрегативных установок определяется по выражению, как для ламп накаливания. Отличаются выражения только коэффициентом, учитывающим изменение затрат на замену вышедших из строя нагревательных установок при отклонении напряжения от номинального.

*Электрические двигатели.* Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя от номинального значения вызывают изменение потребления активной и реактивной мощности, изменение частоты вращения и срока его службы. Соответственно, основной ущерб при отклонениях напряжения состоит из суммы ущерба от четырех вышеперечисленных составляющих.

Основная составляющая ущерба за год от электродвигателей при отклонениях напряжения будет равна:

$$Y_{эд} = \frac{Y_{*эд} C_0}{8760} \sum_{i=1}^n P_{нi} t_i, \text{ руб/год}, \quad (10)$$

где  $Y_{*эд} = 455,34V^2 - 1,7V$  – удельная величина основной составляющей ущерба, вызывающая ущерб по всем четырем показателям;

$V=(U-U_n)/U_n$  – отклонение напряжения, %;

$\sum P_{нi}$  – общая установленная мощность электродвигателей, кВт;

$C_0$  – коэффициент перевода цен 1990 года в действующие цены;

$t_i$  – время работы  $i$ -го двигателя, ч.

Дополнительный ущерб при работе электродвигателей в сельском хозяйстве может быть обусловлен лишь изменением частоты вращения ротора, которое незначительно и может быть компенсировано увеличением продолжительности работы. К тому же производственные процессы, в которых используются электродвигатели, не влияют непосредственно на организм животных. Поэтому дополнительную составляющую ущерба при отклонениях напряжения для электродвигателей принято считать равной нулю [2].

Установки ультрафиолетового облучения и инфракрасного обогрева. Методика определения ущерба в данных установках идентична методике расчета ущерба в осветительных установках.

Суммарный основной ущерб будет определяться суммой ущербов по каждому отдельному электроприемнику.

К примеру, по рассмотренным выше потребителям он будет равен:

$$Y_{осн} = Y_{лн} + Y_{лл} + Y_{эну} + Y_{эд} + Y_{уфо} + Y_{ико} = \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (11)$$

Дополнительная составляющая ущерба от отклонения напряжения каждому  $i$ -му технологическому процессу включает в себя три вида потерь или любое их сочетание, обусловленные снижением продуктивности животных или потерями готовой продукции ( $Y_{жи}$ ), повышением потребления кормов ( $Y_{ки}$ ), повышением падежа молодняка ( $Y_{оі}$ ).

$$Y_{ді} = Y_{жи} + Y_{ки} + Y_{оі}. \quad (12)$$

Суммарный дополнительный (технологический) ущерб по предприятию включает дополнительные составляющие ущерба от ламп накаливания, люминесцентных ламп, водонагревателей и электрообогревательных приборов, установок инфракрасного обогрева и от установок ультрафиолетового облучения соответственно.

Определим ущерб от несимметрии напряжений. Несимметрия нагрузок вызывает несимметрию напряжений. Одни однофазные электроприемники могут оказаться под повышенным напряжением, другие – под пониженным. На выводах трехфазных электроприемников появляется несимметричная система напряжений. При несимметричном режиме работы

сети существенно ухудшаются условия работы, как самих электроприемников, так и всех элементов сети. Так, срок службы полностью загруженного асинхронного электродвигателя при несимметрии напряжения, которое составляет 4 %, сокращается в 2 раза. При наличии в сети несимметрии напряжений, по проводам линий электропередачи будут протекать токи обратной и нулевой последовательности. Это приводит к увеличению суммарных токов в отдельных фазах сети и к увеличению потерь активной мощности, что может быть недопустимо с точки зрения нагрева электрооборудования.

Ущерб электроприемников от несимметрии напряжений определить весьма сложно. Однако потери энергии от несимметрии напряжений в электрических сетях определить можно [3].

Так, потери энергии от несимметрии напряжений в электрических сетях можно определить по формуле:

$$\Delta W = (\Delta P_{\tau} + \Delta P_{л}) \tau, \quad (12)$$

где  $\Delta P_{\tau}$  – потери активной мощности от несимметрии напряжений в трансформаторе, кВт;

$\Delta P_{л}$  – потери активной мощности от несимметрии напряжений в линии, кВт.

Потери активной мощности от несимметрии напряжений в трансформаторе определяются следующим образом:

$$\Delta P_{\tau} = 3I_0^2 r_0 + 3I_2^2 r_2, \quad (13)$$

где  $I_0, I_2$  – токи нулевой и обратной последовательности трансформатора, А;

$r_0, r_2$  – активные сопротивления нулевой и обратной последовательности трансформатора, Ом.

Преобразуем данное выражение по закону Ома, а затем, разделив и умножив его на квадрат напряжения прямой последовательности  $U_1^2$ , получим:

$$\Delta P_{\tau} = 3 \frac{U_0^2}{U_1^2} \frac{U_1^2}{Z_0^2} r_0 + 3 \frac{U_2^2}{U_1^2} \frac{U_1^2}{Z_2^2} r_2, \quad (14)$$

где  $Z_0, Z_2$  – полные сопротивления нулевой и обратной последовательности трансформатора, Ом;

$$\frac{U_0}{U_1} = k_0, \quad \frac{U_2}{U_1} = k_2 \quad \text{– коэффициенты несимметрии}$$

по нулевой и, соответственно, обратной последовательности.

После преобразования, получим выражение для определения мощности в трансформаторе от несимметрии напряжений:

$$\Delta P_{\tau} = 3U_1^2 \left( k_0^2 \frac{r_0}{Z_0^2} + k_2^2 \frac{r_2}{Z_2^2} \right). \quad (15)$$

Потери активной мощности от несимметрии напряжений в линии определяются аналогично, как и для трансформатора:

$$\Delta P_{\tau} = 3U_1^2 \left( k_0^2 \frac{r_{0л}}{Z_{0л}^2} + k_2^2 \frac{r_{2л}}{Z_{2л}^2} \right), \quad (16)$$

где  $r_{0л}, r_{2л}$  – активные сопротивления нулевой и обратной последовательности линии, Ом;

$Z_{0л}, Z_{2л}$  – полные сопротивления нулевой и обратной последовательности линии, Ом.

Ущерб от несинусоидальности напряжений. Потери активной энергии в электрических сетях от несинусоидальности напряжения

$$\Delta W = \Delta P_{\Gamma} \tau, \quad (17)$$

где  $\Delta P_{\Gamma}$  – потери активной мощности от несинусоидальности напряжения в трансформаторе и линии, кВт.

Потери активной мощности от несинусоидальности напряжения в трансформаторе и линии, обусловленные несинусоидальным режимом работы, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\Gamma} = \Delta P_{\Gamma.т} + \Delta P_{\Gamma.л}, \quad (18)$$

где  $\Delta P_{\Gamma.т}$  – дополнительные потери от высших гармоник в трансформаторе, обусловленные несинусоидальным режимом его работы, кВт;

$\Delta P_{\Gamma.л}$  – дополнительные потери от высших гармоник в линии, обусловленные протеканием токов высших гармоник, кВт.

Суммарные дополнительные потери от высших гармоник в трансформаторе, обусловленные несинусоидальным режимом его работы, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\Gamma.т} = \Delta P_{x.x} \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 + 0.607 \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1+0,05v^2}{v\sqrt{v}} U_v^2, \quad (19)$$

где  $v$  – порядок высших гармонических составляющих напряжения;

$\Delta P_{x.x}$  – потери холостого хода трансформатора;

$\Delta P_{к.з}$  – потери короткого замыкания трансформатора;

$U_v$  – напряжение  $v$  гармоники.

Дополнительные потери от высших гармоник в линии, обусловленные протеканием токов высших гармоник можно определить по выражению:

$$\Delta P_{\Gamma.л} = 1,41r \sum_{v=2}^{\infty} \sqrt{v} I_v^2, \quad (20)$$

где  $I_v$  – ток  $v$  гармоники.

### Заключение

Приведена методика определения ущерба в электрических сетях от некачественной энергии. Показано, что ущерб состоит из отклонения напряжения, несимметрии и несинусоидальности напряжений. Приведены выражения, позволяющие определить ущерб, как у потребителей, так и в электрических сетях.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боярская, Н.П. Влияние светодиодных источников света на спектр токов и напряжений питающей сети / Н.П. Боярская, В.П. Довгун // Вестник КрасГАУ. – № 3. – 2014. – С. 195-199.
2. Методические рекомендации по определению ущерба от отклонения напряжений на животноводческих предприятиях. – М.: ВИЭСХ, 1986. – 88 с.
3. Янукович, Г.И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках / Г.И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2013. – 216 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.06.2018

### Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопашотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

*Производство плугов освоено на ДП «Минотовский ремонтный завод».*

Изготовлено 37 плугов.

*В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.*

#### Основные технические данные

Тип.....	навесной
Тип корпуса.....	полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	1,20/1,35/1,50/1,65