

### Заключение

В работе исследованы основные структурные характеристики и построены вероятностно-статистические модели ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения РУП «Гомельэнерго». Если обратиться к работам по исследованию параметров сельских электрических сетей, выполненным ранее [1, 3-5], то можно отметить тенденции к снижению общей протяженности ВЛ 10 кВ, увеличению сечений проводов магистральной части линии и ответвлений, увеличению суммарной установленной мощности ТП 10/0.4 кВ, подключенных к одной ВЛ.

Модели могут быть использованы для задач, связанных с анализом надежности схем электроснабжения потребителей АПК.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зуль, А.М. Вероятностно-статистическое исследование основных параметров сельских электрических сетей / А.М. Зуль, А.А. Халфен // Научные труды по электрификации сельского хозяйства / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т электрифик. сельск. хоз-ва; редкол. И. А. Будзко [и др.] – М., 1968. – Т. XXI. – С. 78-92.
2. Куценко, Г.Ф. Структурные характеристики ВЛ 6-10 кВ сельских электрических сетей / Г.Ф. Куценко, А.А. Парфенов // Энергетика. – Изв. вузов. – 2002. – №2. – С. 10-15.
3. Акимцев, Ю.И. Вероятностно-статистические модели сельских распределительных сетей / Ю.И. Акимцев, В.В. Афанасьев // Труды Волгоградского сельскохозяйств. ин-та. – Волгоград, 1985. – Т. 92. – С. 80-87.
4. Поспелов, Г.Е. Надежность электроустановок сельскохозяйственного назначения / Г.Е. Поспелов, В.И. Русан. – Минск: Ураджай, 1982. – 166 с.
5. Крушельницкий, А.З. Модели электрических распределительных сетей / А.З. Крушельницкий, В.А. Попов // Электрические сети и системы: респ. междувед. науч.-техн. сб. – Львов: Вища школа, 1980. – Вып. 16. – С. 75-84.
6. Куценко, Г.Ф. Моделирование распределительных сетей напряжением 6-10 кВ / Г.Ф. Куценко, А.А. Парфенов // Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: материалы междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 22-23 нояб. 2001 г. / Гомельский гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; редкол.: Б. И. Кудрин [и др.]. – Гомель, 2001. – С. 84-86.
7. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
8. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
9. Методика статистической обработки эмпирических данных (РТМ-44-62). – М.: Изд. – во стандартов, 1966. – 100 с.

УДК 621.311.1

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.01.2008

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.П. Счастный, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

### Аннотация

*Для конструктивного взаимодействия между энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ требуется применение комплекса технических средств (КТС), обеспечивающих как надежное и качественное электроснабжение сельскохозяйственных объектов, так и способных регистрировать и архивировать значения параметров и режимов работы этих сетей. Предложены функции КТС и направления их оптимизации при определении оценки эффективности его функционирования.*

### Введение

В структуре электропотребления Республики Беларусь производственные сельскохозяйственные потребители и сельское население составляют 15-17 %. Взаимоотношения между электроснабжающей организацией и потребителями строятся на договорной основе и регламентируются «Правилами пользования

электрической и тепловой энергией» [1]. Не вдаваясь в детальный анализ разработанного более 10 лет назад вышеупомянутого нормативного документа, по мнению большинства руководителей энергетических служб предприятий, он не соответствует современным экономическим отношениям. Фактически, несмотря на имеющие место констатации ответственности сторон, энергоснабжающая организация, являю-

шаяся монополистом, не несет ответственности за качество электроэнергии, надежность электроснабжения и т.д. Не работают механизмы реализации ряда программ, направленных на стимулирование внедрения технических средств по поддержанию качества напряжения, снижение потерь и рациональному использованию электроэнергии.

К основным причинам «однобокости» исполнения договора в части «ответственности сторон», невозможности предъявления иска к энергоснабжающей организации, относятся:

- отсутствие у потребителей технических средств регистрации и архивирования параметров электрических сетей 0,38 кВ, перерывов в электроснабжении и других нарушений договорных отношений;

- недостаточность технических средств у энергоснабжающей организации для регистрации и архивирования параметров сети на шинах подстанций, сетевых секционирующих пунктах, от которых отходят распределительные сети к подстанциям 10/0,38 кВ сельскохозяйственных объектов, что не позволяет анализировать претензии потребителей;

- несовершенство законодательства, что дает возможность энергоснабжающей организации выступать в роли продавца электроэнергии, контролера, законодателя и фактически арбитра спорных вопросов.

В связи с принятием «Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006-2010 гг.» [2], ситуация меняется в сторону конструктивного взаимодействия между производителями электроэнергии, энергоснабжающими организациями и потребителями по выработке взаимовыгодных отношений.

### Основная часть

Для решения задачи энергосбережения, рационального использования электроэнергии сельскохозяйственными потребителями необходимо обеспечить их надежным электроснабжением и качественной электроэнергией. Для этого требуется сделать правильный выбор схемных и режимных параметров сельских электрических сетей 0,38 кВ, обеспечить их эффективными и, в оптимальном количестве, техническими средствами, в том числе способных регистрировать и архивировать параметры и режимы этих сетей.

В качестве критерия оценки эффективности функционирования КТС для обеспечения управления режимами работы, надежности электроснабжения и поддержания качества электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ принимаем минимум суммарных дисконтированных затрат за расчетный период эксплуатации КТС, равного  $T_p$  годам:

$$Z_{d\Sigma} = \sum_{t=0}^{T_p} Z_t (1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

где  $Z_t$  – годовые затраты на комплекс технических средств, включающие капитальные вложения и текущие издержки, руб.;

$E$  – принятая ставка дисконтирования (норма дисконта) в относительных единицах.

Определимся с функциями комплекса технических средств, которые наиболее характерны для электрических сетей 0,38 кВ:

- поддержание в допустимых пределах уровней напряжения;

- обеспечение в допустимых пределах синусоидальности и симметрии трехфазной системы напряжения 0,38 кВ;

- оптимальная компенсация реактивной мощности;

- контроль и ограничения режима суточного графика нагрузки;

- обеспечение режимов отключения недогруженных трансформаторов и линий электропередачи 0,38 кВ с оптимизацией схемы электроснабжения, обеспечивающей надежность электроснабжения объекта;

- регистрация и архивирование параметров напряжения на стороне высшего напряжения потребительских подстанций 10/0,38кВ;

- регистрация и архивирование параметров напряжения, режима суточного графика нагрузки на стороне низшего напряжения потребительских подстанций 10/0,38 кВ;

- многоуровневый тарифный учет потребления активной и реактивной энергии;

- регистрация и архивирование времени и длительности перерывов электроснабжения объекта.

Вышеперечисленные функции для комплекса технических средств могут быть приняты для сельскохозяйственного объекта первой категории по надежности электроснабжения и являются начальной постановкой задачи оптимизации дисконтированных затрат, по мере решения которой, могут вводиться другие функции, например, изменение установленной мощности объекта и т.д.

Суммарные годовые затраты для комплекса технических средств сельскохозяйственного объекта представим в виде трех взаимозависящих составляющих:

$$Z_{\Sigma} = X + Y + Z; \quad (2)$$

где  $X$  – стоимость комплекса технических средств с установленными нормативными отчислениями, руб.;

$Y$  – стоимость суммарных потерь энергии на объекте, руб.;

$Z$  – суммарный ущерб, связанный с ухудшением качества электроэнергии, несоблюдением режимов работы и перерывов в электроснабжении, руб.

Первую составляющую представим выражением:

$$X = \left[ \sum_{e=0}^p \left( K_{y_e} + \sum_{i=0}^n K_{T_i} \right) + \sum_{j=0}^m (K_{y_j} + K_{T_j}) + \sum_{f=0}^w K_{T_{\text{off}}} \right] \cdot k_o + z_{\text{п}}, \quad (3)$$

где  $K_{y_e}$  – стоимость средства единого управления для  $n$  технических средств, руб.;

$K_{y_j}$  – стоимость средства управления для  $j$  технического средства, руб.;

$K_{T_i}, K_{T_j}, K_{T_{\text{off}}}$  – стоимость технических средств, соответственно, имеющих единое для нескольких технических средств средство управления, индивидуальное средство управления и без средства управления, руб.;

$k_o$  – коэффициент отчислений на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание комплекса технических средств;

$z_{\text{п}}$  – заработная плата персонала, обслуживающего комплекс технических средств, руб.

Очевидно, что для выполнения КТС вышеперечисленных функций потребуются инвестиции не только в аппараты управления, защиты, установок компенсации реактивной мощности, средств регулирования напряжения, но и дополнительные инвестиции в электрические сети. Выполнение отдельных видов работ (при отсутствии необходимого количества специалистов в сельскохозяйственном производстве) потребует привлечение дополнительного квалифицированного персонала. Поэтому, введение в выражение (3) затрат на заработную плату обслуживающего персонала (как правило, при определении суммарных годовых затрат не учитывают) может при определенных условиях существенно влиять на величину суммарных затрат.

С развитием микропроцессорной техники появляется возможность уменьшения количества средств управления и регулирования при решении комплексной задачи. Используя многофункциональность микропроцессоров, возможно одним микропроцессором одновременно осуществлять контроль параметров сети, качества напряжения, производить регистрацию и архивирование полученных данных, управлять установкой компенсации реактивной мощности и т.д. [3,4,5]. При этом основные критерии оценки принимаемых технических и организационных решений, оптимизации параметров целевой функции замены  $j$  индивидуальных средств управления на единое средство  $e$  должны увязываться между собой с возможностью выполнения единым средством управления  $n$  объединенных функций и изменении степени надежности работы КТС.

Стоимость суммарных потерь энергии в общем виде представим:

$$Y = (\Delta W_a + \Delta W_{\text{кз}} + \Delta W_p + \Delta W_T + \Delta W_{\text{тс}}) \cdot \beta, \quad (4)$$

где  $\Delta W_a$  – потери активной энергии в электрических сетях, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{кз}}$  – потери энергии от превышения допустимых норм показателей качества электроэнергии кВт·ч;

$\Delta W_p$  – потери энергии из-за перетоков реактивной мощности в электрических сетях, кВт·ч;

$\Delta W_T$  – потери энергии в технических средствах, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{тс}}$  – потери энергии в силовых трансформаторах, кВт·ч;

$\beta$  – удельная стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч.

Для решения многомерной задачи дискретного программирования оптимизации потерь энергии рассматриваемого объекта с КТС, необходимо провести оптимизацию отдельных дискретных параметров. В общем виде критерий оптимальности задачи представим как

$$Y = Y(\Delta \bar{W}, t) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $\Delta \bar{W} = \{\Delta \bar{W}_1, \Delta \bar{W}_2, \dots, \Delta \bar{W}_n\}$ ,

$$\Delta \bar{W}_1 \in \Omega_1, \Delta \bar{W}_2 \in \Omega_2, \dots, \Delta \bar{W}_n \in \Omega_n. \quad (6)$$

Количество векторов  $\Delta \bar{W}_n$  принимается в зависимости от характеристик КТС, характера нагрузки и принятых ограничений.

Суммарный ущерб, связанный с ухудшением качества электроэнергии, несоблюдением режима работы и перерывов в электроснабжении представим в общем виде как

$$Z = G_{\text{вг}} + G_{\text{он}} + G_{\text{нн}} + G_{\text{рр}} + G_{\text{пз}}, \quad (7)$$

где  $G_{\text{вг}}$  – ущерб от высших гармоник, руб.;

$G_{\text{он}}$  – ущерб от отклонений напряжения, руб.;

$G_{\text{нн}}$  – ущерб от несимметрии напряжения, руб.;

$G_{\text{рр}}$  – ущерб (штрафные санкции) от несоблюдения режима работы, руб.;

$G_{\text{пз}}$  – ущерб (штрафные санкции) от перерывов в электроснабжении объекта, руб.

Электромагнитная составляющая ущерба  $G_{\text{вг}}$ , обусловленная несинусоидальностью напряжения и токов, широко рассмотрена в [6]. Выражения для оценки ущерба состоят из дополнительных потерь мощности, что учитываем в  $\Delta W_{\text{кз}}$ , и сокращения срока службы изоляции оборудования. На сокращение срока службы изоляции воздействуют и другие факторы. Вместе с тем, при значительных превышениях допустимых значений уровней высших гармоник и отклонений напряжения выходит из строя электрооборудование, появляются ложные срабатывания защит. Поэтому наступление ущерба от  $G_{\text{вг}}$ ,  $G_{\text{он}}$  и  $G_{\text{нн}}$  считаем выход из строя электроприемников, в том числе и оборудования КТС, ложные срабатывания защиты при определенных уровнях высших гармоник или уровней напряжений выше предельно допустимых. Вероятность наступления ущерба  $P$  описываем интегральной функцией распределения:

$$F(K_U) = P(K_U < K'); \quad (8)$$

$$F(\delta U) = P(\delta U < K''), \quad (9)$$

где  $K'$ ,  $K''$  – значения, соответственно, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения ( $K_{U'}$ ) и установившегося отклонения напряжения ( $\delta U$ ), при которых выходит из строя оборудование или появляются ложные срабатывания защиты.

Ущерб от невыполнения режима работы электрических сетей 0,38 кВ  $G_{pp}$  и перерывов в электроснабжении  $G_{пв}$  обусловлен невыполнением договорных отношений между электроснабжающей организацией и потребителем электроэнергии. Для подтверждения двухсторонних обязательств требуется предопределить уровни потребления электроэнергии, продолжительность перерывов в электроснабжении, зарегистрированных техническими средствами [1]. При этом  $G_{пв}$  может возникнуть как по вине энергоснабжающей организации, так и потребителя. Потребитель уплачивает штрафные санкции как за нарушение режима работы электрических сетей 0,38 кВ, так и за «упущенную» выгоду в результате перерыва в электроснабжении объекта по вине потребителя. Оплата ущерба энергоснабжающей организацией производится с учетом: превышения согласованного времени длительности перерывов в электроснабжении по категории надежности электроснабжения потребителей; совпадения перерыва в электроснабжении с технологическим циклом работы объекта; стоимости простоя оборудования и рабочей силы; недополученной выгоды; прямых убытков от гибели животных, птиц и порчи продукции с учетом затрат на утилизацию.

Существующие методики определения ущерба весьма противоречивы, а расчетный реальный ущерб – субъективен. Учитывая эти обстоятельства, а также соизмеримость потребления электроэнергии на объектах отдельных групп потребителей (птицефабрики, фермы, агрогородки и т.п.) необходима разработка упрощенной методики определения ущерба. Ущерб должен отображаться ежемесячно техническими средствами в результате регистрации параметров электрических сетей и длительности перерывов в электроснабжении. Выражение ущерба примет вид:

$$Z = \beta \cdot \sum_{i=1}^n K_{yi}^* \cdot W_{cp}, \quad (10)$$

где  $\beta$  – удельная стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч;

$K_{yi}^*$  – усредненный коэффициент по каждой из составляющих (7), выраженный в относительных единицах;

$W_{cp}$  – усредненное количество электроэнергии, потребляемой за месяц, кВт·ч.

$K_{yi}^*$  определяется из типовых монограмм объектов, строящихся относительно принятой за базовую величину (установленную мощность оборудования объекта, средний уровень потребления электроэнергии и т.п.) и

учитывающих время превышения допустимых пределов (величину превышения допустимых пределов).

В выражение (10) не входит ущерб от гибели животных и птиц, порчи продукции, так как это исключительные случаи, и они определяются, как правило, при расследовании в рамках уголовных дел. Не входит также моральный ущерб.

При оптимизации критериев оценки эффективности функционирования КТС составляющая ущерба должна стремиться к нулю.

### Заключение

Предложенные функции, выражения определения минимума суммарных дисконтированных затрат, критерии оптимизации их составляющих необходимо использовать при разработке математической модели сельскохозяйственного объекта с применением КТС и решения многомерной задачи дискретного программирования оптимизации затрат.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила пользования электрической и тепловой энергией. – Минск: Ред. Журн. «Тыдзень», 1996. – 178 с.
2. Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399 «Об утверждении Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергоснабжения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах».
3. Счастный, В.П. Цифровой регулятор-измеритель реактивной мощности / В.П. Счастный, А.И. Жуковский // Агропанорама. – 2000. – №1. – С. 25 – 27.
4. Устройство для управления регулируемым источником реактивной мощности: пат 3341 Респ. Беларусь, МПК Н 02j 3/16, 3/18, Н 02Н 3/18, 3/20, G 05F 1/70 / В.П. Счастный [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № 970347; заявл. 30.06.97; опубл. 30.06.00 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2000. – № 2. – С. 146.
5. Устройство для управления оборудованием трансформаторной подстанции: пат 882 Респ. Беларусь, МПК Н 02j 3/18, Н 01F 21/00, G 05B 13/02 / В.П. Счастный [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20020245; заявл. 27.08.02; опубл. 30.06.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 2. – С. 227.
6. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И.В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.