

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

V. ZORIN, R. BUJNY, D. IVANKO

## MEASURES TO IMPROVE THE REGIMES OF EXISTING ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS

**Анотация.** Наведено науково-технічне обґрунтування технічних заходів щодо підвищення пропускної спроможності існуючих ліній електропередачі по ряду критеріїв (нагрів, втратах потужності, режиму напруги, надійності) у зв'язку з ростом електричних навантажень і приєднанням нових споживачів електричної енергії. Запропоновані математичні моделі і проведені розрахунки показали, що заміна перерізу на більший дозволяє підвищити пропускну спроможність до 25%. Показана можливість отримання аналогічного ефекту при використанні компенсації реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей. Розглянутий комплексний підхід шляхом заміни перерізу проводів і компенсації реактивної потужності.

**Ключові слова:** пропускна здатність ліній електропередач, переріз проводів, компенсація реактивної потужності.

**Аннотация.** Приведено научно-техническое обоснование технических мероприятий по повышению пропускной способности существующих линий электропередачи по ряду критериев (нагреву, потерям мощности, режиму напряжения, надежности) в связи с ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии. Предложенные математические модели и проведенные расчеты показали, что замена сечения на большее позволяет повысить пропускную способность до 25%. Показана возможность получения аналогичного эффекта при применении устройств компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей. Рассмотрен комплексный подход путем замены сечений проводов и компенсации реактивной мощности.

**Ключевые слова:** пропускная способность линий электропередачи, сечение проводов, компенсация реактивной мощности.

**Annotation.** To enhance the capacity of existing transmission lines the technical solutions based on several criteria (heat, power losses, voltage mode and reliability) in connection with increased electrical loads and additional consumers of electrical energy are considered. The proposed mathematical models and calculations showed that the cross-section increasing can cause the throughput enhancement up to 25%. The possibility of the similar effect occurrence using the reactive power compensation devices with condenser batteries is shown. The comprehensive approach based on wire sections replacement and reactive power compensation is considered.

**Key words:** throughput of transmission lines, section of wires, reactive power compensation.

### Введение

Режимом работы электрических распределительных сетей называют совокупные состояния и процессы перехода из одного состояния в другое (нормальный, послеаварийный, ремонтный и другие режимы). Характеристиками режима являются его параметры, представляющие текущие значения показателей режима электрической сети в конкретный момент времени и в рассматриваемом месте. К параметрам режима следует отнести:

- электрические нагрузки  $I$  [А],  $S$  [кВ·А],  $P$  [кВт],  $Q$  [квар];
- напряжение в узлах сети  $U$  [В,кВ], потери напряжения  $\Delta U$  [кВ, %];
- показатели качества электрической энергии: отклонения напряжения  $\delta U$ , размах изменения напряжения  $\delta U_t$ , доза фликера, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $k_U$ , коэффициент гармонической составляющей напряжения  $k_{U(n)}$ , коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности  $k_{2U}$ , коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $k_{0U}$ , отклонение частоты  $\Delta f$ , длительность провала напряжения  $\Delta t_n$ , импульсное напряжение  $U_{имп}$ , коэффициент временного перенапряжения  $k_{перн}$  [5];
- потери мощности  $\Delta P$  [кВт] и электрической энергии  $\Delta W$  [кВт·ч];
- надежность электроснабжения потребителей  $W_{нед}$  [кВт·ч];
- токи короткого замыкания  $I_{кз}$  [кА].

В связи с ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии параметры электрической сети и соответственно параметры режимов должны периодически изменяться для повышения пропускной способности элементов сети. Эти изменения (реконструкции) должны выполняться таким образом, чтобы в пределах рассматриваемого периода обеспечить наиболее эффективное использование денежных средств,

материалов и трудовых ресурсов. Обычно при решении задач повышения пропускной способности сети рассматривают две группы мероприятий [1]. Первая — организационные мероприятия, как правило, беззатратные или малозатратные мероприятия эксплуатационного характера. И вторая группа — технические мероприятия, для реализации которых требуются дополнительные капиталовложения. Естественно, в первую очередь должны быть использованы организационные мероприятия, а в случае необходимости — технические.

К организационным мероприятиям по повышению эффективности функционирования распределительных электрических сетей можно отнести следующие мероприятия:

1. Оптимизация мест размыкания распределительных линий 6–10–35 кВ по критериям потерь мощности  $\Delta P_{\Sigma} = \min$  или потерь электрической энергии  $\Delta W = \min$ . Для получения более полного эффекта в качестве критерия оптимизации можно было бы принимать суммарные потери как в питающих сетях высших напряжений, так и в распределительных сетях. Однако в условиях рынка это не всегда может быть оправдано.

2. Снижение электропотребления за счет изменения режима напряжения на шинах центров питания. При такой постановке необходимо учитывать статические характеристики нагрузок по напряжению  $P = f(U)$  и  $Q = f(U)$ .

3. Замена ненагруженных асинхронных двигателей на двигатели меньшей мощности. Переключение обмоток статора перегруженных асинхронных двигателей с линейного напряжения на фазное.

4. Обеспечение экономической загрузки трансформаторов. При этом, если необходимо уменьшить максимум суммарного графика нагрузки, то в качестве критерия оптимизации принимают условия  $\Delta P = \min$ . Если же стоит задача снижения расхода топлива на электростанциях, то в качестве критерия оптимизации следует принимать величину потерь электроэнергии  $\Delta W = \min$ .

5. При параллельной работе нескольких трансформаторов можно отключить один из них при уменьшении нагрузки ниже критической величины. И, наоборот, при возрастании нагрузки включить ранее отключенный трансформатор с целью снижения потерь мощности.

6. Управление режимом работы двухлучевой схемы распределительной сети 6–10 кВ с АВР на стороне 0,4 кВ. При снижении нагрузки отключать одну из линий и включить ее при возрастании нагрузки с целью снижения потерь.

7. Выравнивание нагрузок фаз в четырехпроводных сетях 380/220 В с целью снижения потерь мощности и улучшения качества электрической энергии. При этом следует различать систематическую и вероятностную несимметрию.

8. Регулирование максимума промышленной нагрузки у потребителей электроэнергии. Снижение максимума нагрузки приводит к сокращению генерирующих мощностей, уменьшению потерь мощности и электроэнергии в электрической сети.

К техническим мероприятиям [4] по повышению эффективности распределительных электрических сетей могут быть отнесены следующие мероприятия:

1. Установка и ввод в работу устройств компенсации реактивной мощности в сети 0,38 и 6–10 кВ. Компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей поперечного включения является комплексным, высокоэффективным средством повышения качества электроснабжения, решая задачи энергосбережения, качества электрической энергии, надежности.

2. Использование установок продольной емкостной компенсации, включаемых в рассечку линии электропередачи. Применение продольной емкостной компенсации позволяет существенно повысить пропускную способность сети по режиму напряжения. Особенно эффективны такие установки в воздушных линиях электропередачи и при значительных колебаниях напряжения.

3. Замена проводов перегруженных воздушных линий электропередачи и кабелей, проложенных в открытых каналах, на большее сечение [3]. Это приводит к повышению пропускной способности линий электропередачи по нагреву, улучшению режима напряжения, повышению надежности электроснабжения.

4. Разделение перегруженной протяженной линии на две части и сооружение головного участка отрезанной части линии. Такое мероприятие по повышению пропускной способности может обеспечить снижение потерь мощности и снижение величины потерь напряжения, а также сократить величину недоотпущенной электроэнергии.

5. Сооружение дополнительных трансформаторных пунктов и некоторых участков новых линий.

**Математическое моделирование**

1 Рассмотрим эффективность повышения пропускной способности по ряду критериев путем замены существующего сечения провода  $F_1$  на новое  $F_2$  ( $F_2 > F_1$ ) на одну стандартную ступень  $n = 1$  и на две стандартные ступени  $n = 2$ .

**1.1 По условиям нагрева.** По условиям нагрева допустимым током  $I_{д1}$  при сечении  $F_1$  предельная пропускная способность по активной мощности составит:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_{а1} \cos \varphi. \tag{1}$$

Так же при переходе на  $F_2$ , где  $F_2 > F_1$  имеем:

$$P_2 = \sqrt{3}UI_{а2} \cos \varphi. \tag{2}$$

Увеличение пропускной способности  $\delta P$  при замене  $F_1$  на  $F_2$  составит:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}U \cos \varphi (I_{а2} - I_{а1}) \frac{P_1}{\sqrt{3}U \cos \varphi I_{а1}} = P_1 \left( \frac{I_{а2}}{I_{а1}} - 1 \right). \tag{3}$$

Для воздушных линий сечением провода АС-50 будем иметь:

$$n = 1, F_1 = 50, F_2 = 70, I_{д1} = 210A, I_{д2} = 265A, \delta P = P_1 \left( \frac{265}{210} - 1 \right) = 0,26P_1, \text{ увеличение на } 26\%$$

$$n = 2, F_1 = 50, F_2 = 95, I_{д1} = 210A, I_{д2} = 330A, \delta P = P_1 \left( \frac{330}{210} - 1 \right) = 0,57P_1, \text{ увеличение на } 57\%$$

Коэффициент увеличения пропускной способности по допустимому току  $k_1$  в вышеизложенных случаях будет равный 0,26 и 0,57.

**1.2 По условиям режима напряжения.** Оценим увеличение пропускной способности линии по активной мощности при замене сечения провода  $F_1$  на большее  $F_2$  по условиям режима напряжения, когда потери напряжения  $\Delta U$  в линии до и после замены сечения провода остаются постоянными  $\Delta U_1 = \Delta U_2$ .

$$\text{При } F_1 \Delta U_1 = \sqrt{3}I_1(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi), \text{ при } F_2 \Delta U_2 = \sqrt{3}I_2(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi).$$

Приравняв эти оба выражения и решив уравнения относительно  $I_2$ , получим:

$$I_2 = I_1 \frac{(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)}{(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi)} = aI_1, \tag{4}$$

где 
$$a = \frac{(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)}{(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi)}.$$

Пропускная способность линии по активной мощности при сечениях проводов  $F_1$  и  $F_2$  равна соответственно:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_1 \cos \varphi \text{ и } P_2 = a\sqrt{3}UI_1 \cos \varphi.$$

Тогда увеличение пропускной способности  $\delta P$  по режиму напряжения равно:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}UI_1 \cos \varphi (a - 1) = P_1(a - 1). \tag{5}$$

$$n = 1, F_1 = 50, F_2 = 70, \cos \varphi = 0,7, a = \frac{0,603 \cdot 0,7 + 0,351 \cdot 0,714}{0,429 \cdot 0,7 + 0,34 \cdot 0,714} = 1,24,$$

$$\delta P = P_1(1,24 - 1) = 0,24P_1, \text{ увеличение на } 24\%.$$

$$n = 2, F_1 = 50, F_2 = 95, \cos \varphi = 0,7, a = \frac{0,603 \cdot 0,7 + 0,351 \cdot 0,714}{0,321 \cdot 0,7 + 0,329 \cdot 0,714} = 1,47,$$

$$\delta P = P_1(1,47 - 1) = 0,47P_1, \text{ увеличение на } 47\%.$$

Коэффициент увеличения пропускной способности по режиму напряжения  $k_2$  в вышеизложенных случаях будет равный 0,24 и 0,47.

**1.3 По условиям снижения потерь мощности  $\Delta P$ .** Потери активной мощности в линиях при сечениях  $F_1$  и  $F_2$  будут соответственно равны:

$$\Delta P_1 = 3I_{д1}^2 l \frac{\rho}{F_1} \tag{6}; \quad \Delta P_2 = 3I_{д2}^2 l \frac{\rho}{F_2} \tag{7}; \quad I_2 = I_{д1} \tag{8};$$

Тогда снижения потерь мощности  $\delta \Delta P$  при замене  $F_1$  на  $F_2$  будут равны:

$$\delta \Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 3\rho l \left( \frac{I_{a1}^2}{F_1} - \frac{I_{a2}^2}{F_2} \right) \frac{\Delta P_1 F_1}{3I_{a1}^2 l \rho} = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{F_1}{F_2} \right). \quad (9)$$

$$n = 1, F_1 = 50, F_2 = 70, \delta \Delta P = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{50}{70} \right) = 0,29 \Delta P_1, \text{ снижение на } 29\%,$$

$$n = 2, F_1 = 50, F_2 = 95, \delta \Delta P = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{50}{95} \right) = 0,47 \Delta P_1, \text{ снижение на } 47\%.$$

В таблицах 1и2 показаны возможности увеличения пропускной способности перегруженных линий электропередачи путем замены существующих сечений проводов на большие для всей шкалы стандартных сечений.

Коэффициент снижения потерь активной мощности  $k_3$  в вышеизложенных случаях будет равный 0,29 и 0,47.

Таблица 1

Эффективность повышения пропускной способности путем замены существующего сечения провода  $F_1$  на новое  $F_2$  ( $F_2 > F_1$ ), при  $n = 1$ ,  $\cos \varphi = 0,7$

Сечение	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри
35–50	0,20	0,22	0,30	0,20
50–70	0,26	0,27	0,29	0,24
70–95	0,25	0,24	0,26	0,18
95–120	0,18	0,20	0,21	0,13
120–150	0,15	0,17	0,20	0,12
150–185	0,16	0,18	0,19	0,10

Таблица 2

Эффективность повышения пропускной способности путем замены существующего сечения провода  $F_1$  на новое  $F_2$  ( $F_2 > F_1$ ), при  $n = 2$ ,  $\cos \varphi = 0,7$

Сечение	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри
35–70	0,514	0,556	0,500	0,49
50–95	0,571	0,576	0,474	0,46
70–120	0,472	0,490	0,417	0,33
95–150	0,364	0,404	0,367	0,26
120–185	0,333	0,374	0,351	0,23

2 Аналогичные результаты по повышению пропускной способности сетей по ряду критериев могут быть достигнуты и с помощью средств компенсации реактивной мощности (КРМ).

**2.1 По условиям нагрева.** Передаваемая активная мощность по ЛЭП без КРМ  $P_1 = \sqrt{3}UI \cos \varphi_1$ , то же, но при использовании КРМ  $P_2 = \sqrt{3}UI \cos \varphi_2$ , тогда увеличение пропускной способности ЛЭП будет равным:

$$\delta P = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\sqrt{3}UI \cos \varphi_2}{\sqrt{3}UI \cos \varphi_1} = \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} \quad (10), \text{ или } \cos \varphi_2 = \delta P \cos \varphi_1 \quad (11),$$

где  $\delta P$  – увеличение пропускной способности при замене сечения провода ЛЭП  $F_1$  на большее сечение  $F_2$ .

Рассмотрим пример ЛЭП 10кВ, выполненной проводом АС–50, с параметрами  $I_d = 210A$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,7$ . Найдем значения активной и реактивной мощности  $P_1 = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 210 \cdot 0,7 = 2546$  кВт,  $Q_1 = \sqrt{3}UI \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 210 \cdot 0,714 = 2597$  квар, тогда при  $n=1$  (замена провода АС–50 на АС–70)  $\delta P = 1,26$ ,  $\cos \varphi_2 = 1,26 \cos \varphi_1 = 1,26 \cdot 0,7 = 0,88$ , скомпенсированная реактивная мощность составит  $Q_2' = P_1 \tan \varphi_2 = 2546 \cdot 0,54 = 1351$  квар. Тогда мощность конденсаторной установки  $Q_k$  будет равна:

$$Q_k = Q_1 - Q_2' = 2597 - 1351 = 1246 \text{ квар}; \quad (12)$$

при  $n = 2$  (замена провода АС–50 на АС–95)  $\delta P = 1,57$ ,  $\cos \varphi_2 = 1,57 \cos \varphi_1 = 1,57 \cdot 0,7 \approx 1$ , так как перекомпенсация недопустима,  $Q_2' = P_1 \tan \varphi_2 = 2546 \cdot 0 = 0$ . Тогда мощность конденсаторной установки будет равна:

$$Q_k = Q_1 - Q_2' = 2597 - 0 = 2597 \text{ квар}.$$

При этом пропускная способность уменьшится и будет равна:

$$\delta P = \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} = \frac{1}{0,7} = 1,43.$$

**2.2 По условиям режима напряжения.** Для дальнейших расчетов будем использовать мощности, рассчитанные не по допустимому току  $I_d$ , а по удвоенному значению экономической плотности тока. Согласно ПУЭ [2] при выборе сечения по экономической плотности тока  $I = F \cdot j_{э\kappa}$  (13). Во избежание увеличения количества линий или цепей допускается двукратное значение превышения тока, рассчитанного по данному методу. Поэтому значение  $I_1$  принимаем равным  $I_1 = 2F \cdot j_{э\kappa}$  (14). Значение  $j_{э\kappa}$  зависит от числа часов использования максимума нагрузки, и для  $T_m = 3000$  ч и провода типа АС  $j_{э\kappa} = 1,3A/mm^2$ . Для ЛЭП 10кВ, выполненной проводом АС–50,  $I_1 = 2 \cdot 50 \cdot 1,3 = 130$  А,  $P_1 = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 130 \cdot 0,7 = 1576$  кВт,  $Q_1 = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 130 \cdot 0,714 = 1608$  квар.

Потеря напряжения на ЛЭП до установки конденсаторных батарей будет равной:

$$\Delta U_1 = \frac{PR - QX}{10U_n^2}, \quad (15)$$

а после компенсации  $\Delta U_2 = \frac{\delta P \cdot PR - (Q - Q_k)X}{10U_n^2}.$  (16)

Приравняв уравнения 15 и 16, получим:

$$Q_k = P_1 \frac{r_0}{x_0} (\delta P - 1). \quad (17)$$

При замене ЛЭП 10 кВ, выполненной проводом АС–50, на АС–70  $\delta P = 1,24$ , а при замене провода АС–50 на АС–95  $\delta P = 1,47$ . Принимаем условие, что  $\Delta U_1 = \Delta U_2$  и, решая уравнения относительно  $Q_k$ , находим значение мощности батарей для случаев  $n = 1$  и  $n = 2$ :

при  $n = 1$ ,  $Q_k = P_1 \frac{r_0}{x_0} (1,24 - 1) = 0,24 \cdot 1576 \cdot \frac{0,603}{0,351} = 646,12$  квар;

при  $n = 2$ ,  $Q_k = P_1 \frac{r_0}{x_0} (1,47 - 1) = 0,47 \cdot 1576 \cdot \frac{0,603}{0,351} = 1253$  квар.

**2.3 По условиям снижения потерь мощности  $\Delta P$ .** Передаваемая активная мощность по ЛЭП без КРМ  $\Delta P_1 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \cdot 10^{-3}$  то же, но при КРМ:  $\Delta P_1 = \frac{P^2 + (Q - Q_k)^2}{U^2} R \cdot 10^{-3}$ , тогда увеличение пропускной способности ЛЭП будет равным:

$$\delta \Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = \frac{R \cdot 10^{-3}}{U^2} (P^2 + Q^2 - P^2 - Q^2 + 2Q \cdot Q_k - Q_k^2) = \frac{R \cdot 10^{-3}}{U^2} (2Q \cdot Q_k - Q_k^2) = k_3 \Delta P_1.$$

$$\text{После преобразования получим } 2Q \cdot Q_x - Q_k^2 - k_3(P_1^2 + Q_1^2) = 0. \quad (18)$$

Расчет проведем для ЛЭП–10 кВ по данным, приведенным в п.2.2 для случая  $n = 1$

$$2Q \cdot Q_e - Q_e^2 - 0,29(P_1^2 + Q_1^2) = 0.$$

Решая квадратное уравнение и выбрав наименьший из двух корней, находим значение  $Q_x = 541,65$  квар.

Для случая  $n = 2$  имеем  $2Q \cdot Q_x - Q_k^2 - 0,47(P_1^2 + Q_1^2) = 0$ . Решая уравнение, получим  $Q_x = 1178,92$  квар.

В таблицах 3и4 показаны мощности устройств компенсации реактивной мощности, необходимые для обеспечения эффекта, сопоставимого с эффектом как при замене линии на большее сечение.

Таблица 3

Мощность средств КРМ, при которых будет получен эффект, равный эффекту замены сечения линии на большее, при  $n = 1$ ,  $\cos \varphi = 0,7$ ,  $U = 10$ кВ

Сечение	Мощность КБ по нагреву допустимым током, квар		Выбор КБ по потерям активной мощности, квар		Выбор КБ по условиям режима напряжения, квар	
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри		
35–50	794,11	679,41	403,32	493,93		
50–70	1246,45	1021,08	541,65	646,12		
70–95	1471,64	1131,91	685,04	503,58		
95–120	1364,77	1202,00	705,47	379,47		
120–150	1372,29	1186,18	850,41	351,06		
150–185	1600,39	1479,43	997,99	298,46		

Таблица 4

Мощность средств КРМ, при которых будет получен эффект равный эффекту замены сечения линии на большее, при  $n = 2$ ,  $\cos \varphi = 0,7$ ,  $U = 10$ кВ

Сечение	Мощность КБ по нагреву допустимым током, квар		Выбор КБ по потерям активной мощности, квар		Выбор КБ по условиям режима напряжения, квар	
	вне помещения	внутри	вне помещения, внутри	вне помещения, внутри		
35–70	2164,63	1669,86	967,99	1125,61		
50–95	2597,56	2040,94	1178,92	1253,02		
70–120	3277,87	2597,56	1288,16	931,07		
95–150	2832,51	2621,78	1435,53	768,93		
120–185	3005,19	2789,39	1706,78	685,52		

3. При необходимости замены линии на два стандартных сечения  $n = 2$  существует также возможность получения сопоставимых результатов по повышению пропускной способности сетей по ряду критериев, с помощью замены линии на одно стандартное сечение  $n = 1$  и применения средств компенсации реактивной мощности (КРМ) одновременно.

**3.1 По условиям нагрева.** Рассмотрим пример ЛЭП 10кВ, выполненной проводом АС–50, с параметрами, взятыми из п.1.1, тогда при замене линии на одно сечение (с АС–50 на АС–70)  $\delta P_{n=1} = k_{1,n=1} P_1 = 0,26 P_1$ , а при замене на два сечения (с АС–50 на АС–95)  $\delta P_{n=2} = k_{1,n=2} P = 0,57 P_1$ ;

$$\Delta \delta P = (k_{1,n=2} - k_{1,n=1}) P_1, \quad (19)$$

$$\Delta \delta P = (0,57 - 0,26) P_1 = 0,31 P_1.$$

Подставив в формулу (10)  $\Delta \delta P$  вместо  $\Delta P$ , получим  $\cos \varphi_2 = 1,31 \cos \varphi_1 = 1,31 \cdot 0,7 = 0,92$ ,  $Q_2 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_2 = 2546 \cdot 0,426 = 1110$ . Тогда мощность конденсаторной установки будет равна

$$Q_x = Q_1 - Q_2 = 2597 - 1110 = 1487 \text{ квар.}$$

Снижение требуемой мощности средств КРМ

$$\Delta Q_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa, n=1} - Q_{\kappa}}{Q_{\kappa, n=1}} = \frac{2597 - 1487}{2597} = 0,427.$$

**3.2 По условиям режима напряжения.** При замене линии на одно сечение с АС–50 на АС–70  $\delta \Delta P_{n=1} = k_{2, n=1} P = 0,24 \Delta P_1$ , а при замене на два сечения с АС–50 на АС–95  $\delta \Delta P_{n=2} = k_{2, n=2} P = 0,47 \Delta P_1$ ;

$$\begin{aligned} \Delta \delta \Delta P &= (k_{2, n=2} - k_{2, n=1}) P_1, \\ \Delta \delta \Delta P &= (0,47 - 0,24) \Delta P_1 = 0,23 \Delta P_1. \end{aligned} \tag{20}$$

Подставив в формулу 14  $\Delta \delta \Delta P$  вместо  $\Delta P$ , получим

$$Q_{\kappa} = P_1 \frac{r_0}{x_0} (1,23 - 1) = 0,23 \cdot 2546 \cdot \frac{0,603}{0,351} = 330 \text{ квар.}$$

Снижение требуемой мощности средств КРМ

$$\Delta Q_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa, n=1} - Q_{\kappa}}{Q_{\kappa, n=1}} = \frac{1253 - 330}{1253} = 0,737.$$

**3.3 По условиям снижения потерь мощности  $\Delta P$ .** При замене линии на одно сечение с АС–50 на АС–70  $\delta P_{n=1} = k_{3, n=1} P = 0,29 P_1$ , а при замене на два сечения с АС–50 на АС–95  $\delta P_{n=2} = k_{3, n=2} P = 0,47 P_1$ ;

$$\begin{aligned} \Delta \delta P &= (k_{1, n=2} - k_{1, n=1}) P_1, \\ \Delta \delta P &= (0,47 - 0,29) P_1 = 0,18 P_1. \end{aligned} \tag{21}$$

Подставив в формулу (14)  $\Delta \delta P$  вместо  $\Delta P$ , получим  $2Q \cdot Q_{\kappa} - Q_{\kappa}^2 - 0,18(P_1^2 + Q_1^2) = 0$ .

Решая квадратное уравнение и выбрав наименьший из двух корней, находим значение  $Q_{\kappa} = 606,9$  квар.

Снижение требуемой мощности средств КРМ

$$\Delta Q_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa, n=1} - Q_{\kappa}}{Q_{\kappa, n=1}} = \frac{1178,92 - 606,9}{1178,92} = 0,485.$$

В таблице 5 показаны мощности устройств компенсации реактивной мощности, которые необходимо установить при замене линии на одно большее сечение для обеспечения эффекта, сопоставимого с эффектом, как при замене линии на два стандартных сечения.

Таблица 5

Мощность средств КРМ при замене сечения линии на большее,  $n = 1$  и использование средств КРМ для получения эффекта, равного замене сечения линии при  $n = 2$ ,  $\cos \varphi = 0,7$ ,  $U = 10$ кВ

Сечение	Мощность КБ по нагреву допустимым током, квар		Выбор КБ по потерям активной мощности, квар		Выбор КБ по условиям режима напряжения, квар	
	вне помещения	внутри	вне помещения	внутри	вне помещения	внутри
35–70	1260,76	1040,26	248,04	248,04	696,49	696,49
50–95	1487,49	1141,87	330,24	330,24	606,90	606,90
70–120	1358,57	1200,30	369,06	369,06	427,49	427,49
95–150	1364,77	1179,82	518,21	518,21	389,47	389,47
120–185	1592,85	1473,59	622,92	622,92	334,46	334,46

Однако при установке средств компенсации реактивной мощности необходимо также учесть наличие токов высших гармоник, которые могут негативно повлиять на работу средств КРМ.

**Выводы**

1. В связи с ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии возникают ограничения по пропускной способности электрических сетей (по нагреву, потерям мощности, режиму напряжения, надежности). В связи с этим возникает необходимость осуществления мероприятий по улучшению режимов.
2. В соответствии с требованиями ПУЭ сечения проводников в распределительных сетях 10–35 кВ должны быть приведены по экономической плотности тока (по экономическим

- интервалам). Данными указаниями следует руководствоваться также при замене существующих проводов проводами большего сечения. При этом должна учитываться полная стоимость работ по демонтажу и монтажу оборудования линий.
3. В результате проведенных расчетов показано, что замена существующего сечения  $F_1$  на новое  $F_2$ , ( $F_2 > F_1$ ) на одну стандартную ступень и на две стандартные ступени позволяет повысить пропускную способность линии по нагреву, по потере напряжения, потере мощности соответственно в среднем на 25 ... 50%.
  4. Аналогичные результаты по повышению пропускной способности линий электропередачи по ряду критериев могут быть получены путем применения компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей поперечного включения.  
В работе также рассмотрен случай, когда с целью повышения пропускной способности линии предусматривается замена провода только на одно большее стандартное сечение  $n=1$ , вместо увеличения провода на два стандартных сечения  $n=2$  и дополнительно используются средства компенсации реактивной мощности. При этом удается уменьшить мощность установки конденсаторных батарей.
  5. Окончательный выбор варианта по повышению пропускной способности линий следует сделать на основании соответствующего технико-экономического расчета.

#### Литература

1. Системы электроснабжения общего назначения/ Зорин В.В., Тисленко В.В.—Чернигов. —2005—242с.
2. Правила устройства электроустановок. —Х.:Изд. «Форт»,—2009. —704с.
3. Зорин В.В. К вопросу о выборе параметров линий электропередачи/ Енергетика: економіка, технології, екологія/ Наук. журнал. —№2,2008— С.61–67.
4. Зорин В.В. Экономическое обоснование технических решений в системах электроснабжения общего назначения в рыночных условиях/Зорин В.В., Буйный Р.А., Сердюк Б.Н., Борхунова Е.А.//Материалы 8-го Международного научно-практического семинара. —2011. —С.181–192.
5. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.— ГОСТ 13109—97.