

УДК 621.316.11

*Ф.П. Шкрабец, д-р техн. наук, П.Ю. Красовский, канд. техн. наук.  
(Украина, г. Днепропетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»)*

### РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С УЧЕТОМ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Постановка задачи**

В процессе длительной эксплуатации систем электроснабжения в условиях перехода к рыночной экономике возникают нарушения технологии передачи и распределения электроэнергии. Эти нарушения вызывают дополнительные (сверхнормативные) потери электроэнергии. В действующем в настоящее время в Украине нормативном документе ГНД 34.09.104-2003 "Методика составления структуры баланса электроэнергии в электрических сетях 0,38-154 кВ, анализа его составляющих и нормирование технологических потерь электроэнергии", который утвержден приказом № 757 Минтопэнерго Украины от 17.12.03, нормативное значение технологических потерь электроэнергии на передачу по электрическим сетям есть сумма значений технических расчетных потерь в элементах электрических сетей, нормативного расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций и нормативных метрологических потерь.

В [1] отмечается, что рассчитанные с помощью указанной Методики значения нормативных потерь в электрических сетях Минтопэнерго Украины не вызывают доверия. Кроме того отмечается, что при любых возможных изменениях в энергосистеме Украины (снижение нагрузки, износ оборудования, хищения электроэнергии и т.д.), величина нормативных потерь из года в год незначительно отличается от норматива 1991 года – 22,6 млрд. кВт·ч (табл. 1). Авторы [1] считают, что уменьшение в квадратичной степени переменной составляющей нормативных потерь из-за снижения полезного отпуска электроэнергии компенсируется ростом потерь под влиянием нарушений технологии передачи и распределения электроэнергии, но в Методике ГНД 34.09.104-2003 это практически не учитывается.

Таблица 1

**Динамика полезного отпуска и нормативных потерь электроэнергии на ее передачу в сетях 800-0,38 кВ [1]**

Год	Полезный отпуск электроэнергии, млрд. кВт·ч	Нормативные потери, млрд. кВт·ч
1991	253,6	22,6
1992	227,4	22,7
1993	205,4	20,7
1994	179,2	20,3
1995	168,3	20,3
1996	164,3	20,6
1997	151,9	20,8
1998	131,0	19,7
1999	125,0	20,2
2000	124,2	21,0
2001	124,7	22,3
2002	123,4	23,4
2003	129,1	23,4
2004	135,1	22,3
2005	137,8	21,2
2006	143,4	21,1

Авторы [1] справедливо считают, что сверхнормативные потери обусловлены следующими факторами:

- случайной несимметрией токовой нагрузки фаз линий и неполнофазными режимами;
- нескомпенсированными перетоками реактивной мощности;
- несанкционированным отбором электроэнергии;
- нелинейностью технологического расхода на передачу электроэнергии;
- незапланированными переключениями схемы;
- недоучетом потребления электроэнергии из-за погрешностей измерительного комплекса;

- експлуатаційним износом (старенням) обладнання (ЛЭП, силових трансформаторів і т.д.).

Іменно технологічні втрати електроенергії при її транспортуванні при інших рівних умовах визначаються експлуатаційною динамікою властивостей основних елементів систем електропостачання. В частині, зміна фізических параметрів проводів повітряних ЛЭП від дії корозії в відповідності з терміном експлуатації.

### **Цель статьи**

Представити розроблені рекомендації по уточненню розрахунку складових втрат в повітряних ЛЭП.

### **Изложение основного материала**

Из перечисленных нарушений технологии передачи и распределения электроэнергии, которые вызывают рост потерь мощности (электроэнергии) и потери напряжения в элементах электрической сети, в статье рассмотрены потери электроэнергии в воздушных линиях электропередачи.

Явление атмосферной коррозии за счет поверхностного разрушения металла в долгосрочной перспективе приводит к уменьшению диаметра алюминиевых проводов (или отдельных проводников многопроволочных проводов) и, соответственно, к уменьшению эффективного сечения проводов воздушных ЛЭП. Скорость химической коррозии определяется, прежде всего, свойствами возникающей при коррозии пленки на поверхности металла, характер которой определяется химическим составом загрязнения атмосферы, а также температурой. Атмосферная коррозия алюминия проводов воздушных линий приводит к уменьшению диаметра алюминиевой жилы провода, в свою очередь значение диаметра провода влияет на значение продольного активного сопротивления ЛЭП и практически не оказывает на значение реактивного сопротивления линии электропередач. Установлен закон изменения продольного сопротивления воздушных линий, в соответствии с которым значения приращения активного сопротивления проводов зависят от продолжительности эксплуатации воздушной линии, значений стандартных диаметров проволок, формирующих провод, и степени изменения диаметра проволоки провода от коррозии за один год (скорости коррозии).

Для условий Украины скорость коррозии для алюминия следует принимать в диапазоне 1,75-3,5 мкм/год (для сельских и городских районов). При этом продольное активное сопротивление фазных алюминиевых проводов, состоящих из проволок минимального стандартного диаметра (1,7 мм) за 30 лет эксплуатации может (при максимальной скорости коррозии) увеличиться на 30 %, а за 70 лет – удвоиться (100%). Для проводов с максимальным диаметром проволок (4,1 мм), степень нарастания продольного сопротивления уменьшается, и при той же скорости коррозии составит: для 30 лет эксплуатации – 12 %; для 70 лет эксплуатации – 26 %. Нагрузочные потери в воздушных ЛЭП в течение срока их эксплуатации изменяются по тому же закону, что и продольные активные сопротивления [3].

Полученные результаты [2, 3] дают нам основания предложить методические рекомендации по уточнению расчета нормативных потерь мощности (электроэнергии) в системах электропостачання, динамика которых обусловлена изменением технических параметров воздушных ЛЭП в процессе длительной их эксплуатации. Суть разработанных методических рекомендаций заключается в следующем:

1. В соответствии с действующей Методикой для заданной системы электропостачання определяются расчетные значения нормативных потерь мощности последовательно во всех элементах системы электропостачання.

2. Для каждой воздушной линии исследуемой (контролируемой) системы электропостачання в соответствии с ее параметрами определяют относительное значение активных потерь мощности  $\Delta P_{*ВЛ}$ .

Значение относительных потерь мощности в общем случае представляет собой отношение потерь мощности в находящейся в эксплуатации воздушной линии  $\Delta P_{экс}$  с реальными физическими параметрами проводов, к потерям мощности в той же линии  $\Delta P_{нач}$ , но с паспортными (начальными) физическими параметрами проводов

$$\Delta P_{*ВЛ} = \frac{\Delta P_{экс}}{\Delta P_{нач}}, \quad (1)$$

и является функцией двух переменных: времени эксплуатации  $T_{экс}$  (годы) и паспортного (начального) значения диаметра проволок  $d_0$  проводов соответствующей воздушной линии при заданной (обоснованной) скорости коррозии

$$\Delta P_{*ВЛ} = f(T_{экс}, d_0). \quad (2)$$

Расчетная формула для определения значений относительных потерь мощности в воздушных линиях получена на основе учета динамики активного сопротивления проводов ЛЭП от коррозии [3] и имеет вид:

$$\Delta P_{*ВЛ} = \left( 1 - \frac{\Delta d_0}{d_0} \cdot T_{\text{экс}} \right)^{-2}, \quad (3)$$

где  $\Delta d_0$  – изменение диаметра проволоки провода от коррозии, рекомендуемые значения  $\Delta d_0 = 2 \times (1,75 \dots 3,5)$  мкм/год.

Значения относительных потерь мощности в воздушных линиях могут быть определены с помощью таблицы 2 исходя из времени эксплуатации соответствующей воздушной ЛЭП и стандартного значения диаметра проволок фазных проводов.

3. Определяется уточненное значение суммарных потерь мощности в воздушных линиях электропередачи системы электроснабжения

$$\Delta P_{\Sigma ВЛ} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{\text{экс}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{ВЛ_i} \cdot \Delta P_{*ВЛ_i}. \quad (4)$$

Таблица 2

**Относительные значения  $\Delta P_{*ВЛ}$  активных потерь мощности в воздушных ЛЭП в зависимости от срока эксплуатации и диаметра проволок проводов марок А для  $\Delta d_0 = 2 \times (1,75 \dots 3,5)$  мкм/год**

$d_0$ , мм	$T_{\text{экс}}$ , лет									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<b>1,70</b>	1.021-1.042	1.042-1.088	1.065-1.136	1.088-1.188	1.111-1.243	1.136-1.302	1.161-1.365	1.188-1.433	1.215-1.507	1.243-1.586
<b>2,13</b>	1.017-1.034	1.034-1.069	1.051-1.106	1.069-1.146	1.088-1.187	1.106-1.231	1.126-1.277	1.146-1.326	1.166-1.377	1.187-1.432
<b>2,50</b>	1.014-1.029	1.029-1.058	1.043-1.090	1.058-1.122	1.074-1.156	1.090-1.192	1.106-1.229	1.122-1.268	1.139-1.309	1.156-1.352
<b>2,80</b>	1.013-1.025	1.025-1.052	1.039-1.079	1.052-1.108	1.066-1.138	1.079-1.169	1.094-1.201	1.108-1.235	1.123-1.270	1.138-1.306
<b>3,00</b>	1.012-1.024	1.024-1.048	1.036-1.074	1.048-1.100	1.061-1.128	1.074-1.156	1.087-1.186	1.100-1.216	1.114-1.248	1.128-1.282
<b>3,15</b>	1.011-1.023	1.023-1.046	1.034-1.070	1.046-1.095	1.058-1.121	1.070-1.148	1.083-1.176	1.095-1.205	1.108-1.235	1.121-1.266
<b>3,50</b>	1.010-1.020	1.020-1.041	1.031-1.063	1.041-1.085	1.052-1.108	1.063-1.132	1.074-1.156	1.085-1.181	1.096-1.208	1.108-1.235
<b>3,55</b>	1.010-1.020	1.020-1.041	1.030-1.062	1.041-1.084	1.051-1.106	1.062-1.130	1.073-1.154	1.084-1.179	1.095-1.204	1.106-1.231
<b>4,00</b>	1.009-1.018	1.018-1.036	1.027-1.055	1.036-1.074	1.045-1.094	1.055-1.114	1.064-1.135	1.074-1.156	1.084-1.178	1.094-1.201
<b>4,10</b>	1.009-1.017	1.017-1.035	1.026-1.053	1.035-1.072	1.044-1.091	1.053-1.111	1.063-1.131	1.072-1.152	1.081-1.173	1.091-1.195

### Выводы

Предложена методика расчета нормативных потерь электроэнергии в воздушных ЛЭП, которая учитывает динамику изменения в течение срока эксплуатации активного сопротивления фазных проводов и, соответственно, динамику изменения нагрузочных потерь в воздушных ЛЭП систем электроснабжения.

### Список литературы

1. Дерзкий, В.Г. Обоснование уровня нормативных потерь электроэнергии в распределительных сетях [Текст] / В.Г. Дерзкий, В.Ф. Скиба // Энергетика и электрификация. – 2007. – №12. – С.4-12.
2. Шкрабець, Ф.П. Анализ влияния параметров воздушных ЛЭП на технические потери при транспортировке электроэнергии [Текст] / Ф.П. Шкрабець, П.Ю. Красовський // Вісник Чернігівського державного технологічного університету (Серія „Технічні науки”). – 2013. – №2(65). – С.173-178.
3. Шкрабець, Ф.П. Характер изменения нагрузочных потерь в воздушных ЛЭП в процессе длительной эксплуатации [Текст] / Ф.П. Шкрабець, П.Ю. Красовський // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2013. – Вип. 90. – С. 16-20.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Разумним Ю.Т.*