

УДК 621.311

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОСМОТРА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И ВЫШЕ**

**Инж. ВОЙТКО Р. Г., докт. техн. наук, проф. КОРОТКЕВИЧ М. А.**

*Белорусский национальный технический университет*

Эксплуатация воздушных линий электропередачи представляет собой комплекс сложных организационно-технических мероприятий. Одним из таких мероприятий является периодический осмотр линий [1, 2].

В соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок [1] инженерно-технический и эксплуатационный персонал не реже одного раза в год должен проводить осмотры линий с целью выявления дефектных элементов, на основе чего устанавливаются сроки проведения капитальных или текущих ремонтов линий.

Воздушные линии электропередачи имеют значительную протяженность. Так, в Республике Беларусь средняя протяженность линий напряжением 750 кВ составляет 376,5 км; напряжением 330 кВ – 83 км; напряжением 220 кВ – 73,5 км; напряжением 110 кВ – 23,8 км; напряжением 35 кВ – 17,2 км. Осмотр линий напряжением 35 кВ и выше протяженностью более 10 км представляет определенные трудности. Утвержденной схемы организации осмотров не имеется, поэтому выбор рациональной схемы организации осмотра воздушных линий электропередачи представляет собой актуальную задачу. Рассмотрим четыре варианта проведения осмотра линий электропередачи: одним человеком за один или несколько дней, бригадой электромонтеров за один день, с помощью вертолета без сканирования и со сканированием трассы воздушной линии.

При определении наилучшей схемы организации осмотра линии учтем денежные затраты на его проведение, продолжительность выполнения и качество полученных результатов.

Схема осмотра воздушной линии электропередачи одним человеком представлена на рис. 1.

Денежные затраты на осмотр определяются следующим образом:

$$Z_1 = bt_0 + c(S_1 + S_2) + \alpha\gamma, \quad (1)$$

где  $b$  – заработная плата одного рабочего в час, бел. руб./ч;  $t_0$  – время, затрачиваемое на осмотр ВЛ, ч;  $c$  – стоимость проезда одного километра, бел. руб./км;  $S_1, S_2$  – соответственно расстояние от базы сетей до начала ВЛ и от конца ВЛ до базы сетей, км;  $\alpha$  – командировочные расходы одного рабочего в день, бел. руб./день;  $\gamma$  – количество дней выполнения работы.

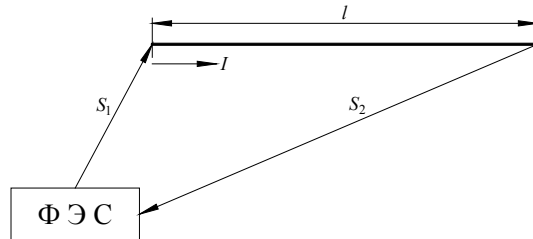


Рис. 1. Схема осмотра линии одним человеком

Время  $t_0$  определяется потерей времени на проезд от базы сетей до осматриваемой ВЛ и от конца ВЛ до базы сетей, а также временем, затрачиваемым на собственно осмотр ВЛ

$$t_0 = al + \frac{S_1 + S_2}{v}, \quad (2)$$

где  $a$  – норма времени на осмотр 1 км линии, ч/км;  $l$  – длина линии, км;  $v$  – средняя скорость передвижения транспортных средств, км/ч.

Если осмотр линии проводит бригада электромонтеров, то линию необходимо разделить на участки, соответствующие норме осмотра линии одним человеком в день, т. е. длиной 10 км. За каждым рабочим закрепляется участок линии. Монтеры прибывают на исходные пункты начала осмотра ВЛ (точки  $a, в, д$  и  $ж$  рис. 2). Затем каждый монтер выполняет осмотр закрепленного за ним участка линии: I-й монтер – участка  $a-b$ ; II-й монтер – участка  $b-в$ ; III-й монтер – участка  $в-г$ ; и т. д. (рис. 2). После выполнения осмотра электромонтеры от конечных пунктов осмотра ВЛ (точки  $b, г, е$  рис. 2) возвращаются на базу сетей.

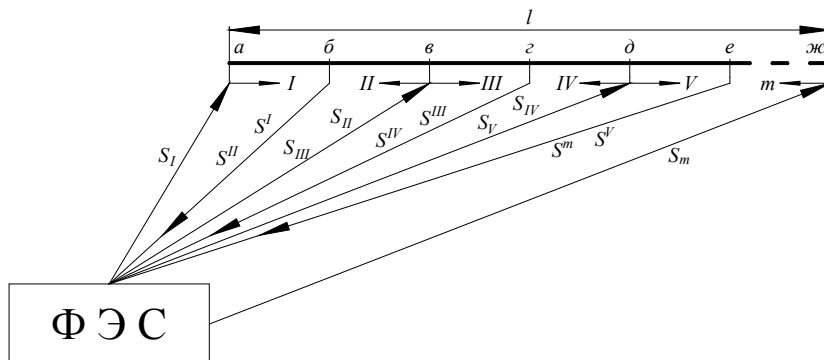


Рис. 2. Схема осмотра линии бригадой рабочих из  $m$  человек

Расходы денежных средств на осмотр, осуществляемые по варианту, изображенному на рис. 2, определяются по следующему выражению:

$$Z_2 = abl + \left( \frac{b}{v} + c \right) (S_1 + \dots + S_m + S^1 + \dots + S^m), \quad (3)$$

где  $S_1, \dots, S_m$  – соответственно расстояние от базы сетей до исходных пунктов начала осмотра ВЛ I-м, II-м, ...,  $m$ -м рабочим;  $S^1, \dots, S^m$  – соответственно расстояние от конечных пунктов осмотра ВЛ I-м, II-м, ...,  $m$ -м рабочим до базы сетей.

Количество электромонтеров для выполнения осмотра ВЛ (рис. 2) за один день равно

$$m = \frac{al}{t_d}, \quad (4)$$

где  $t_d$  – продолжительность рабочего дня, ч.

Сравнивая (1) и (3) и учитывая, что  $S_1 = S_1$ ;  $S_m = S_2$ , можно сделать вывод, что проведение осмотра одним человеком будет целесообразно, если

$$\alpha\gamma < \left( \frac{b}{v} + c \right) (S_{II} + \dots + S_{m-1} + S^1 + \dots + S^m). \quad (5)$$

Примем:  $c = 250$  бел. руб./км;  $\alpha = 15000$  бел. руб./день;  $b = 9000$  бел. руб./ч;  $v = 30$  км/ч. Тогда  $\left( \frac{b}{v} + c \right) = 550$  бел. руб./км. Положим также, что  $S_1 = 0$ . Для принятых исходных данных и различных значений  $l$  определим условия выполнения соотношения (5) (табл. 1).

Таблица 1

**Оценка вариантов осмотра линии одним человеком и бригадой**

$l$ , км	$\gamma$ , дней	$\alpha\gamma$ , тыс. руб.	$S_{II} + \dots + S_{m-1}$ , км	$S^1 + \dots + S^m$ , км	$\Sigma(S_i + S^j)$ , км	$550\Sigma(S_i + S^j)$ , тыс. руб.
20	2	30	20	0	20	11,0
30	3	45	40	20	60	33,0
40	4	60	80	40	120	66,0
50	5	75	120	80	200	110,0
60	6	90	180	120	300	165,0
70	7	105	240	180	420	231,0
80	8	120	320	240	560	308,0
90	9	135	400	320	720	396,0
100	10	150	500	400	900	495,0

Как видно из табл. 1, проведение осмотра линии  $m$ -м количеством рабочих более рационально при длине линии до 30 км. Если длина ее превышает 30 км, целесообразно проводить осмотр линии одним человеком.

Если осмотр линии осуществляется с вертолета без сканирования местности, то вертолет пролетает над трассой линии от первой опоры до последней.

Денежные затраты на осмотр линии с вертолета без сканирования составят

$$Z_3 = c_1 t + b t_0, \quad (6)$$

где  $c_1$  – стоимость одного летного часа вертолета, млн бел. руб./ч;  $t$  – время использования вертолета для осмотра линии, ч;  $b$  – заработная плата одного рабочего в час, бел. руб./ч;  $t_0$  – время, затрачиваемое на осмотр ВЛ, ч.

Для нахождения времени использования вертолета применим следующее выражение:

$$t = \frac{l}{d} t_1, \quad (7)$$

где  $t_1$  – время, затрачиваемое на осмотр одного пролета линии, ч;  $d$  – расстояние между опорами, км.

Допустим:  $c_1 = 4$  млн бел. руб./ч;  $t_0 = 8$  ч;  $l = 60$  км;  $d = 0,35$  км;  $b = 9000$  бел. руб./ч;  $t_1 = 1,5$  мин, тогда затраты и время соответственно составят:

$$Z_3 = 4 \cdot \frac{60}{0,35} \cdot \frac{1,5}{60} + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 8 = 17,2 \text{ млн бел. руб.}; \quad (8)$$

$$t = \frac{60}{0,35} \cdot \frac{1,5}{60} = 4,3 \text{ ч.} \quad (9)$$

Вертолет может быть оснащен сканирующим устройством. Тогда денежные затраты будут

$$Z_4 = c_1 \frac{l}{v_b} + K, \quad (10)$$

где  $v_b = 150$  км/ч – средняя скорость передвижения вертолета;  $K = 15$  млн бел. руб. – стоимость аппарата для сканирования трассы, приходящаяся на один год работы (срок службы аппарата – 10 лет).

Время, затрачиваемое на осмотр ВЛ

$$t_0 = \frac{l}{v_b}. \quad (11)$$

Учитывая принятые ранее значения  $v_b$  и  $K$ , рассчитаем денежные затраты и продолжительность проведения осмотра:

$$Z_4 = 4 \cdot \frac{60}{150} + 15 = 16,6 \text{ млн бел. руб.}; \quad (12)$$

$$t_0 = \frac{60}{150} = 0,4 \text{ ч.} \quad (13)$$

При выборе схемы осмотра необходимо достичь минимума денежных затрат и продолжительности осмотра, но в то же время максимального качества выполнения работы. Для решения поставленной задачи используем многокритериальный подход. По формулам (1)–(13) вычисляем значения критериев для каждого способа осмотра ВЛ. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица критериев

Вариант осмотра линии	Критерии осмотра		
	Минимум денежных затрат, млн бел. руб.	Минимальная продолжительность осмотра, дней	Максимальное качество выполнения работы
Одним человеком	0,57	6,00	1,0
Бригадой рабочих	0,68	1,00	1,0
С вертолета	17,20	0,54	0,5
С вертолета со сканированием трассы	16,60	0,05	2,0

Следовательно, данную многокритериальную задачу необходимо преобразовать в однокритериальную. Для этого произведем нормализацию критериев согласно [3] и вычислим значение функции  $E_j$ :

$$E_j = E_j(X_j) = \sum_{q=1}^k \lambda_q e_{jq}; \quad \sum_{q=1}^k \lambda_q = 1, \quad (14)$$

где  $\lambda_q$  – весовые коэффициенты, характеризующие значимость различных локальных критериев;  $e_{jq}$  – значения локальных критериев (табл. 2).

Значения весовых коэффициентов принимаем равными 0,33 по принципу равнозначности критериев. Определяем значение функции  $E$  при осмотре линии:

1) одним человеком

$$E_1 = \frac{1}{3}(1,0 + 0,008 + 0,5) = 0,502, \quad (15)$$

2) бригадой рабочих

$$E_2 = \frac{1}{3}(0,835 + 0,05 + 0,5) = 0,46, \quad (16)$$

3) с вертолета без сканирования трассы

$$E_3 = \frac{1}{3}(0,033 + 0,093 + 0,25) = 0,125, \quad (17)$$

4) с вертолета со сканированием трассы

$$E_4 = \frac{1}{3}(0,034 + 1,0 + 1,0) = 0,678. \quad (18)$$

Решением многокритериальной задачи будет вариант, для которого значение функции  $E$  максимально:

$$E^* = \max \{E_j\}. \quad (19)$$

Итак, в случае равнозначности критериев осмотра наиболее рациональной схемой осмотра линии будет схема с применением вертолета и сканирующего устройства.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее рациональным вариантом организации осмотра при длине линии до 30 км является схема осмотра линии бригадой электромонтеров за один день.
2. Выполнение осмотра воздушных линий электропередачи одним командированным человеком целесообразно при протяженности линии свыше 30 км.
3. При равнозначности критериев осмотра (минимум денежных затрат на осмотр, минимум продолжительности осмотра, максимум качества выполнения работы) наиболее рациональной схемой осмотра линии будет схема с применением вертолета и сканирующего устройства.
4. Применение вертолетов для осмотра линий без сканирования трассы нецелесообразно, поскольку приводит к увеличению денежных затрат на его проведение и не позволяет достичь при этом требуемого улучшения качества осмотра и снижения его продолжительности. Эта схема эффективна при отыскании мест повреждений на трассе линии (поломка опор, обрыв проводов).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации электроустановок. – Минскэнерго, 2009. – 325 с.
2. Андриевский, В. Н. Эксплуатация воздушных линий электропередачи / В. Н. Андриевский, А. Т. Голованов, А. С. Зеличенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 616 с.
3. Фадеева, Г. А. Проектирование распределительных электрических сетей / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин. – Минск: Вышэйш. шк., 2009. – 365 с.

Представлена кафедрой  
электрических систем

Поступила 27.05.2011