

Расчет технико-экономических показателей районной электрической сети

Обоснование решений при проектировании электрической сети осуществляется на основе технико-экономического сопоставления вариантов схем и параметров сети путем оценки их сравнительной эффективности. Обоснование решений производится по минимальному сроку окупаемости при условии, что сравниваемые варианты обеспечивают одинаковый энергетический эффект.

ВАРИАНТ 1

Определим капитальные вложения на сооружение воздушных линий электропередачи по формуле $K = L \cdot K_0 \cdot K_{\text{пересч}}$ (базисные показатели стоимости ВЛ приведены в ценах 2000 г., коэффициент индексации цен на текущий 2011 год $K_{\text{пересч}} = 4,27$), используя [4, табл. 7.4]:

– для двухцепных ВЛ (здесь учтены металлические опоры, *надо ж/б!*):

$$K_{A-2} = 23 \cdot 1650 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 1,62 \cdot 10^8 \text{ руб.};$$

$$K_{1-2} = 40 \cdot 1150 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 1,964 \cdot 10^8 \text{ руб.};$$

– для одноцепных ВЛ «кольца» (здесь, для примера, учтены металлические опоры, стоимость железобетонных определяют по [4, табл. 7.4]):

$$- K_{A-3} = 44 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 1,597 \cdot 10^8 \text{ руб.};$$

$$- K_{A-4} = 25 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,907 \cdot 10^8 \text{ руб.};$$

$$- K_{3-4} = 23 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,835 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Суммарные капиталовложения в линии:

$$K_{\text{ЛЭП}} = (1,62 + 1,964 + 1,597 + 0,907 + 0,835) \cdot 10^8 = 6,923 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Определим капитальные вложения в строительство ПС 110/10 кВ.

Стоимость трансформаторов определим, используя [4, табл. 7.20]:

$$K_T = K_{\text{ПЕРЕСЧ}} \sum_1^4 K_{\text{ТРi}} = 4,27 \cdot (7,3 \cdot 10^6 + 9 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^6) =$$

$$= 116,571 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Стоимость компенсирующих устройств. Ориентировочно стоимость можно определить по [4, табл. 7.27].

Таблица 8.1

Марка	Стоимость, тыс. руб.	Количество	Итоговая стоимость, тыс. руб.
УКЛ–10,5–1350	422	4	1688
УКЛ–10,5–1900	594	4	2376
УКЛ–10,5–2700	844	8	6752
УКЛ–10,5–3150	984	8	7872

В сумме: $K_{\text{KV}} = 1,869 \cdot 10^7$ руб.

Стоимость РУ ВН [4, табл. 7.18, 7.19] с элегазовыми выключателями, стоимость постоянной части затрат по ПС 110/10 кВ [4, табл. 7.30].

Таблица 8.2

Наименование РУ	Стоимость, тыс. руб.	Постоянная часть затрат, тыс. руб.	Номер узла	Всего, тыс. руб.
РУ–110 кВ. Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	$30000 \times 4,27 = 128100$	$9000 \times 4,27 = 38430$	3, 4	333060
РУ–110 кВ. Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	$15200 \times 4,27 = 64904$	$9000 \times 4,27 = 38430$	1	103334
РУ 110 кВ. Одна рабочая, секционированная выключателем и обходная система шин	$(8 \times 7300) \times 4,27 = 249368$	$12250 \times 4,27 = 52308$	2	301676
РУ 110 кВ. Линейные ячейки с элегазовыми выключателями	$(4 \times 7300) \times 4,27 = 124684$	$12250 \times 4,27 = 52308$	A	176992

В сумме: $K_{\text{РУВН}} = 9,151 \cdot 10^8$ руб.

Стоимость РУ НН [4, табл. 7.19] с вакуумными выключателями.

На каждой из ПС с трансформаторами ТРДН должны быть предусмотрены: четыре вводные ячейки, одна с секционным выключателем, одна с секционным разъединителем, четыре ячейки с трансформаторами напряжения и две ячейки для подключения трансформаторов собственных нужд. Кроме того, в РУ 10 кВ должны быть ячейки отходящих линий для электроснабжения потребителей и подключения конденсаторных установок. Принимаем, что на каждой секции НН (10 кВ) будет по четыре отходящие линии.

Стоимость 28 ячеек РУ НН для каждой ПС определим, используя [4, табл. 7.19] для вакуумных выключателей:

$$K_{\text{РУНН}} = 4,27 \cdot (160 \cdot 10^3 \cdot 28 \cdot 4) = 7,652 \cdot 10^7 \text{ руб.}$$

Таким образом, вложения в распределительные устройства сети

$$K_{\text{РУ}} = 9,151 \cdot 10^8 + 7,625 \cdot 10^7 = 9,914 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Итоговые капитальные затраты на строительство электрической сети 110/10 кВ определяются по формуле

$$K = K_{\text{ЛЭП}} + K_{\text{ТР}} + K_{\text{КУ}} + K_{\text{РУ}} :$$

$$K_1 = 6,923 \cdot 10^8 + 116,571 \cdot 10^6 + 1,869 \cdot 10^7 + 9,914 \cdot 10^8 = 1,819 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Расчёт суммарных годовых потерь электроэнергии представлен ниже.

По [1] потери электрической энергии в трансформаторе определяются формулой:

$$\Delta W_T = \Delta P_X \cdot 8760 + \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.ТР}}} \right) \cdot \left(0,124 + \frac{T_{\text{МАХ}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760,$$

где $T_{\text{МАХ}} = 4900 \text{ ч}$ время, в течение которого используется максимум нагрузки;

$$\Delta W_{T1} = 0,036 \cdot 8760 + 0,172 \cdot \left(\frac{36,41}{40} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 786 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T2} = 0,059 \cdot 8760 + 0,260 \cdot \left(\frac{46,85}{63} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 991,685 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T3} = 0,027 \cdot 8760 + 0,12 \cdot \left(\frac{25,879}{25} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 661,176 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T_4} = 0,027 \cdot 8760 + 0,12 \cdot \left(\frac{24,06}{25}\right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 603.577 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Delta W_{TP}^{\Sigma} = 2(786 + 991,685 + 661,176 + 603,577) = 6,085 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Потери электрической энергии в линиях электропередач определяются

как:

$$\Delta W = \left(\frac{S_{ЛЭП}}{U_{НОМ}}\right)^2 \cdot R_{ЛЭП} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{MAX}}{10000}\right)^2 \cdot 8760$$

$$\Delta W_{ЛЭП}^{A-2} = \left(\frac{41,7}{110}\right)^2 \cdot \frac{15,9}{100} \cdot 23 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 = 1736 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{ЛЭП}^{1-2} = \left(\frac{18,2}{110}\right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 40 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 = 900,446 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{ЛЭП}^{A-3} = \left(\frac{20,1}{110}\right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 44 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 = 1208 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{ЛЭП}^{A-4} = \left(\frac{29,9}{110}\right)^2 \cdot \frac{20,4}{100} \cdot 25 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 = 1244 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{ЛЭП}^{3-4} = \left(\frac{5,8}{110}\right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 23 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000}\right)^2 = 52,582 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарные потери энергии в линиях:

$$\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma} = 1736 + 900,446 + 1208 + 1244 + 52,582 = 5.141 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость электроэнергии на сегодняшний день составляет 2,43 руб/кВт·ч. Стоимость потерь электроэнергии определяется по формуле

$$I_{\Delta W} = 2.43 \cdot (\Delta W_{ЛЭП}^{\Sigma} + \Delta W_{TP}^{\Sigma}):$$

$$I_{\Delta W1} = 2.43 \cdot (3,479 \cdot 10^3 + 5,141 \cdot 10^3) \cdot 10^3 = 2,728 \cdot 10^7 \text{ руб/год}.$$

Проведём аналогичные расчёты для второго варианта конфигурации сети.

ВАРИАНТ 2

Определим капитальные вложения на сооружение трасс воздушных линий электропередачи по формуле $K = L \cdot K_0 \cdot K_{пересч}$ (базисные показатели

стоимости ВЛ приведены в ценах 2000 г, коэффициент индексации цен

$$K_{\text{пересч}} = 4,27):$$

$$K_{A-2'} = 20 \cdot 1150 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,982 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$K_{2'-2} = 15 \cdot 1150 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,737 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$K_{2'-1} = 35 \cdot 1150 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 1,719 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$K_{A-3} = 44 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 1,597 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$K_{A-4} = 25 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,907 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$K_{3-4} = 23 \cdot 850 \cdot 10^3 \cdot 4,27 = 0,835 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Суммарные капиталовложения в линию:

$$K_{\text{ЛЭП}} = (0,982 + 0,737 + 1,719 + 1,597 + 0,907 + 0,835) \cdot 10^8 = 6,777 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Стоимость трансформаторов определим, используя [4, табл. 7.20]:

$$K_{\text{ТР}} = K_{\text{ПЕРЕСЧ}} \cdot \sum_1^4 K_{\text{ТРИ}} = 4,27 \cdot (7,3 \cdot 10^6 + 9 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^6) =$$

$$= 116,571 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Стоимость компенсирующих устройств. Ориентировочно стоимость можно определить по [4, табл. 7.27].

Таблица 8.3

Марка	Стоимость, тыс. руб.	Количество	Итоговая стоимость, тыс. руб.
УКЛ–10,5–1350	422	4	1688
УКЛ–10,5–1900	594	4	2376
УКЛ–10,5–2700	844	8	6752
УКЛ–10,5–3150	984	8	7872

В сумме: $K_{\text{КУ}} = 1,869 \cdot 10^7$ руб.

Стоимость РУ ВН [4, табл. 7.18, 7.19] с элегазовыми выключателями, стоимость постоянной части затрат по ПС 110/10 кВ [4, табл. 7.30].

Таблица 8.4

Наименование РУ	Стоимость, тыс. руб.	Постоянная часть затрат, тыс. руб.	Номер узла	Всего, тыс. руб.
РУ–110 кВ. Мостик с	$30000 \times 4,27 =$ 128100	$9000 \times 4,27 =$ 38430	3, 4	333060

выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий				
РУ–110 кВ. Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	$15200 \times 4,27 = 64904$	$9000 \times 4,27 = 38430$	1, 2	206700
РУ 110 кВ. Линейные ячейки с элегазовыми выключателями	$(4 \times 7300) \times 4,27 = 124684$	$12250 \times 4,27 = 52308$	А	176992
Итого				716800

В сумме: $K_{\text{РУВН}} = 7,168 \cdot 10^8$ руб.

Стоимость РУ НН [4, табл. 7.19] с вакуумными выключателями.

На каждой из ПС с трансформаторами ТРДН должны быть предусмотрены: четыре вводные ячейки, одна с секционным выключателем, одна с секционным разъединителем, четыре ячейки с трансформаторами напряжения и две ячейки для подключения трансформаторов собственных нужд. Кроме того, в РУ 10 кВ должны быть ячейки отходящих линий для электроснабжения потребителей и подключения конденсаторных установок. Принимаем, что на каждой секции НН (10 кВ) будет по четыре отходящие линии.

Стоимость 28 ячеек РУ НН для каждой ПС, используя [4, табл. 7.19] для вакуумных выключателей:

$$K_{\text{РУНН}} = 4,27 \cdot (160 \cdot 10^3 \cdot 28 \cdot 4) = 7,652 \cdot 10^7 \text{ руб.}$$

Таким образом, вложения в распределительные устройства сети

$$K_{\text{РУ}} = 7,168 \cdot 10^8 + 7,652 \cdot 10^7 = 7,931 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Итоговые капитальные затраты на строительство электрической сети 110/10 кВ определяются по формуле $K = K_{\text{ЛЭП}} + K_{\text{ТР}} + K_{\text{КУ}} + K_{\text{РУ}}$:

$$K_2 = 6,777 \cdot 10^8 + 116,571 \cdot 10^6 + 1,869 \cdot 10^7 + 7,931 \cdot 10^8 = 1,606 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Расчёт суммарных годовых потерь электроэнергии представлен ниже.

По [1] потери электрической энергии в трансформаторе определяются формулой:

$$\Delta W_T = \Delta P_X \cdot 8760 + \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.ТР}}} \right) \cdot \left(0,124 + \frac{T_{\text{МАХ}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 ,$$

где $T_{\text{МАХ}} = 4900 \text{ ч}$ – время, в течение которого используется максимум нагрузки;

$$\Delta W_{T1} = 0,036 \cdot 8760 + 0,172 \cdot \left(\frac{36,41}{40} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 786 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T2} = 0,059 \cdot 8760 + 0,260 \cdot \left(\frac{46,85}{63} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 991,685 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T3} = 0,027 \cdot 8760 + 0,12 \cdot \left(\frac{25,879}{25} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 661,176 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T4} = 0,027 \cdot 8760 + 0,12 \cdot \left(\frac{24,06}{25} \right)^2 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 603,577 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Delta W_{\text{ТР}}^{\Sigma} = 2 \cdot (786 + 991,685 + 661,176 + 603,577) = 6,085 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Потери электрической энергии в линиях электропередач определяются как:

$$\Delta W = \left(\frac{S_{\text{ЛЭП}}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot R_{\text{ЛЭП}} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{\text{МАХ}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{A-2'} = \left(\frac{41,7}{110} \right)^2 \cdot \frac{15,9}{100} \cdot 20 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 1509 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{2'-2} = \left(\frac{23,5}{110} \right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 15 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 562,966 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{2'-1} = \left(\frac{19,7}{110} \right)^2 \cdot \frac{15,9}{100} \cdot 35 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 589,458 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{A-3} = \left(\frac{20,1}{110} \right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 44 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 1208 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{A-4} = \left(\frac{29,9}{110} \right)^2 \cdot \frac{20,4}{100} \cdot 25 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 1244 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{3-4} = \left(\frac{5,8}{110} \right)^2 \cdot \frac{24,9}{100} \cdot 23 \cdot \left(0,124 + \frac{4900}{10000} \right)^2 = 52,582 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарные потери энергии в линиях:

$$\Delta W_{\text{ЛЭП2}}^{\Sigma} = 1509 + 562.966 + 589.458 + 1208 + 1244 + 52.582 = 5.166 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость электроэнергии на 2011 г. составляет 2,43 руб/кВт·ч.

Стоимость потерь электроэнергии определяется по формуле

$$I_{\Delta W} = 2.43 \cdot (\Delta W_{\text{ЛЭП}}^{\Sigma} + \Delta W_{\text{ТР}}^{\Sigma});$$

$$I_{\Delta W2} = 2.43 \cdot (5,166 \cdot 10^3 + 6,085 \cdot 10^3) \cdot 10^3 = 2,734 \cdot 10^7 \text{ руб/год}.$$

Сравним экономическую эффективность обоих вариантов.

Объём реализованной продукции:

$$Q_P = T_{\text{MAX}} \cdot \Sigma P \cdot 2.43 = 4900 \cdot (35 + 45 + 25 + 23) \cdot 2,43 \cdot 10^3 = 1,524 \cdot 10^9 \text{ руб}.$$

Издержки на амортизацию, ремонт и обслуживание определяются по формуле $I_{\text{АРО}} = K \cdot \alpha$, где $\alpha = 2,8\%$ по [2]:

$$I_{\text{АРО}(1)} = 1,819 \cdot 10^9 \cdot 0,028 = 5,093 \cdot 10^7 \text{ руб/год};$$

$$I_{\text{АРО}(2)} = 1,606 \cdot 10^9 \cdot 0,028 = 4,497 \cdot 10^7 \text{ руб/год}.$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$I_{\Delta W(1)} = 2,728 \cdot 10^7 \text{ руб/год};$$

$$I_{\Delta W(2)} = 2,734 \cdot 10^7 \text{ руб / год}.$$

Суммарные издержки определяем по формуле $I_{\Sigma} = I_{\text{АРО}} + I_{\Delta W}$:

$$I_{\Sigma(1)} = 5,093 \cdot 10^7 + 2,728 \cdot 10^7 = 7,821 \cdot 10^7 \text{ руб/год};$$

$$I_{\Sigma(2)} = 4,497 \cdot 10^7 + 2,734 \cdot 10^7 = 7,231 \cdot 10^7 \text{ руб/год}.$$

Определяем прибыль как $\Pi = Q_P - I_{\Sigma}$:

$$\Pi_1 = 1,524 \cdot 10^9 - 7,821 \cdot 10^7 = 1,446 \cdot 10^9 \text{ руб/год};$$

$$\Pi_2 = 1,524 \cdot 10^9 - 7,231 \cdot 10^7 = 1,452 \cdot 10^9 \text{ руб/год}.$$

Налог на прибыль принимаем 20 % на 2011 г.:

$$H_1 = 0,2 \cdot \Pi_1 = 0,2 \cdot 1,446 \cdot 10^9 = 0,289 \cdot 10^9 \text{ руб/год};$$

$$H_2 = 0,2 \cdot \Pi_2 = 0,2 \cdot 1,452 \cdot 10^9 = 0,29 \cdot 10^9 \text{ руб/год}.$$

Рентабельности сети вычисляем по формуле

$$P = \frac{Q_P - I_{\Sigma} - H}{K} :$$

$$P_1 = \frac{1,524 \cdot 10^9 - 0,07821 \cdot 10^9 - 0,289 \cdot 10^9}{1,819 \cdot 10^9} = 0,636;$$

$$P_2 = \frac{1,524 \cdot 10^9 - 0,07231 \cdot 10^9 - 0,29 \cdot 10^9}{1,606 \cdot 10^9} = 0,723 ,$$

т.е. рентабельность второго варианта выше, чем первого.

Определим срок окупаемости по формуле $T_{\text{ок}} = \frac{K}{P + I_{\Sigma}}$:

$$T_{\text{ок1}} = \frac{K_1}{P_1 + I_{\Sigma 1}} = \frac{1,819 \cdot 10^9}{1,446 \cdot 10^9 + 0,07821 \cdot 10^9} \approx 1 \text{ год} ;$$

$$T_{\text{ок2}} = \frac{K_2}{P_2 + I_{\Sigma 2}} = \frac{1,606 \cdot 10^9}{1,452 \cdot 10^9 + 0,07231 \cdot 10^9} \approx 1 \text{ год} .$$

Так как в качестве критерия сравнения был взят срок окупаемости, то, определив и проанализировав технико-экономические характеристики двух вариантов районных электрических сетей, приходим к выводу, что они абсолютно равноценны. Поэтому для дальнейших расчетов можно выбрать любой вариант, например вариант № 1.