



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

ПРАКТИКА № 11

Преподаватель: Никитин Дмитрий Сергеевич
к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ
248 ауд. 8 корп., вн. тел. 1978



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

ПРИМЕЧАНИЯ ПО ПРИВЕДЕНИЮ СТОИМОСТИ К 2023 Г:

- 1) Базовый документ – Приложение № 1 к письму Минстроя России от 17.05.2023 г. № 28039-ИФ/09 «Индексы изменения сметной стоимости по элементам прямых затрат по объектам строительства, определяемых с применением федеральных и территориальных единичных расценок, на II квартал 2023 года».
- 2) Расчет будет упрощен в сравнении с примером, т.к. в Письме Минстроя нет данных для Западной Сибири по индексам стоимости. В принципе не выделяется отдельно ВЛ 110 кВ, для ВЛ 220 кВ по большинству данных информации нет.
- 3) Поскольку для объектов строительства, связанных с прокладкой проводки и сетей, характерны достаточно близкие индексы, можно воспользоваться показателями для «Прочих объектов».
- 4) Соответствия индексов работ в примере и документе: «Строительно-монтажные работы» – «Оплата труда», «Оборудование» – «Материалы, изделия, конструкции», «Прочие затраты» – «Эксплуатация машин и механизмов».

2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

ПРИМЕЧАНИЯ ПО ПРИВЕДЕНИЮ СТОИМОСТИ К 2023 Г:

22

Объект строительства	Элемент прямых затрат ²	Индексы к ФЕР-2001/ТЕР-2001 по объектам строительства			
		Новосибирская область (1 зона)	Новосибирская область (2 зона)	Новосибирская область (3 зона)	Новосибирская область (4 зона)
Внешние инженерные сети канализации	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	8,79	9,34	9,61	9,82
	Эксплуатация машин и механизмов	13,50	13,80	14,00	14,24
Внешние инженерные сети газоснабжения	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	6,77	7,13	7,44	7,46
	Эксплуатация машин и механизмов	12,85	13,15	13,34	13,57
Подземная прокладка кабеля с медными жилами	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	6,14	6,31	6,40	6,41
	Эксплуатация машин и механизмов	10,64	10,84	10,97	11,15
Подземная прокладка кабеля с алюминиевыми жилами	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	4,53	4,85	5,03	5,22
	Эксплуатация машин и механизмов	10,53	10,74	10,87	11,05
Воздушная прокладка провода с медными жилами	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	6,02	6,34	6,45	6,46
	Эксплуатация машин и механизмов	9,11	9,22	9,30	9,42
ВЛ 0,4-20 кВ с самонесущими изолированными проводами на железобетонных опорах ³	Оплата труда	-	-	-	-
	Материалы, изделия и конструкции	-	-	-	-
	Эксплуатация машин и механизмов	-	-	-	-

23

Объект строительства	Элемент прямых затрат ²	Индексы к ФЕР-2001/ТЕР-2001 по объектам строительства			
		Новосибирская область (1 зона)	Новосибирская область (2 зона)	Новосибирская область (3 зона)	Новосибирская область (4 зона)
ВЛ 220 кВ	Оплата труда	-	-	-	-
	Материалы, изделия и конструкции	-	-	-	-
	Эксплуатация машин и механизмов	-	-	-	-
ВЛ 330 кВ	Оплата труда	-	-	-	-
	Материалы, изделия и конструкции	-	-	-	-
	Эксплуатация машин и механизмов	-	-	-	-
Сети наружного освещения	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	10,53	12,96	13,65	13,69
	Эксплуатация машин и механизмов	10,22	10,40	10,51	10,66
Прочие объекты	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	8,56	9,77	10,39	10,50
	Эксплуатация машин и механизмов	13,13	13,38	13,53	13,72
Пусконаладочные работы	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	-	-	-	-
	Эксплуатация машин и механизмов	-	-	-	-
Аэродромы гражданского назначения ⁴	Оплата труда	39,86	39,86	39,86	39,86
	Материалы, изделия и конструкции	10,17	12,15	13,46	13,46
	Эксплуатация машин и механизмов	13,81	14,17	14,39	14,66



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Суммарные капиталовложения на сооружение подстанций:

$$K_{ПСj} = (K_{ТР\Sigma} + K_{РУ\Sigma} + K_{доп\Sigma} + K_{пост}) \cdot k_{зон},$$

где $K_{ПСj}$ – суммарные капиталовложения на сооружение j -ой подстанции, тыс. руб.;

$K_{ТР\Sigma}$ – суммарные капиталовложения в трансформаторы подстанции, тыс. руб.;

$K_{РУ\Sigma}$ – суммарные капиталовложения в распределительные устройства подстанции, тыс. руб.;

$K_{доп\Sigma}$ – дополнительные суммарные капиталовложения, тыс. руб.;

$K_{пост}$ – постоянная часть затрат на подстанции, тыс. руб.;

$k_{зон}$ – зональный коэффициент.

$$K_{ТР\Sigma} = n_{ТР} K_{ТРрасч},$$

где $K_{ТР\Sigma}$ – суммарные капиталовложения в трансформаторы подстанции, тыс. руб.;

$n_{ТР}$ – количество трансформаторов на подстанции;

$K_{ТРрасч}$ – укрупненный показатель стоимости трансформатора, тыс. руб.



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

$$K_{ру\Sigma} = n_{яч} \cdot K_{яч},$$

где $K_{ру\Sigma}$ – суммарные капиталовложения в распределительные устройства подстанции, тыс. руб.;

$n_{яч}$ – число ячеек выключателей в распределительном устройстве;

$K_{яч}$ – укрупненный показатель стоимости одной ячейки, тыс. руб.

$$K_{доп\Sigma} = K_{ШР} + K_{КУ} + K_{ЛР},$$

где $K_{доп\Sigma}$ – дополнительные суммарные капиталовложения, тыс. руб.;

$K_{ШР}$ – капиталовложения в шунтирующие реакторы на подстанции, тыс. руб.;

$K_{КУ}$ – капиталовложения в компенсирующие устройства на подстанции, тыс. руб.;

$K_{ЛР}$ – капиталовложения в линейные регулировочные трансформаторы на подстанции, тыс. руб.



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Постоянная часть затрат на подстанции $K_{\text{пост}}$ зависит от номинального напряжения подстанции, типа схемы распределительного устройства на стороне высшего напряжения и включает в себя:

- стоимость сооружения общеподстанционного пункта управления;
- стоимость сооружения аппаратной маслохозяйства;
- стоимость сооружения компрессорной;
- стоимость сооружения инженерных сооружений.



2. Техничко-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Общие характеристики района строительства подстанций и технические показатели подстанций для радиального варианта схемы электрической сети

Общие характеристики района строительства ПС				
№ ПС	1	2	3	4
Месторасположение ПС	Западная Сибирь			
Рельеф площадки ПС	равнинный			
Технические показатели ПС				
Тип и количество трансформаторов	ТРДЦН – 100000/220, 2 шт.	АТДЦТН – 125000/220/110, 2 шт.	ТРДН – 25000/110, 2 шт.	ТДН – 10000/110, 2 шт.
Тип схемы распределительного устройства	ОРУ 220 кВ – схема 4Н (два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий)	ОРУ 220 кВ, ОРУ 110 кВ – схема 12 (одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин)	ОРУ 110 кВ – схема 4Н (два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий)	ОРУ 110 кВ – схема 4Н (два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий)
Количество ячеек выключателей (воздушных)	на стороне 220 кВ – 2 шт.	на стороне 220 кВ – 8 шт., на стороне 110 кВ – 8 шт.	на стороне 110 кВ – 2 шт.	на стороне 110 кВ – 2 шт.
Наличие шунтирующих реакторов (ШР)	ШР типа РТМ – 33000/10, 1 шт.	–	–	–
Наличие компенсирующих устройств (КУ)	Шунтовая конденсаторная батарея типа КСКГ – 1,05 – 125, 3 шт.	–	–	–
Наличие линейных регулировочных трансформаторов	–	ЛТДН – 40000/10, 2 шт.	–	–



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Расчет стоимости сооружения подстанций ведется в следующей последовательности:

- базисная стоимость трансформаторов;
- базисная стоимость ячеек выключателей в РУ;
- базисная стоимость дополнительного оборудования;
- постоянная часть затрат на подстанции;
- стоимость постоянного отвода земельного участка под строительство ПС;
- затраты в текущем уровне цен суммируются;
- к полученной сумме затрат добавляются затраты на проектно-изыскательские работы, благоустройство, временные здания и сооружения, прочие работы;
- стоимость в базисных ценах 2000 г приводится к текущему уровню цен по индексам изменения сметной документации.



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Расчет капиталовложений на сооружение ПС №2 радиального варианта схемы электрической сети (в базисных ценах 2000 г.)

Составляющие капиталовложений	Расчет капиталовложений	Величина капиталовложений, тыс. руб.
Базисная стоимость трансформаторов с учетом зонального коэффициента ($k_{зон} = 1,3$)	2·1,3·22900	59540
Базисная стоимость ячеек выключателей в РУ с учетом $k_{зон} = 1,3$	8·1,3·8800+8·1,3·4150	134680
Базисная стоимость дополнительного оборудования с учетом $k_{зон} = 1,3$		
Шунтирующие реакторы	–	0
Компенсирующие устройства	–	0
Линейные регулировочные трансформаторы	2·1,3·7000	18200
Постоянная часть затрат на подстанции с учетом $k_{зон} = 1,3$	1,3·50000	65000
Стоимость постоянного отвода земельного участка под строительство ПС	7·22000/1000	154
Итого	–	277574
Стоимость дополнительных работ		
1,5% – временные здания и сооружения	277574·0,015	4163,61
8,5% – прочие работы и затраты	277574·0,085	23593,79
1% – содержание службы заказчика-застройщика, строительный контроль	277574·0,01	2775,74
10% – проектно-изыскательские работы и авторский надзор	277574·0,1	27757,4
1,5% – благоустройство	277574·0,015	4163,61
Стоимость строительства ПС №2, всего (в базисных ценах 2000 г.)	–	340028,15



2. Техничко-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Суммарные капиталовложения на сооружение подстанций радиального варианта схемы электрической сети (в ценах на III квартал 2016 г.)

ПРИМЕЧАНИЕ:
Допускается использовать те же индексы, что и для ЛЭП

	Расчет капиталовложений	Величина капиталовложений, тыс. руб.
Суммарные капиталовложения на сооружение ПС №1, №2 с высшим напряжением 220 кВ, в том числе:	–	2945920,3
строительно-монтажные работы 29%	$(145993,05+340028,15) \cdot 0,29 \cdot 7,71$	1086694,801
оборудование 52%	$(145993,05+340028,15) \cdot 0,52 \cdot 4,28$	1081688,783
прочие затраты 19%	$(145993,05+340028,15) \cdot 0,19 \cdot 8,42$	777536,7158
Суммарные капиталовложения на сооружение ПС №3, №4 с высшим напряжением 110 кВ, в том числе:	–	603891,7584
строительно-монтажные работы 32%	$(53434,5+43879,5) \cdot 0,32 \cdot 7,71$	240093,1008
оборудование 48%	$(53434,5+43879,5) \cdot 0,48 \cdot 4,28$	199921,8816
прочие затраты 20%	$(53434,5+43879,5) \cdot 0,2 \cdot 8,42$	163876,776



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Суммарные капиталовложения для радиальной и кольцевой электрических сетей

Вариант схемы	Радиальная	Кольцевая
Суммарные капиталовложения на сооружение ВЛ класса напряжения 110 кВ, тыс. руб.	949386,0933	–
Суммарные капиталовложения на сооружение ВЛ класса напряжения 220 кВ, тыс. руб.	1990217,669	3023284,432
Суммарные капиталовложения на сооружение ВЛ, тыс. руб.	2939603,762	3023284,432
Суммарные капиталовложения на сооружение ПС с высшим напряжением 110 кВ, тыс. руб.	603891,7584	–
Суммарные капиталовложения на сооружение ПС с высшим напряжением 220 кВ, тыс. руб.	2945920,3	3670356,874
Суммарные капиталовложения на сооружение ПС, тыс. руб.	3549812,058	3670356,874
Суммарные капиталовложения на сооружение ВЛ и ПС, тыс. руб.	6489415,82	6693641,306



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

2.3. Расчет издержек на передачу и распределение электроэнергии

Учет издержек электросетевых хозяйств на передачу и распределение электроэнергии производится по укрупненным показателям. **Суммарные эксплуатационные издержки** рассчитываются по формуле

$$I_{\text{экспл.}} = I_{\text{АМ}} + I_{\text{об.рем.}}$$

где $I_{\text{экспл.}}$ – суммарные эксплуатационные издержки, тыс. руб./год;

$I_{\text{АМ}}$ – ежегодные издержки на амортизацию, тыс. руб./год;

$I_{\text{об.рем.}}$ – ежегодные издержки на обслуживание и ремонт оборудования, тыс. руб./год.

Ежегодные издержки на амортизацию зависят от норм отчисления на амортизацию и могут быть определены по формуле

$$I_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{АМ}} \cdot K_{\Sigma}}{100},$$

где $I_{\text{АМ}}$ – ежегодные издержки на амортизацию, тыс. руб./год;

$N_{\text{АМ}}$ – норма отчислений на амортизацию, %;

K_{Σ} – суммарные капиталовложения, тыс. руб.



2. Техничко-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Ежегодные издержки на обслуживание и ремонт оборудования зависят от нормы отчисления на обслуживание и ремонт оборудования и могут быть определены по формуле

$$I_{\text{об.рем.}} = \frac{H_{\text{об.рем.}} \cdot K_{\Sigma}}{100},$$

где $I_{\text{об.рем.}}$ – ежегодные издержки на обслуживание и ремонт оборудования, тыс. руб./год;

$H_{\text{об.рем.}}$ – норма отчислений на обслуживание и ремонт оборудования, %;

K_{Σ} – суммарные капиталовложения, тыс. руб.

Помимо издержек на амортизацию, обслуживание и ремонт оборудования необходимо учесть расход электроэнергии, связанный с ее передачей.

Издержки на расход электроэнергии, связанные с ее передачей

$$I_{\text{пот}} = \Delta W_{\text{пот}} \cdot C_{\text{пот}},$$

где $I_{\text{пот}}$ – издержки, связанные с передачей электроэнергии, тыс. руб./год;

$\Delta W_{\text{пот}}$ – суммарные потери электроэнергии, МВт·ч;

$C_{\text{пот}}$ – стоимость потерь электроэнергии, руб./МВт·ч.



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Нормы отчислений на амортизацию, обслуживание и ремонт оборудования

Элементы	Норма амортизации, %	Норма на обслуживание и ремонт оборудования, %
ВЛ 35 кВ и выше на стальных и железобетонных опорах	2,0	0,8
Силовое электрооборудование и распределительные устройства до 150 кВ	3,5	5,9
Силовое электрооборудование и распределительные устройства 220 кВ и выше	3,5	4,9



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Что касается стоимости потерь электроэнергии, то принимаем ее согласно [Тарифы на услуги по передаче электрической энергии и мощности (единые (котловые)) на 2023 год].

В таблице 43 приведены ставки за оплату потерь электроэнергии в сетях для филиала ПАО «МРСК Сибири» – «Кузбассэнерго – РЭС», группа потребителей – прочие потребители, диапазоны напряжения – ВН, СН, НН.

Диапазоны напряжения	Ставка за оплату потерь электроэнергии в сетях, руб./МВт·ч
ВН	92,00
СН	236,92
НН	785,95



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Таблица – Расчет суммарных эксплуатационных издержек для радиального варианта схемы электрической сети

Составляющие издержек	Расчет издержек	Величина издержек, тыс. руб./год
Ежегодные издержки на амортизацию ВЛ	$2 \cdot 2939603,762/100$	58792,07525
Ежегодные издержки на обслуживание и ремонт оборудования ВЛ	$0,8 \cdot 2939603,762/100$	23516,8301
Ежегодные издержки на амортизацию ПС с высшим напряжением 110 кВ	$3,5 \cdot 603891,7584/100$	21136,21154
Ежегодные издержки на амортизацию ПС с высшим напряжением 220 кВ	$3,5 \cdot 2945920,3/100$	103107,2105
Ежегодные издержки на ремонт и обслуживание оборудования ПС с высшим напряжением 110 кВ	$5,9 \cdot 603891,7584/100$	35629,61375
Ежегодные издержки на ремонт и обслуживание оборудования ПС с высшим напряжением 220 кВ	$4,9 \cdot 2945920,3/100$	144350,0947
Ежегодные издержки на расход электроэнергии, связанные с ее передачей для диапазона напряжения ВН	$9484,13 \cdot 72,11/1000$	683,901
Ежегодные издержки на расход электроэнергии, связанные с ее передачей для диапазона напряжения СН	$3554,09 \cdot 102,26/1000$	363,441
Ежегодные издержки на расход электроэнергии, связанные с ее передачей для диапазона напряжения НН	$1211,54 \cdot 510,03/1000$	617,922
Ежегодные суммарные эксплуатационные издержки	–	388197,3



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

2.3. Выбор наиболее экономичного варианта схемы электрической сети на основе анализа технико-экономических показателей

Наиболее экономичный вариант схемы выбирается по **критериям сравнительной эффективности**. Чтобы воспользоваться данными критериями, оба варианта инвестирования должны удовлетворять **условиям сопоставимости вариантов инвестирования**:

- **Условие 1.** Одинаковый производственный эффект у потребителя. Под этим понимается покрытие одинаковых часовых нагрузок, а также одинаковый полезный отпуск электроэнергии.
- **Условие 2.** Оптимальность сравниваемых вариантов. Сравнимые варианты должны иметь примерно одинаковый технический уровень.
- **Условие 3.** Учет сопряженных затрат. Необходимо учесть не только капиталовложения, но и строительно-монтажные работы. При расчете обоих вариантов инвестирования строительно-монтажные работы должны быть учтены.
- **Условие 4.** Стоимостная сопоставимость сравниваемых вариантов. Под этим подразумевается использование цен одного и того же базового года. При расчете обоих вариантов инвестирования были использованы цены одного и того же базового года, а именно 2000-го года. Затем с помощью индексов изменения сметной стоимости базисные цены были переведены в цены 2023 года.
- **Условие 5.** Одинаковое качество продукции. В качестве продукции выступает электроэнергия, а под ее качеством понимается допустимая величина отклонения напряжения от номинального либо согласованного значения в соответствии с [ГОСТ 32144 – 2013. Электрическая энергия. ... Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения].



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Сравнительный срок окупаемости капитальных вложений может быть найден по формуле

$$T_{\text{ср}} = \frac{\Delta K}{\Delta I},$$

где $T_{\text{ср}}$ – сравнительный срок окупаемости капитальных вложений, лет;

ΔK – разница между капиталовложениями инвестируемых вариантов (дополнительные капиталовложения), тыс. руб.;

ΔI – разница между ежегодными издержками инвестируемых вариантов, тыс. руб./год.

Сравнительный срок окупаемости капитальных вложений может оказаться больше или меньше нормативного срока окупаемости $T_{\text{н}}$. Для объектов электроэнергетики нормативный срок окупаемости составляет $T_{\text{н}} = 8,3$ лет. Если сравнительный срок окупаемости оказался меньше нормативного срока окупаемости, то есть, если выполняется условие $T_{\text{ср}} < T_{\text{н}}$, то стоит идти на дополнительные капиталовложения. В противном случае стоит отдать предпочтение варианту инвестирования с меньшими капиталовложениями.



2. Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети

Критерием экономической целесообразности является минимум приведённых затрат, определяемых по формуле

$$З = E_H K_\Sigma + И,$$

где $E_H \approx 0,12$ – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений;

$K_\Sigma = K_{ЛЭП} + K_{ПСЭ}$ – капиталовложения в сеть, включающие в себя стоимость сооружения ЛЭП и подстанций;

И – ежегодные издержки эксплуатации.

В качестве окончательного варианта принимается одна оптимальная схема электрической сети.