



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

## ПРАКТИКА № 1

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

Томск – 2023

<b>Курсовой проект</b>	<b>32</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>32</b>
<b>Лабораторные занятия</b>	<b>22</b>

Практические занятия – 16 занятий (1 раз в неделю)

Лабораторные работы – 16 занятий (1 раз в неделю)

## Тематика практических занятий

---

1. Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи. Выполнение необходимых проверок выбранного сечения.
2. Определение параметров схемы замещения воздушной и кабельной линий электропередачи.
3. Определение потерь мощности в элементах электрической сети.
4. Определение потерь и падения напряжения в элементах электрической сети.
5. Расчет режима радиальной электрической сети методом последовательных приближений.
6. Расчёт установившегося режима радиальной электрической сети по заданным параметрам в узле нагрузки. Расчёт режима радиальной электрической сети по заданным параметрам в узле питания.

## Тематика практических занятий

---

7. Расчёт потоков и потерь мощности в замкнутых электрических сетях.
8. Расчёт электрической сети с двусторонним питанием.
9. Расчёт электрической сети с разными классами номинальных напряжений.
10. Составление баланса мощностей. Выбор мест установки и мощности компенсирующих устройств.
11. Расчёт технико-экономических показателей и выбор наиболее оптимального варианта электрической сети.

## Контрольные мероприятия

---

- Выполнение и защита двух ИДЗ.
- Выполнение контрольных и проверочных заданий.
- Посещение занятий.

## Литература

---

1. Лыкин П.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 248 с.
2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети: Учебник. – Мн.: УП «Технопринт», 2004.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376



## **Формальные требования к оформлению КП и ИДЗ**

1. Наличие титульного листа, оформленного в соответствии со стандартами ТПУ. На титульном листе указываются номер (для ИДЗ), номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы.
2. Шрифт – Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул MathType. Основные нормы оформления изложены в стандарте ТПУ (Приказ № 6/од от 10.02.2014)
3. Решение следует располагать в той же последовательности, что и пункты задания.



## Индивидуальное домашнее задание

---

### Формальные требования к оформлению КП и ИДЗ

5. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов, схем преобразования, указанием использованных формул и обязательной подстановкой цифр.
6. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.
7. В записку включается список использованной литературы.
8. Студент должен быть готов защитить свои индивидуальные задания и курсовой проект в конце семестра, изучив теоретический материал, содержащийся в указанных пособиях. Защита может происходить как в индивидуальной беседе с преподавателем, так и письменно по выполненным пунктам задания.





## Индивидуальное домашнее задание

---

### Формальные требования к оформлению КП и ИДЗ

9. Расчет следует выполнять в программе Mathcad, который предоставляется для проверки к отчету.

10. Допускается приводить один пример расчета по формуле в случае однотипных расчетов.

12. Курсовые проекты, выполненные не по своему варианту, на проверку не принимаются.

11. Загрузка промежуточных заданий (по срокам) происходит на платформу электронного обучения

Курс «Электроэнергетические системы и сети»

<https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=5238>



## Курсовой проект

---

**Курсовой проект посвящен проектированию вновь сооружаемой электрической сети 220/110 кВ, питаемой от одного источника электрической энергии.**

Три раздела:

- 1) Разработка топологической структуры схемы электрической сети.
- 2) Технико-экономический расчет выбранных вариантов схемы электрической сети.
- 3) Точный электрический расчет режимов радиального варианта схемы электрической сети.



## Курсовой проект. Исходные данные

**Вариант исходных данных для выполнения курсового проекта определяется по первым трём буквам фамилии и инициалам студента.**

### Исходные данные для подстанции 1

Варианты	АБ	ВГД	ЕЁЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	ЫЭЮЯ
$X$ , см	6	6,5	7,0	7,5	8,0	7,5	6,5	7,0	6,0	8,0
$Y$ , см	1,5	1,0	0,5	0,0	1,5	1,0	0,0	1,5	0,0	0,0
$P_{\max}$ , МВт	40	50	60	70	80	90	100	110	110	110
$T_{\max}$ , час	3800	4000	3800	4000	3800	4000	4200	4400	4600	4800
$\cos \varphi$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,80
$K_k$ , %	100	100	80	80	100	100	80	80	100	100



## Курсовой проект. Исходные данные

**Вариант исходных данных для выполнения курсового проекта определяется по первым трём буквам фамилии и инициалам студента.**

### Параметры системы и режима

Варианты	АБ	ВГД	ЕЁЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	ЫЭЮЯ
$X$ , см	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	7,0	11,0	12,0	11,0	3,0
$Y$ , см	0,0	3,0	7,0	9,0	10,0	10,0	8,0	4,0	0,0	0,0
$U_{PЭСmax}$ , % от 220 кВ	112	110	108	110	112	109	111	113	110	108
$U_{PЭСmin}$ , % от 220 кВ	103	107	104	108	105	106	102	102	104	104
$\cos \varphi_0$	0,90	0,91	0,91	0,90	0,92	0,93	0,90	0,92	0,9	0,92
$P_{min}$ , % от $P_{max}$	50	51	52	50	51	52	45	50	55	50
Масштаб, км/см	10	10	15	15	15	15	20	20	10	10



## Курсовой проект. Исходные данные

---

Исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в пяти таблицах. Заданы **координаты точек**, соответствующие положению источника питания и подстанций в пространстве, **масштаб, активные мощности в режиме максимальных нагрузок, коэффициенты мощности, активные мощности в режиме минимальных нагрузок** (в процентах от активных мощностей в режиме максимальных нагрузок), **время использования максимальной нагрузки, напряжение на источнике**. Коэффициент  $K_k$  показывает **процентное содержание электроприёмников I и II категорий** в составе комплексной нагрузки.

Номинальное напряжение электроприёмников  $U = 10$  кВ.



## Категории ЭП по надежности

---

**ЭП I категории** – ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения. Из состава электроприемников первой категории выделяется **особая группа электроприемников**, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

**ЭП I категории** в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией **от двух независимых взаимно резервирующих источников питания**, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.



## Категории ЭП по надежности

---

**ЭП II категории** – ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

**ЭП II категории** в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

**ЭП III категории** - все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий. Перерывы электроснабжения не должны превышать 1 сутки.



# **1. Разработка топологической структуры схемы электрической сети (Разработка вариантов схем электрической сети 220/110 кВ).**

## **1.1. Формирование исходных данных**





## **1. Разработка топологической структуры схемы электрической сети (Разработка вариантов схем электрической сети 220/110 кВ).**

### 1.2. Построение двух вариантов схемы электрической сети

Определение взаимного расположения источника питания и потребителей на координатной плоскости в соответствии с исходными данными и разработка эскизов возможных вариантов конфигурации электрической сети. Анализ разработанных эскизов вариантов и выбор двух наиболее перспективных.



## Построение вариантов схемы электрической сети

---

Основным критерием для выбора оптимального варианта служит **минимум затрат на сооружение сети и ее эксплуатацию.**

Величина затрат зависит в том числе как от количества, так и от протяженности ЛЭП, поэтому при построении схемы электрической сети следует делать длину ЛЭП как можно короче, использовать двухцепные ЛЭП только при соединении источника питания с шинами узловой ПС, а также при построении схем радиальной конфигурации, **по возможности не допускать пересечение ЛЭП между собой.**

*Пересечение ЛЭП между собой (специальный переход) влечет за собой дополнительные расчеты, а также удорожание проектных работ, что приведет к удорожанию строительства электрической сети в целом.*



## Построение вариантов схемы электрической сети

---

В качестве узловой ПС лучше выбрать ту, у которой значение активной мощности на шинах низшего напряжения является наибольшим, так как на узловой ПС будут впоследствии установлены автотрансформаторы или мощные двухобмоточные трансформаторы.

*В идеале следует рассмотреть радикальную и кольцевую сети.*



## Построение вариантов схемы электрической сети

---

Следует выделить подстанции, потребители которых требуют 100 % резерва по сети, и предварительно рассмотреть, какими путями может быть выполнено это требование. Также нужно выделить подстанции, расположенные вблизи друг от друга и от центра питания (целесообразно объединить общей сетью), а также наиболее удалённые подстанции (можно осуществить отдельными линиями). Приблизжённое определение потоков мощностей по отдельным линиям покажет, есть ли малозагруженные линии. Наличие их – признак того, что вариант выбран неудовлетворительно.



## Построение вариантов схемы электрической сети

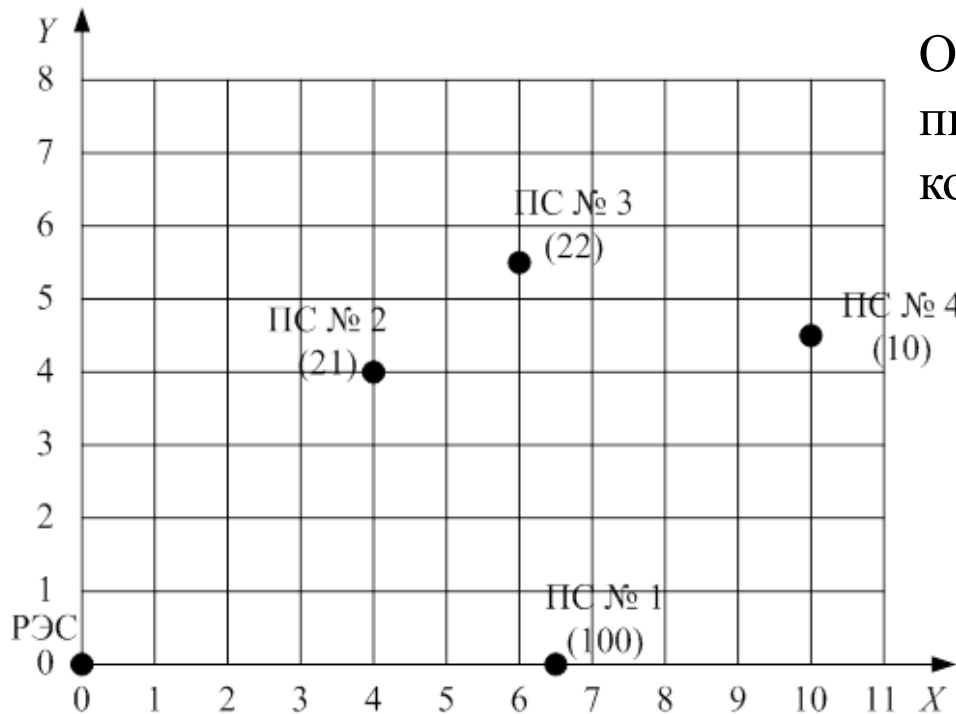
---

При одинаковом напряжении сети предварительный отбор вариантов можно производить на основе сравнения

- длин линий и трасс,
- протяжённостей двухцепных линий,
- числа выключателей на подстанциях,
- величин наибольших падений напряжений,
- надёжности электроснабжения потребителей и гибкости сети – возможности производства переключений без перерывов в электроснабжении, а также дальнейшего расширения сети.

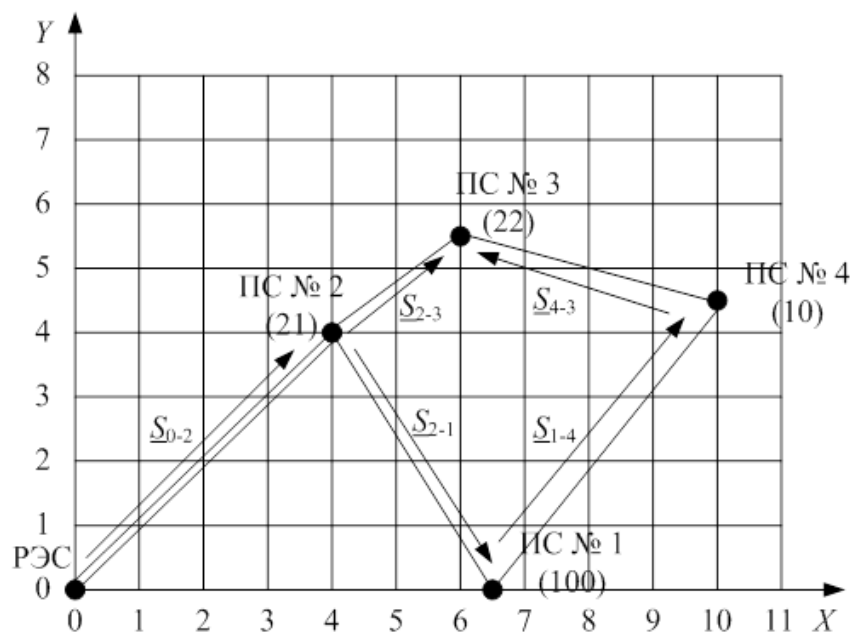
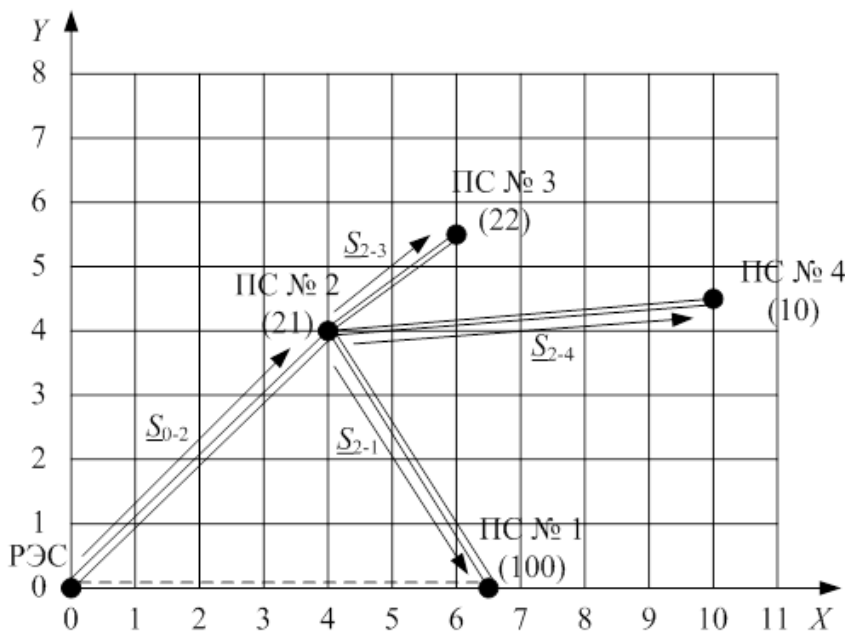
## Построение вариантов схемы электрической сети

Определить положение источника питания и потребителей на координатной плоскости.



*Исходные данные для  
электрической сети*

## Построение вариантов схемы электрической сети



*Два варианта электрических сетей для дальнейшего анализа*  
*радиальная конфигурация*

*кольцевая конфигурация*

## Справочные данные

Табл. П.1.1. Расчетные данные воздушных линий напряжением 380 В, 6, 10 и 35 кВ

Сечение провода марки А(АС), мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Диаметр провода, мм	$r_0$ , Ом/км, при +20° С	$x_0$ , Ом/км при напряжении, кВ			
				0,38	6	10	35
16(16/2,7)	105 (105)	5,1 (5,6)	1,108 (1,782)	-	-	-	-
25(25/4,2)	135 (145)	6,4 (6,9)	1,150 (1,152)	0,319	0,319 (0,392)	0,402 (0,401)	-
35(35/6,2)	170 (175)	7,5 (8,4)	0,835 (0,777)	0,308	0,380 (0,376)	0,391 (0,386)	-
50(50/8)	215 (210)	9,0 (9,6)	0,578 (0,595)	0,297	0,369 (0,368)	0,380 (0,378)	-
70(70/11)	265 (265)	10,7 (11,4)	0,413 (0,422)	0,283	0,355 (0,357)	0,366 (0,367)	0,420 (0,432)
95(95/16)	320 (330)	12,3 (13,5)	0,311 (0,301)	0,274	0,346 (0,347)	0,357 (0,356)	0,411 (0,421)
120(120/19)	375 (390)	14,0 (15,2)	0,246 (0,244)	-	0,338	0,349	0,403 (0,414)
150(150/24)	440 (450)	15,8 (17,1)	0,194 (0,204)	-	-	-	0,398 (0,406)



## Справочные данные

Табл. П.1.2. Расчетные данные воздушных линий напряжением 110 и 220 кВ

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Длительный допустимый ток, А	Диаметр провода, мм	$r_0$ , Ом/км, при +20° С	110 кВ		220 кВ	
				$x_0$ , Ом/к.л	$b_0$ , 10 <sup>-6</sup> См/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0$ , 10 <sup>-6</sup> См/км
70/11	265	10,7	0,422	0,444	2,55	-	-
95/16	330	12,3	0,301	0,434	2,61	-	-
120/19	390	14,0	0,244	0,427	2,66	-	-
150/24	450	15,8	0,204	0,420	2,70	-	-
185/29	510	18,8	0,159	0,413	2,75	-	-
240/32	605	21,6	0,118	0,405	2,81	0,435	2,60
300/39	710	24	0,096	-	-	0,429	2,64
400/51	825	27,5	0,073	-	-	0,420	2,70
500/64	945	30,6	0,059	-	-	0,413	2,74

Таблица П.1.3. Расчетные данные воздушных линий напряжением 330 и 750 кВ

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом/км при 20° С	330 кВ			750 кВ		
			$x_0$ , Ом/км	$b_0$ , 10 <sup>6</sup> См/км	$Q_c$ , Мвар/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0$ , 10 <sup>6</sup> м/км	$Q_c$ , Мвар/км
240/32	2	0,06	0,331	3,38	0,406	-	-	-
240/56	5	0,024	-	-	-	0,308	3,76	2,12
300/39	2	0,048	0,328	3,41	0,409	-	-	-
300/66	5	0,021	-	-	-	0,288	4,11	2,31
400/51	5	0,015	-	-	-	0,286	4,13	2,32
400/93	4	0,019	-	-	-	0,289	4,13	2,32
500/64	4	0,015	-	-	-	0,303	3,9	2,19

## Справочные данные

Таблица П.1.4. Расчетные данные кабелей с бумажной изоляцией (на 1 км)

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	r <sub>0</sub> , Ом		x <sub>0</sub> , Ом при напряжении, кВ				
	медь	алюминий	0,38	6	10	20	35
10	1,84	3,1	0,073	0,11	-	-	-
16	1,15	1,94	0,068	0,102	0,113	-	-
25	0,74	1,24	0,066	0,091	0,099	0,135	-
35	0,52	0,89	0,064	0,087	0,095	0,129	-
50	0,37	0,62	0,063	0,083	0,09	0,119	-
70	0,26	0,443	0,061	0,08	0,086	0,116	0,137
95	0,194	0,326	0,060	0,078	0,083	0,110	0,126
120	0,153	0,258	0,060	0,076	0,081	0,107	0,120
150	0,122	0,206	0,060	0,074	0,079	0,104	0,116
185	0,099	0,167	0,060	0,073	0,077	0,101	0,113
240	0,077	0,129	0,059	0,071	0,075	0,098	0,111
300	0,061	0,103	-	-	-	0,095	0,097