

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В АПК

Методические указания
для самостоятельной работы, выполнения лабораторных,
практических занятий и расчетно-графических работ

Новосибирск 2024

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составитель канд. техн. наук, доц. *Н.П. Гужов*

Рецензент

Системы электроснабжения в АПК: метод. указания для самост. работы, выполнения лабораторных, практических занятий и расчетно-графических работ /Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер.ин-т; сост. Н.П. Гужов. – Новосибирск, 2024. – 24 с.

Методические указания предназначены для самостоятельного изучения дисциплины магистрантами очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.04.06 – Агроинженерия, профиль «Управление электроэнергетическими системами в АПК». Приведены задания и методические указания по выполнению лабораторных, практических занятий и расчетно-графических работ.

Утверждены и рекомендованы к изданию методической комиссией Инженерного института (протокол № __ от _____ 2022 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2024

© Инженерный институт, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА.....	5
1.1. Цель и задачи курса	5
1.2. Общие методические рекомендации по изучению курса «Системы электроснабжения в АПК»	6
1.2.1. Введение.....	6
1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения	6
1.2.3. Электрические нагрузки в АПК	7
1.2.4. Выбор и проверка элементов системы электроснабжения	7
1.2.5. Расчет токов коротких замыканий и проверка оборудования на их действия.....	8
1.2.6. Качество электрической энергии.....	8
2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	9
2.1. Задание для лабораторных занятий	9
2.2. Методические указания по выполнению задания	11
2.3. Задание для практических занятий.....	12
2.4. Методические указания по выполнению.....	13
3. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ	14
3.1. Задание на расчетно-графическую работу (3 семестр)	14
3.2. Методические указания по выполнению РГР.....	17
3.3. Задание на расчетно-графическую работу (4 семестр)	19
3.4. Методические указания по выполнению РГР.....	20
4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЕТА	23
5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА	23
Библиографический список	24

ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение – это процесс производства, преобразования, передачи и распределения электрической энергии среди электроприемников в электрифицированной жизнедеятельности человека, т.е. это (по сути) процесс обеспечения электроприемников электрической энергией. Получая электрическую энергию, электроприемники преобразуют её в другие виды (механическую, тепловую, лучистую и т.д.). В настоящее время, когда электрическая энергия проникла во все сферы жизни человека и появилась потребность в огромных её количествах, в большинстве случаев её производство осуществляется централизованно – электроэнергетической системой. В этих условиях задача электроснабжения – передача, преобразование и распределение электрической энергии, которая реализуется так называемой системой электроснабжения.

Указанная сфера деятельности человека – производство электрической энергии на промышленной основе (в электроэнергетических системах) и доведение её до электроприемников системами электроснабжения – относится к электроэнергетике, объединяющей различные формы собственности технических средств. Несмотря на многообразие систем электроснабжения, можно сформировать понятие некоторой типовой структуры системы электроснабжения, имеющей наибольшее распространение в жизни.

В настоящее время в агропромышленном комплексе (АПК) страны применяются современные и разнообразные электрифицированные технологические процессы, которые предъявляют соответствующие требования к системам электроснабжения с точки зрения надежности электроснабжения и качества электроэнергии.

Территориальные особенности АПК и разнообразие электрифицированных технологических процессов предъявляют соответствующие требования к формированию и режимам работы систем электроснабжения, которым будет уделено внимание в данной учебной дисциплине.

В итоге изучения курса «Системы электроснабжения в АПК» необходимо **знать:**

- основные требования ГОСТов, ПУЭ, нормативных и руководящих материалов по проектированию систем электроснабжения;
- особенности систем электроснабжения сельскохозяйственных районов;
- современные методы расчетов электрических сетей с учетом технических требований и экономического обоснования;
- устройство высоковольтного и низковольтного электротехнического оборудования;
- методы расчета токов коротких замыканий и проверки элементов систем электроснабжения на термическую и динамическую устойчивость.

уметь:

- оценивать электрические нагрузки на элементы электрических сетей;
- производить диагностику аварийных ситуаций;
- выбирать элементы электрических сетей в соответствии с требованиями ПУЭ и нормативной документации;
- управлять режимами работы системы электроснабжения с целью улучшения качества электроэнергии и повышения технико-экономических показателей.

владеть:

-современными технологиями проектирования и монтажа систем электроснабжения сельскохозяйственных районов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

1.1. Цель и задачи курса

Дисциплина СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В АПК предназначена для того, чтобы дать магистрантам знания по методике исследования, расчета и практическому применению теоретических основ систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей с технико-экономической точки зрения, а также привить навыки в оценке потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения и в использовании методики в оценке качества электрической энергии, доводимой до электроприемников.

Исходя из цели, в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- Освоение современных методов проектирования систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов;
- Знакомство с конструкциями элементов систем электроснабжения сельского хозяйства и принципами их монтажа;
- Приобретение навыков в оценке потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения и качества электроэнергии, доводимой до электроприемников.

Дисциплина изучается в 2-х семестрах: для дневной формы обучения это 3 и 4 семестры.

3 семестр:

- Лекции – 8 часов;
- Лабораторные работы – 24 часа;
- Самостоятельная работа – 76 часов;
- В течение семестра выполняется РГР;
- Аттестация за семестр – зачет.

4 семестр:

- Лекции – 10 часов;
- Практические занятия – 24 часа;
- Самостоятельная работа – 121 час;
- В течение семестра выполняется РГР;
- Итоговая аттестация – экзамен.

Информационной основой данной дисциплины является курс «Электроснабжение» из бакалаврской подготовки.

1.2. Общие методические рекомендации по изучению курса «Системы электроснабжения в АПК»

1.2.1. Введение

История развития электроснабжения. Особенности электроснабжения сельскохозяйственных районов России.

1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения

Центр электрического питания (схемы ГПП, ЦРП, их конструктивное исполнение). Высоковольтная распределительная сеть (схемы радиальные, магистральные, смешанные, кольцевые, с двухсторонним питанием), её конструктивная реализация. Распределительные пункты в высоковольтной распределительной сети. Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (схемы подстанций при присоединении их к радиальным сетям, магистральным, кольцевым и сетям с двухсторонним питанием), их конструктивное исполнение. Низковольтная распределительная сеть (силовая и осветительная сеть), её конструктивное исполнение. Распределительные пункты в низковольтной распределительной сети. Технико-экономический выбор схем электрических сетей.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите все возможные схемы распределительного устройства высокого напряжения главных понизительных подстанций.
2. Когда применяется глухое подключение питающей линии к силовому трансформатору ТП 10/0,4 кВ?
3. Какие бывают схемы распределительного устройства высокого напряжения ТП 10/0,4 кВ?
4. Какой способ размещения трансформаторных подстанций является наиболее экономичным?
5. Чем отличается схема электрической сети с двухсторонним питанием от кольцевой схемы?
6. В чем заключаются основные особенности радиальных схем электрических сетей систем электроснабжения в отличие от магистральных?
7. В чем состоит назначение распределительных пунктов низковольтных распределительных сетей?
8. Перечислите типовые схемы распределительных сетей.
9. Перечислите виды конструктивной реализации кабельных линий.
10. Перечислите виды конструктивной реализации линий электропередачи до 1000 В.
11. Из каких структурных частей состоит трансформаторная подстанция?
12. Какие виды комплектного оборудования используются для реализации распределительных устройств напряжением 10 кВ?

1.2.3. Электрические нагрузки в АПК

Понятие электрической нагрузки и расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка как эквивалентная по нагреву. Методы определения расчетной нагрузки. Графики электрической нагрузки, их характеристики. Расчет потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое электрическая нагрузка?
2. В чем заключается понятие расчетной нагрузки?
3. Что такое принцип максимума средней нагрузки?
4. Назовите три вида допустимой температуры перегрева элемента электрической сети.
5. В чем заключается физический смысл постоянной времени нагрева элемента электрической сети?
6. Какие величины электрической нагрузки являются расчетными для проводников и трансформаторов?
7. Перечислите методы оценки расчетной нагрузки и дайте их краткую характеристику.
8. Представление электрической нагрузки графиком, его числовые характеристики.

1.2.4. Выбор элементов системы электроснабжения

Выбор сечения линий электропередачи по: допустимому току, экономической плотности тока, допустимой потере напряжения, механической прочности, потере на корону. Выбор мощности трансформаторов и электрических аппаратов.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
2. Поясните физический смысл перегрузочной способности трансформаторов.
3. Как определяется наилучшее место установки подстанции на территории потребителя?
4. Что понимается под номинальной мощностью трансформатора?
5. Перечислите критерии выбора сечения линии электропередачи исходя из условий нормального режима работы.
6. Чем определяется допустимая токовая нагрузка на линию электропередачи?
7. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по допустимой потере напряжения?
8. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по экономической плотности тока?
9. Как влияет способ прокладки проводника на его длительно допустимый ток?
10. Что такое электрический аппарат?
11. В чем состоит функциональное назначение автоматического выключателя, предохранителя, рубильника?

12. В чем заключаются особенности применения автоматических выключателей вместо предохранителей?

13. Перечислите условия выбора электрических аппаратов.

14. Поясните смысл времятоковых характеристик защитных аппаратов.

1.2.5. Расчет токов коротких замыканий и проверка оборудования на их действия

Расчет токов коротких замыканий в электрических сетях. Особенности расчета токов коротких замыканий в электрических сетях до 1000 В. Проверка оборудования на термическое и электродинамическое действия токов коротких замыканий.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят основные причины возникновения коротких замыканий?
2. Какие существуют виды коротких замыканий?
3. В чем заключается термическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
4. В чем заключается электродинамическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
5. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на термическую стойкость?
6. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на электродинамическую стойкость?
7. Что является расчетной точкой и какой вид короткого замыкания принимается при проверке элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?
8. Для решения каких задач рассчитываются токи однофазных коротких замыканий в электрических сетях до 1000 В?
9. В чем заключаются принципы проверки элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?

1.2.6. Качество электрической энергии

Ознакомиться с понятием качества электрической энергии, свойствами напряжения, определяющие её качество. Изучить показатели качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013: отклонение и колебание напряжения; несинусоидальность напряжения; несимметрия трехфазных напряжений; отклонение частоты. Проанализировать причины ухудшения качества электроэнергетики и пути его улучшения.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят качественные свойства электрической энергии?
2. Чем характеризуется электромагнитная совместимость системы электроснабжения с электрифицированным технологическим процессом?
3. В каких узлах электрической сети оценивается качество электрической энергии?
4. В виде каких значений оцениваются показатели качества электрической энергии?

5. Перечислите показатели качества электрической энергии.
6. Каковы допустимые и предельно допустимые отклонения напряжения?
7. Каковы допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения?
8. Какими параметрами характеризуется степень несимметрии трехфазной системы напряжений и каковы их допустимые и предельно допустимые значения?
9. Что такое доза фликера?
10. Чем отличаются провал и импульс напряжения от отклонения напряжения?

2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРОТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ 3 семестр

2.1. Задание для лабораторных занятий

На рис. 1 представлены схема распределительной сети напряжением 10 кВ и подключенные к ней трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ сельскохозяйственного района. Необходимо рассчитать потери электроэнергии на суточном интервале времени для фрагмента схемы, включающим в себя: линии электропередачи – Л1 ÷ Л6, выполненные проводом АС-50; трансформаторы подстанций – ТП-1 ÷ ТП-6. В таблицах 1, 2 и 3 представлены длины линий электропередачи, параметры трансформаторов и суточные графики электрических нагрузок по подстанциям.

Таблица 1 – Длина линий электропередачи

Номер линии	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6
Длина, км	0,3	0,1	9,8	0,6	0,6	0,7

Таблица 2 – Паспортные характеристики трансформаторов

Номер ТП	Тип трансформатора	Сочетание напряжения	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	U_k , %	I_{xx} , %
ТП-1, ТП-3, ТП-4	ТМ-160/10У1	10/0,4	0,41	3,1	4,5	2,0
ТП-2, ТП-5, ТП-6	ТМ-250/10У1	10/0,4	0,55	4,2	4,5	1,9

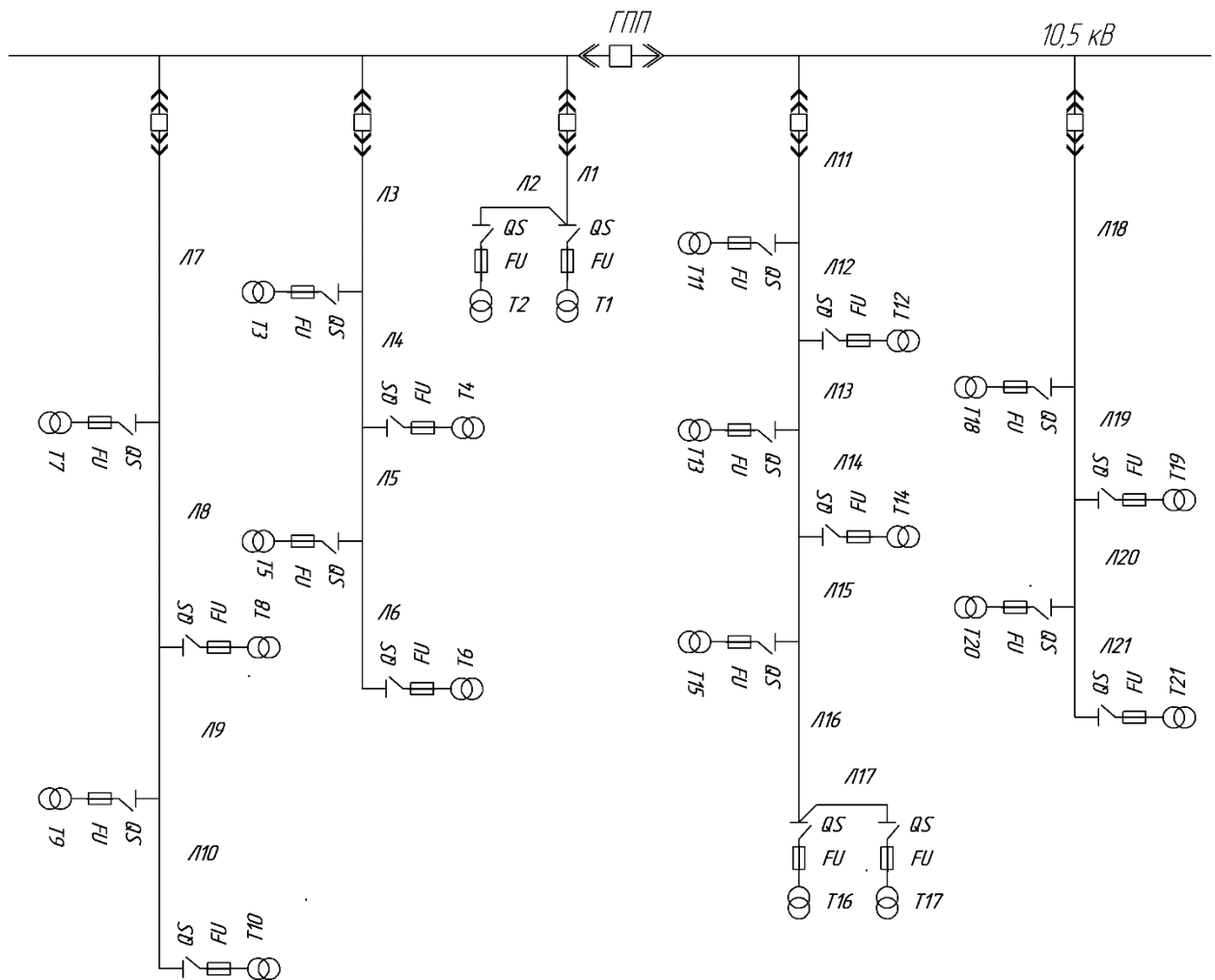


Рис. 1. Схема электроснабжения сельскохозяйственного района

Таблица 3 – Суточные графики электрической нагрузки

t, час	Номер подстанции											
	ТП-1		ТП-2		ТП-3		ТП-4		ТП-5		ТП-6	
	P1, кВт	Q1, квар	P2, кВт	Q2, квар	P3, кВт	Q3, квар	P4, кВт	Q4, квар	P5, кВт	Q5, квар	P6, кВт	Q6, квар
1	32,3	13,0	31,6	27,6	31,3	14,6	34,5	15,4	30,8	25,0	31,69	24,8
2	31,9	11,0	31	22,5	32,5	11,2	33,4	13,5	28	22,7	29,6	22,3
3	25,4	6,3	31,8	23,1	25,2	7,7	24,9	8,6	24,2	20,4	30,2	21,9
4	25,6	10,3	31,8	24,9	24,9	8,1	25,1	11,7	38,7	29,2	32,8	27,6
5	25,8	8,4	31,1	27,1	25,8	8,9	25,3	6,8	35,9	26,1	36,1	29,2
6	57,4	29,2	31,5	26,4	57,5	18,7	53,8	17,5	33,7	27,3	30,2	26,3
7	56,9	12,1	31,1	24,3	56,3	13,0	54,2	16,6	36,8	26,8	31,1	26,2
8	57,1	20,8	31,2	22,7	55,2	14,8	54,7	19,9	31,1	24,4	30,7	25,8
9	86,2	29,7	31,7	24,0	84,9	43,3	85,6	16,6	30,2	26,3	34,6	25,2
10	86,4	36,7	148,3	128,9	85,6	32,9	84,3	29,0	153,6	111,6	151,1	126,8

11	54,2	18,7	147,7	123,9	53,5	24,9	53,3	18,4	149,1	125,2	143,5	104,3
12	55,1	14,8	256,7	200,6	54,6	14,6	54,2	24,1	246	178,7	252,8	197,6
13	54,4	27,7	254,3	205,9	55,3	22,3	54,1	18,6	253,7	205,4	253,7	184,3
14	47,8	9,3	209	151,8	47,6	16,4	47,5	9,2	206,5	167,3	200,2	145,5
15	48,1	12,9	208,9	169,2	46,8	14,3	48,1	12,9	207,3	173,9	207,3	162,0
16	46,4	21,6	208,6	168,9	45,4	17,4	44,6	20,8	196	170,5	209,8	176,1
17	46,6	9,1	208	180,8	44,7	12,0	45,1	12,1	205,2	154,7	210,4	170,5
18	126,4	61,6	208	168,4	123,5	47,4	120,2	41,4	206,5	173,3	213,6	155,2
19	167,3	78,0	208,6	181,3	168,1	74,8	163,4	76,2	203,3	147,8	214	161,3
20	166,8	81,3	208,3	162,7	168,4	58,0	167,5	74,6	209,4	157,9	206,7	150,2
21	168	45,0	208,5	157,1	167,4	57,6	165,9	38,3	210,6	158,7	209,2	152,0
22	127,9	49,1	196,7	153,7	125,9	26,8	128,8	39,4	196	164,5	198	160,4
23	128,2	59,8	197,5	148,8	126,5	31,5	128,2	32,0	195,7	170,1	195,5	142,0
24	67,2	24,5	144,2	108,7	68,3	24,9	65,4	18,8	140,7	106,0	138,4	104,3

2.2. Методические указания по выполнению задания

Потери активной электроэнергии в трансформаторах определяются по формуле:

$$W_{\text{ат}} = \Delta P_{\text{ХХ}} T + \Delta P_{\text{КЗ}} T \frac{P_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{ср}}^2}{S_{\text{ном.т}}^2} + \Delta P_{\text{КЗ}} T \frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{S_{\text{ном.т}}^2},$$

где $\Delta P_{\text{ХХ}}$, $\Delta P_{\text{КЗ}}$ – значения потери холостого хода и короткого замыкания, приведенные в таблице 2; $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформатора; $P_{\text{ср}}$, $Q_{\text{ср}}$, σ_P^2 , σ_Q^2 – средние значения и дисперсия активной и реактивной мощности на интервале T равном 24 часам; ρ – коэффициент корреляции между активной и реактивной мощностями.

Потери активной электроэнергии в линии электропередач рассчитываются по выражению:

$$\Delta W_{\text{ал}} = RT \frac{P_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{ср}}^2}{U^2} + RT \frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{U^2},$$

где R – активное сопротивление линии; U – напряжение линии электропередачи равное 10 кВ.

Интегральные характеристики электрической нагрузки рассчитываются по выражениям:

- Среднее значение $P_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$;
- Дисперсия $D_P = \sigma_P^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{\text{ср}})^2$;
- Среднеквадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D}$;

- Коэффициент корреляции

$$\rho = \frac{1}{N\sigma_P\sigma_Q} \sum_{t=1}^N (P_t - P_{cp})(Q_t - Q_{cp}).$$

Просуммировать полученные потери электроэнергии и считая, что потребитель будет работать с таким режимом весь год, оценить годовые потери электроэнергии в рассматриваемом фрагменте электрической сети.

Для оценки потерь активной электроэнергии на годовом интервале времени при выполнении технико-экономических расчетов пользуются выражениями:

- для линии электропередачи

$$\Delta W_{a \text{ л}} = \Delta P_{\max} \tau_{\max} = 3I_{\max}^2 R \tau_{\max};$$

- для трансформатора

$$\Delta W_{a \text{ Т}} = \Delta P_{XX} 8760 + \Delta P_{K3} \frac{S_{\max}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2} \tau_{\max},$$

где ΔP_{\max} – максимальные потери активной мощности; S_{\max} , I_{\max} – максимальные (расчетные) мощность и ток; τ_{\max} – число часов использования максимальных потерь, которое приближенно может быть оценено как

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 8760.$$

Число часов использования максимальной мощности (T_{\max}) определить из графиков нагрузки.

Сопоставить результаты, полученные двумя методами, оценить погрешность расчета, взяв за эталон первый подход.

Расчет провести с помощью приложения Excel.

4 семестр

2.3. Задание для практических занятий

На рисунках 2 и 3 представлены два варианта структурных схем электроснабжения потребителя сельскохозяйственного назначения и ниже приводятся расчетные электрические нагрузки по подстанциям и линиям электропередачи, а также информация о мощностях трансформаторов и линиях электропередачи.

Необходимо провести технико-экономический расчет и принять для реализации вариант с меньшими затратами.

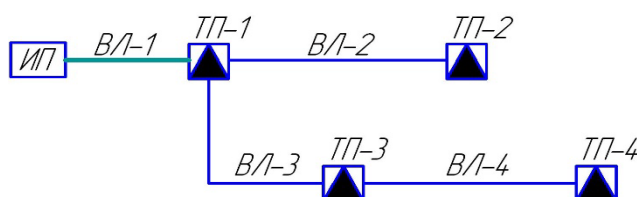


Рис. 2. Вариант 1

Нагрузка ВЛ-2 (длина 23 км): $P_{ВЛ-2}=506$ кВт, $Q_{ВЛ-2}=322$ квар, $S_{ВЛ-2}=600$ кВА.

Нагрузка ВЛ-4 (длина 12 км): $P_{ВЛ-4}=430$ кВт, $Q_{ВЛ-4}=217$ квар, $S_{ВЛ-4}=482$ кВА.

Нагрузка ВЛ-3 (длина 25 км):

$$P_{ВЛ-3}=(430+375)\cdot 0,97=781 \text{ кВт,}$$

$$Q_{ВЛ-3}=(217+273)\cdot 0,97=475 \text{ квар,}$$

$$S_{ВЛ-3}=914 \text{ кВА.}$$

Нагрузка ВЛ-1 (длина 24 км): $P_{ВЛ-1}=1864$ кВт, $Q_{ВЛ-1}=1195$ квар, $S_{ВЛ-1}=2214$ кВА.

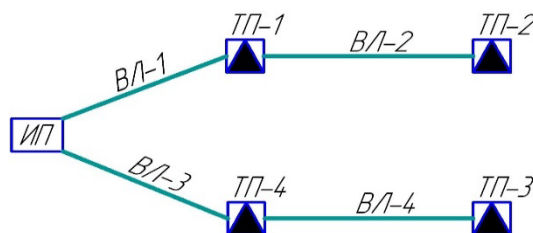


Рис. 3. Вариант 2

Нагрузка ВЛ-2 (длина 23 км): $P_{ВЛ-2}=506$ кВт, $Q_{ВЛ-2}=322$ квар, $S_{ВЛ-2}=600$ кВА.

Нагрузка ВЛ-1 (длина 24 км):

$$P_{ВЛ-1}=(506+831)\cdot 0,97=1297 \text{ кВт,}$$

$$Q_{ВЛ-1}=(322+562)\cdot 0,97=857 \text{ квар,}$$

$$S_{ВЛ-1}=1555 \text{ кВА.}$$

Нагрузка ВЛ-4 (длина 12 км): $P_{ВЛ-4}=375$ кВт, $Q_{ВЛ-4}=273$ квар, $S_{ВЛ-4}=464$ кВА.

Нагрузка ВЛ-3 (длина 24 км):

$$P_{ВЛ-3}=(430+375)\cdot 0,97=781 \text{ кВт,}$$

$$Q_{ВЛ-3}=(217+273)\cdot 0,97=475 \text{ квар,}$$

$$S_{ВЛ-3}=914 \text{ кВА.}$$

Для ВЛ напряжением 35 кВ принят провод марки АС-50, для ВЛ напряжением 110 кВ принят провод марки АС-70.

Подстанции двухтрансформаторные, на них установлены следующие трансформаторы.

Вариант 1:

ТП-1 – ТМТН-6300/110/35;

ТП-2 – ТМН (ТМ)-630/35;

ТП-3 – ТМН (ТМ)-630/35;

ТП-4 – ТМН (ТМ)-630/35.

Вариант 2:

ТП-1 – ТМН-2500/110;

ТП-2 – ТМН-2500/110;

ТП-3 – ТМН-2500/110;

ТП-4 – ТМН-2500/110.

2.4. Методические указания по выполнению задания

Приведенные к году расчетные затраты по каждому варианту схемы электроснабжения потребителя сельскохозяйственного назначения рассчитываются по выражению:

$$З = E \cdot K + И,$$

где E – коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,125 из расчета срока окупаемости 8 лет; K – капиталовложения на строительство схемы

электроснабжения, которые принимаются по укрупненным ценам [7]; И – издержки на эксплуатацию сети.

Издержки определяются на основании следующих составляющих:

$$И = И_a + И_o + И_{пот} ,$$

где $И_a$ – издержки на амортизационные отчисления, принимаются для ВЛ в количестве 2,4 % от капиталовложений, а для подстанций – 6,4 %; $И_o$ – издержки на обслуживание (заработную плату эксплуатационного персонала и ремонт – для указанных вариантов схем принять их приблизительно одинаковыми, поэтому для сравнения вариантов по расчетным затратам их не учитывать); $И_{пот}$ – стоимость потерь электроэнергии в элементах схемы за год.

Потери электроэнергии за год в элементах электрических сетей рассчитать по методике, рассмотренной в п. 2.2 при $T_M = 5000$ ч., а стоимость потерь электроэнергии оценить с использованием тарифа на электроэнергию для сельскохозяйственных районов.

По результатам расчетов сделать вывод, какой вариант схемы целесообразен для реализации.

3. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

3 семестр

3.1. Задание на расчетно-графическую работу

В расчетно-графической работе необходимо выполнить расчет электрических нагрузок мебельного цеха и разработать для него подстанцию, совместно с нагрузкой жилищного сектора, как потребителей 3-ей категории по надежности электроснабжения. Цех состоит из двух производственных участков, на которых установлено штатное промышленное оборудование. Режим работы цеха – односменный.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ

По номеру варианта из табл. 4 используются сведения для компоновки цеха. План компоновки цеха представлен на рис. 4.

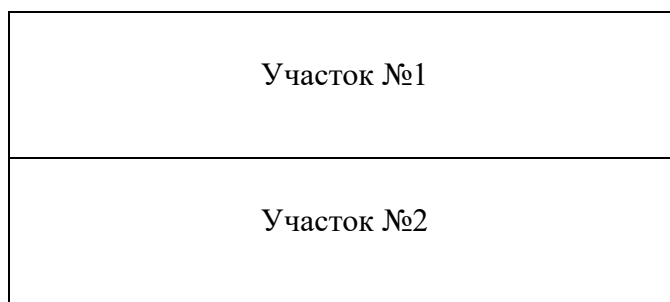


Рис. 4. Схема компоновки цеха

Наименование электроприемников и их номинальные мощности для производственных участков приведены в табл. 5 в соответствии с номерами, указанными

на планах участков (рис. 5 и рис. 6). Для всех участков имеется четыре варианта номинальных мощностей электроприемников. В этой же таблице указаны коэффициенты использования электроприемников за наиболее загруженную смену ($K_{и}$) и коэффициент мощности ($\cos\phi$).

Таблица 4 – Варианты

№	Номер участка		Жилищно-коммунальная нагрузка ТП	
	1	2	P, кВт	Q, квар
1	МДУ-1	ДУ-1	65	49
2	МДУ-1	ДУ-2	75	52
3	МДУ-1	ДУ-3	71	45
4	МДУ-1	ДУ-4	66	35
5	МДУ-2	ДУ-1	89	69
6	МДУ-2	ДУ-2	61	40
7	МДУ-2	ДУ-3	71	51
8	МДУ-2	ДУ-4	78	55
9	МДУ-3	ДУ-1	68	30
10	МДУ-3	ДУ-2	81	38
11	МДУ-3	ДУ-3	85	60
12	МДУ-3	ДУ-4	99	69
13	МДУ-4	ДУ-1	76	53
14	МДУ-4	ДУ-2	90	63
15	МДУ-4	ДУ-3	74	49
16	МДУ-4	ДУ-4	73	46

Таблица 5 – Списки электроприемников участков

№	Наименование	Номинальная мощность, кВт				$K_{и}$	$\cos\phi$
		1	2	3	4		
МДУ. Модельный участок (рис. 1)							
1	Вертикально-сверлильный станок	4	5,5	5,5	4	0,13	0,7
2	Точильный станок	2,2	3	4	3	0,1	0,7
3	Фуговальный станок	3	4	2,2	5,5	0,13	0,7
4	Ленточнопильный станок	5,5	4	7,5	4	0,13	0,7
5	Строгальный станок	22	17	30	22	0,13	0,7
6	Вентиляционная установка	30	22	22	17	0,9	0,65
7	Модельный фрезерный станок	2,2	3	4	2,2	0,12	0,7
8	Отрезной станок	7,5	-	10	7,5	0,12	0,65
9	Одностоечный карусельный станок	34	35	27	25	0,12	0,7
10	Консольно-фрезерный станок	7,5	10	10	7,5	0,12	0,7
11	Отрезной ножовочный станок	1,5	2,2	-	-	0,1	0,65

12	Рейсмусовый станок	5,5	4	3	2,2	0,12	0,7
13	Вентилятор	7,5	10	13	7,5	0,9	0,65
14	Продольно-строгальный станок	40	30	40	22	0,12	0,7
15	Кран-балка, ПВ=25%	8,8	7,3	5,3	4,5	0,05	0,65
ДУ. Деревообрабатывающий участок (рис. 2)							
1	Циркулярная пила	2,2	3	4	5	0,12	0,7
2	Модельный фрезерный станок	4	3	3	2,2	0,12	0,7
3	Шпунтовой станок	7,5	5,5	4	3	0,12	0,7
4	Печь диэлектрического нагрева	20	30	40	20	0,7	0,7
5	Вентилятор	22	30	17	13	0,9	0,65
6	Поперечно-строгальный станок	7,5	10	10	7,5	0,12	0,7
7	Продольно-строгальный станок	45	47	35	34	0,12	0,7
8	Точильный станок	3	4	2,2	2,2	0,12	0,7
9	Круглопильный станок	7,5	10	7,5	5,5	0,1	0,7
10	Сверлильный станок	5,5	7,5	4	3	0,1	0,65
11	Циркулярная торцовка	7,5	10	5,5	4	0,12	0,7
12	Кран-балка, ПВ=40%	8,8	7,3	5,6	7,6	0,05	0,65

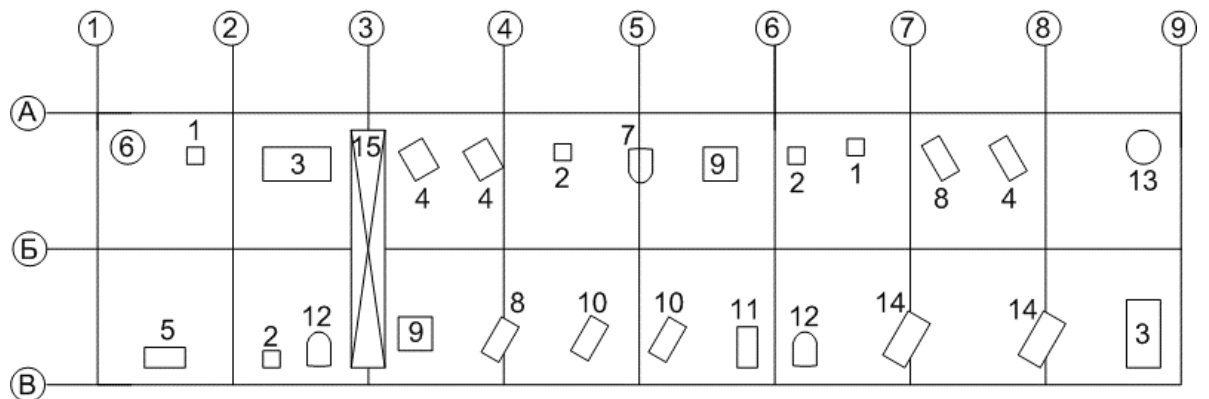


Рис. 5. Модельный участок (МДУ)

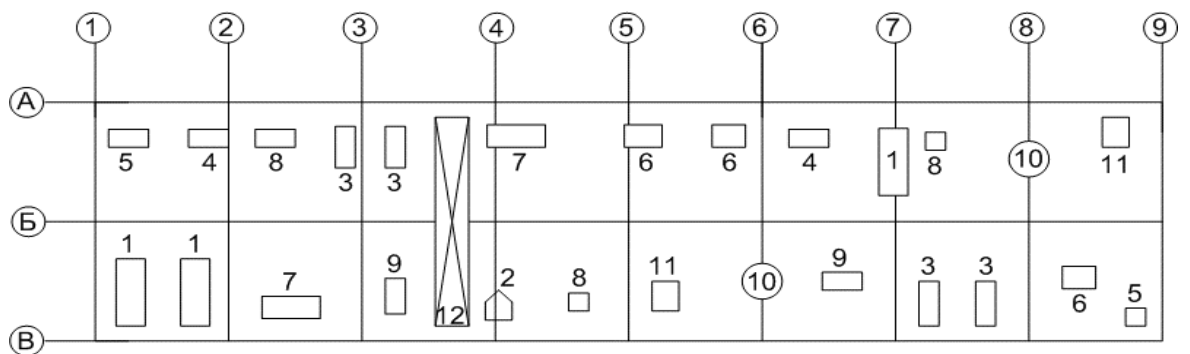


Рис. 6. Деревообрабатывающий участок (ДУ)

3.2. Методические указания по выполнению РГР

Исходные данные по электроприемникам цеха, состоящего из двух участков, целесообразно привести в табличной форме (табл. 6), сделав при этом двухпозиционную нумерацию (номер участка/номер электроприемника на участке).

Таблица 6 – Параметры электроприемников

Номера ЭП	n	P_H , кВт	ПВ, %	$K_{И}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_y , кВт	Q_y , квар
1.1								
1.2								
...								
2.1								
2.2								
...								

Количество одинаковых электроприемников определяется по плану участка. Значения коэффициентов мощности ($\cos\varphi$) и коэффициентов использования ($K_{И}$) принимаются по табл. 5.

Все электроприемники приводятся по мощности к длительному режиму работы путем расчета установленной мощности. Активная установленная мощность электроприемника с учетом продолжительности включения (ПВ) рассчитывается как

$$P_y = P_H \sqrt{\text{ПВ}},$$

где ПВ – продолжительность включения в о.е. (по умолчанию значение ПВ=100%).

Реактивная установленная мощность определяется по выражению

$$Q_y = P_y \operatorname{tg}\varphi.$$

Расчет электрической нагрузки производится методом упорядоченных диаграмм. При этом все электроприемники делятся на две группы по коэффициенту использования ($K_{И} \geq 0,6$ и $K_{И} < 0,6$).

Электрическая нагрузка для электроприемников с коэффициентом использования $K_{И} \geq 0,6$ рассчитывается в следующей последовательности:

- для одинаковых электроприемников количества m_i рассчитываются среднесменные мощности

$$P_{cmi} = K_{Иi} \cdot P_{yi} \cdot m_i, \quad Q_{cmi} = K_{Иi} \cdot Q_{yi} \cdot m_i;$$

- по группе рассчитываются суммарные среднесменные мощности

$$P_{cm} = \sum_{i=1}^n P_{cmi}, \quad Q_{cm} = \sum_{i=1}^n Q_{cmi};$$

- определяются расчетные нагрузки

$$P_p = P_{cm}, \quad Q_p = Q_{cm}.$$

Электрическая нагрузка для электроприемников с $K_{И} < 0,6$ рассчитывается в следующей последовательности:

- для одинаковых электроприемников количества m_i рассчитываются среднесменные мощности

$$P_{cmi} = K_{Иi} \cdot P_{yi} \cdot m_i, \quad Q_{cmi} = K_{Иi} \cdot Q_{yi} \cdot m_i;$$

- по группе рассчитываются суммарные среднесменные мощности

$$P_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см} i}, \quad Q_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см} i};$$

- по группе определяется суммарная установленная мощность

$$P_{\text{у}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{у} i};$$

- рассчитывается средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{\text{И гр}} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{у}}};$$

- определяется эффективное число электроприемников

$$n_{\text{э}} = \frac{P_{\text{у}}^2}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot P_{\text{у} i}^2};$$

- по табл. 7 оценивается значение коэффициента максимума $K_{\text{м}}$;

- определяются расчетные нагрузки по выражениям

$$P_{\text{р}} = K_{\text{м}} P_{\text{см}}, \quad Q_{\text{р}} = \begin{cases} 1,1 Q_{\text{см}} & \text{при } n_{\text{э}} \leq 10; \\ Q_{\text{см}} & \text{при } n_{\text{э}} > 10. \end{cases}$$

Итоговая расчетная нагрузка цеха определяется суммированием расчетных нагрузок групп с $K_{\text{и}} \geq 0,6$ и $K_{\text{и}} < 0,6$.

К полученным значениям активной и реактивной мощности прибавляются соответствующие значения сторонней нагрузки и определяется расчетная нагрузка по подстанции.

Таблица 7 – Значения коэффициента максимума

$n_{\text{э}}$	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Расчет электрических нагрузок удобно производить в табличной форме (табл. 8).

Таблица 8 – Расчет электрических нагрузок

Номера ЭП	n, шт	P_u , кВт	Q_u , квар	$K_{и}$	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$n_э$, шт	K_M	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА

К полученной силовой нагрузке цеха прибавить нагрузку освещения:

$$P_0 = 10 \text{ кВт}; Q_0 = 4 \text{ квар.}$$

Для выбора элементов подстанции необходимо просуммировать расчетные нагрузки цеха и жилищно-бытовой. При этом необходимо учесть, что период максимума у цеха – дневной, а у жилищно-коммунальной – вечерний. Коэффициенты участия для: цеха – $K_B = 0,3$; для жилищно- коммунальной – $K_D = 0,4$.

Вопросы для защиты РГР

1. Что такое электрическая нагрузка?
2. В чем заключается понятие расчетной нагрузки?
3. Перечислите методы оценки расчетной нагрузки и дайте их краткую характеристику.
4. Представление электрической нагрузки графиком, его числовые характеристики.
5. В чем особенность расчета электрических нагрузок для сельскохозяйственных электрических сетей?

4 семестр

3.3. Задание на расчетно-графическую работу

Для последовательно соединенных элементов электрической сети (алюминиевый кабель 10 кВ сечением 16 мм² длины 1 км, а также трансформатора 10/0,4 кВ) исследовать процесс нагрева кабеля и трансформатора при изменяющейся во времени нагрузке и определить их расчетные нагрузки, Построить графики нагрузки с нанесением на них графика изменения температур перегрева кабеля и трансформатора.

Графики нагрузки в процентах от мощности трансформатора заданы в табл. 9, а в табл. 10 приведены технические характеристики трансформаторов. Номера вариантов указаны в табл. 11.

Постоянная времени нагрева (T_0) и длительно допустимая температура ($v_{дд}$) равны:

- для кабеля – $T_0 = 15$ мин, $v_{дд} = 45$ °С;
- для трансформатора – $T_0 = 1,5$ ч., $v_{дд} = 55$ °С.

Таблица 9 – Типовые графики электрических нагрузок

Номер часа	Мощность, %				
	График 1	График 2	График 3	График 4	График 5
1-2	20	20	10	10	20
3-4	20	30	20	10	20
5-6	25	45	20	40	30
7-8	60	50	30	50	40
9	65	60	50	60	60
10	120	90	50	70	120
11	80	60	60	120	70
12	80	60	120	90	70
13	70	120	90	85	80
14	80	85	80	70	75
15-16	95	80	60	90	70
17-18	70	80	80	80	80
19-20	50	50	60	60	50
21-22	40	20	50	30	30
23-24	30	20	30	20	20

Таблица 10 – Технические характеристики трансформаторов

Тип	U _{ном} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	U _к , %	I _х , %
ТМ-160/10	10/0,4	0,41	2,6	4,5	1,4
ТМ-250/10	10/0,4	0,58	3,7	4,5	1,2
ТМ-400/10	10/0,4	0,82	5,5	4,5	1,0

Таблица 11 – Номера вариантов

№ вар.	Тр-р	№ гр.	№ вар.	Тр-р	№ гр.	№ вар.	Тр-р	№ гр.
1	ТМ-160	1	6	ТМ-250	1	11	ТМ-400	1
2	ТМ-160	2	7	ТМ-250	2	12	ТМ-400	2
3	ТМ-160	3	8	ТМ-250	3	13	ТМ-400	3
4	ТМ-160	4	9	ТМ-250	4	14	ТМ-400	4
5	ТМ-160	5	10	ТМ-250	5	15	ТМ-400	5

3.4. Методические указания по выполнению РГР

Зависимость перегрева элемента электрической сети от времени представляется уравнением

$$v(t) = v_{уст} - (v_{уст} - v_0) e^{-\frac{t}{T_0}},$$

где v_0 и $v_{уст}$ – начальное и установившееся значения температуры перегрева, t – время.

Кривая указанной зависимости для простейшего одноступенчатого графика тока приведена на рис. 7.

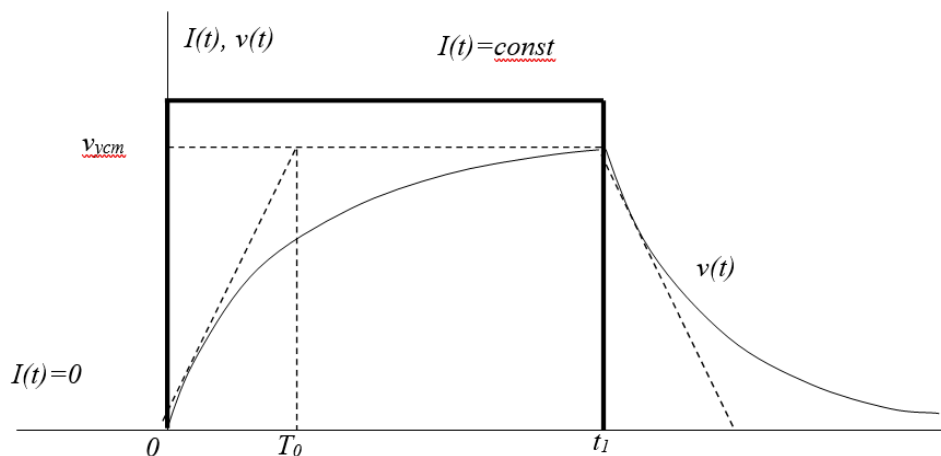


Рис. 7. График перегрева

При $t \leq 0$, $I(t) = 0$, $v(t) = 0$. При $0 \leq t \leq t_1$ по кабелю протекает ток $I(t) = \text{const}$ и происходит нагрев кабеля от $v(t) = 0$ до $v_{уст}$ по экспоненте (3.5). Величина T_0 характеризует время нагрева кабеля от любой исходной температуры до $v_{уст}$ при условии отсутствия теплоотдачи с поверхности кабеля в окружающую среду. Величина $v_{уст}$ – температура перегрева, при достижении которой наступает тепловое равновесие: количество тепла, выделяемого в кабеле при протекании по нему тока равно количеству тепла, отдаваемого с поверхности кабеля в окружающую среду.

При $t \geq t_1$ ток в кабеле отключен, кабель охлаждается, температура перегрева уменьшается от $v_{уст}$ до нуля с той же постоянной времени T_0 . Только в этом случае T_0 – время, в течение которого температура кабеля уменьшается до температуры окружающей среды при условии постоянства теплоотвода с поверхности кабеля, равного теплоотводу при $v_{уст}$.

Установившееся значение температуры перегрева ($^{\circ}\text{C}$) для кабеля определяется по выражению

$$v_{уст} = \frac{3I^2 R_0}{A_0},$$

где R_0 – сопротивление кабеля, A_0 – теплоотдача тепла с поверхности в окружающую среду.

Для трансформатора нагрев определяется потерями в трансформаторе, которые состоят из потерь холостого хода и потерь короткого замыкания, поэтому установившееся значение перегрева определится по выражению

$$v_{уст} = \frac{\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} K_3^2}{A_0},$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора.

Значение теплоотдачи определяется исходя из длительно допустимой температуры элемента:

- для кабеля $A_0 = \frac{3I^2 R_0}{v_{дд}}$;
- для трансформатора $A_0 = \frac{\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз}}{v_{дд}}$.

Расчет необходимо представить в виде таблица 12.

Таблица 11 – результаты расчета

№ часа	S, кВА	I, А	Нагрев кабеля			Нагрев трансформатора		
			$v_{уст}, ^\circ\text{C}$	$v_0, ^\circ\text{C}$	$v(t), ^\circ\text{C}$	$v_{уст}, ^\circ\text{C}$	$v(t), ^\circ\text{C}$	$v_0, ^\circ\text{C}$
1-2								
3-4								
...								
23-24								

Представим себе, что каким-либо способом получен график температуры перегрева $v(t)$ для заданного графика тока $I(t)$. На этом графике максимальное значение v_{max} может не совпадает по времени с максимальным значением тока. Максимальный ток протекает короткое время и не вызывает из-за инерционности процесса нагрева максимального перегрева. Подставив значение $v_{уст}=v_{max}$ в выражение для установившегося процесса перегрева найдем расчетный ток I_p :

$$I_p = \sqrt{\frac{v_{max} A}{3R_0}}.$$

Итак, расчетный ток – это такое эквивалентное неизменное во времени значение тока, которое вызывает установившийся перегрев проводника, равный максимальному перегреву при изменчивом графике тока $I(t)$.

В действительности получить график $v(t)$ сложно. Поэтому для нахождения I_p используют, так называемый, принцип максимума средней нагрузки, который заключается в том, что при оптимальном значении $\Theta=3T_0$ максимальное значение графика $I_\Theta(t)$ равно расчетной нагрузке $I_p = I_{\Theta_{max}}$, т.е. оптимальным для Θ является такой интервал времени, когда перегрев проводника в конце этого интервала не зависит от перегрева в начале, а целиком определяется энергией на интервале Θ .

На практике при построении суточных графиков электрической нагрузки во многих случаях принимают $\Theta=30$ мин, что соответствует $T_0=10$ минут, характерному для проводов и кабелей сечением 10...25 мм², являющихся наиболее массовыми в сетях напряжением до 1000 В.

Вопросы для защиты РГР

1. Что такое принцип максимума средней нагрузки?
2. В чем заключается физический смысл постоянной времени нагрева элемента электрической сети?
3. Какие величины электрической нагрузки являются расчетными для проводников и трансформаторов?
4. Какие конструктивные параметры элементов электрических сетей влияют на величину перегрева?
5. Что является источником нагрева линии электропередачи?
6. Что является источником нагрева трансформатора?

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЕТА

1. Особенность электроснабжения сельскохозяйственных районов.
2. Как оцениваются расчетные нагрузки населенных пунктов с/х районов?
3. В чем физический смысл активной электрической энергии?
4. Какой физический смысл реактивной электрической энергии?
5. Как оценивается полная электрическая мощность и каков её физический смысл?
6. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
7. Каков принцип оценки мощности трансформаторов?
8. Привести перечень паспортных параметров трансформаторов и пояснить их физический смысл.
9. Какова конструктивная реализация трансформаторных подстанций?
10. Перечислить критерии оценки сечения проводников линий электропередачи, пояснить их применение.
11. Какова конструктивная реализация линий электропередачи?
12. Каково функциональное назначение электрических аппаратов распределительных устройств (разъединителей, рубильников, выключателей нагрузки, предохранителей, выключателей, автоматов)?
13. Перечислить критерии выбора электрических аппаратов, пояснить их применение.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА

1. Что такое система электроснабжения, ее структурная схема.
2. Центры питания СЭС (ГПП, ЦРП), их схемы и конструктивное исполнение.
3. Высоковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
4. Трансформаторные подстанции СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
5. Низковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
6. Распределительные пункты ВВРС и НВРС СЭС, их назначение, схемы и конструктивное исполнение.
7. Понятие расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка как эквивалентная по нагреву.
8. Оценка расчетной нагрузки по методу коэффициента одновременности.
9. Метод упорядоченных диаграмм.
10. Графики электрических нагрузок, их числовые характеристики.
11. Оценка потерь мощности и электроэнергии в ЛЭП.
12. Оценка потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах.
13. Оценка потерь напряжения в электрической сети СЭС.
14. Выбор и проверка электрических аппаратов.
15. Выбор и проверка проводников линий электропередачи.
16. Выбор количества и мощности трансформаторов ТП.
17. Свойства электроэнергии, характеризующие её качество?
20. Отклонения напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления).

21. Колебания напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути уменьшения).

22. Высшие гармоники напряжений в СЭС (нормирование, причины появления, пути устранения).

23. Несимметрия трехфазных напряжений в СЭС в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути устранения).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Системы электроснабжения: учеб./ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко.* – Ростов-н/Д: Феникс, 2011.
2. *Князевский Б.А.* Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин– М.: Высш. Шк., 1986.
3. *Ристхейн Э.М.* Электроснабжение промышленных установок: учеб.для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. *Правила устройства электроустановок/ М-во энергетики РФ.* – 7-е изд – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
5. *Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др].* – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. *Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.].* – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. **УКРУПНЕННЫЕ СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35-750 КВ**
8. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.1: Электроснабжение / под общ.ред. А.А.Федорова.* – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.2: Электрооборудование/ под общ.ред. А.А.Федорова.* – М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. *Электротехнический справочник: в 4 т. Т.3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под ред. В.Г.Герасимова [и др.].* – 9-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
11. *Электроснабжение сельского хозяйства / И.А.Будзко, Т.Б.Лещинская, В.И.Сукманов.* – М.: Колос, 2000.
12. *Фролов Ю.М., Шелякин В.П.* Основы электроснабжения: учебное пособие. ЭБС «Лань», 2012.