

## Спецификация для заключительного (очного) этапа

### Олимпиады «Я – профессионал»

Элемент спецификации	Комментарий к заполнению
Название направления	Электроэнергетика
Уровень подготовки	Бакалавриат
Описание целевой аудитории	Данное задание подготовлено в рамках олимпиады «Я – профессионал» и предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по инженерным специальностям с целью оценки и развития их профессиональных компетенций по профилю «Электроэнергетика».
Максимальное количество баллов за задание	100 баллов
Время на выполнение	180 минут
Список ресурсов для самостоятельной подготовки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003</li> <li>2. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для ВУЗов / Под общей ред. В.П. Ларионова - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.</li> <li>3. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для вузов / И.М. Богатенко, Г.М. Иманов, В.Е. Кизеветтер и др. / Под ред. Г.С. Кучинского. – СПб: изд. ПЭИПК, 1998. – 700 с.</li> <li>4. Правила технической эксплуатации электрических станций. - Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.</li> <li>5. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. - М. :Стандартинформ, 2009.</li> <li>6. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М., "Энергия", 1973.</li> <li>7. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б. И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005.</li> <li>8. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: учеб. пособие для студентов электроэнергетических специальностей вузов. – Изд-во. 3-е, испр. и доп. – СПб, ООО «Синтез Бук», 2011. – 288 с.: илл.</li> <li>9. Костин В.Н. Электроэнергетические системы и сети: Учебное пособие. – СПб.: Троицкий мост, 2015. – 304 с.: ил.</li> </ol>
Формат состязаний. Требования к содержанию и оформлению заданий.	<p>Формат состязаний: письменный</p> <p>Каждый участник получает бумажный бланк с условиями задач с пространством для решения и ответов, а также бланки черновиков. Обязательна запись всех этапов решения: порядок и верность этапов решения также будет оцениваться.</p>

Дополнительная информация/инструкции	Возможно применение научных калькуляторов в виде автономного (не в составе гаджета) устройства.
Краткое описание структуры задания и его основные характеристики. Система оценивания заданий.	<p>Задание состоит из шести задач. 4 задачи при верном и полном решении оцениваются 15 баллами 2 задачи при верном и полном решении оцениваются 20 баллами Каждое задание требует написания развернутого решения и получения численных ответов.</p> <p><b>Задание Б1</b> требует знания стандартных расчетных формул для параметров воздушных линий</p> <p><b>Задание Б2</b> предполагает знание принципов выбора и расчетных формул для оценки параметров силового кабеля при проектировании систем электроснабжения и электроэнергетических объектов</p> <p><b>Задание Б3</b> требует знания связей и физической природы полной активной и реактивной мощностей в цепи переменного тока</p> <p><b>Задание Б4</b> требует знания устройства и основных принципов работы делителей напряжения для измерения импульсов высокого напряжения с помощью осциллографа, знание физической природы погрешностей работы делителей в условиях импульсных измерений</p> <p><b>Задание Б5</b> требует знания свойств индуктивных, емкостных и активных компонентов и их влияния на соотношения напряжений и токов в электрических цепях</p> <p><b>Задание Б6</b> требует знания раздела теории длинных линий электропередачи в части угловых характеристик мощности</p>
Информация об элементах практикоориентированности в заданиях (участие работодателей в составлении заданий)	<p>Задания носят прикладной характер, в рамках которого оцениваются знания и навыки, необходимые в промышленной отрасли «Электроэнергетика». Вместе с тем задания предполагают уверенные знания основных фундаментальных закономерностей, относящихся к теории электрических цепей с распределенными и сосредоточенными параметрами.</p> <p><b>Задача Б2</b> основана непосредственно на практике проектирования электрических сетей</p>

Критерии оценивания	<p><b><u>Задачи за 15 баллов:</u></b> твердое знание основных закономерностей, фактов и расчетных формул при описании режимов и выбора основных параметров различных элементов электроэнергетического оборудования.</p> <p><b><u>Задачи за 20 баллов:</u></b> связаны с решением части какой-либо инженерной задачи повышенной сложности, либо решение аналитической проблемы повышенной сложности, требующей творческого применения теоретических знаний. При частичном решении задачи автору засчитывается пропорциональное части правильного выполненного решения уменьшенное число баллов.</p> <p>В качестве частичного решения признается (в порядке возрастания балла):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1). Правильный выбор концепции и хода решения.</li> <li>2). Правильный выбор расчетных формул</li> <li>3) Исчерпывающая реализация предложенного хода решения</li> <li>4) Приемлемая для практического использования результата точность вычислений.</li> </ol> <p><b><u>Для задач с максимальной оценкой 15 баллов</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1). Правильный выбор концепции и хода решения – 3 балла</li> <li>2). Правильный выбор расчетных формул – 5 баллов</li> <li>3) Исчерпывающая реализация предложенного хода решения – 5 баллов</li> <li>4) Приемлемая для практического использования результата точность вычислений – 2 балла</li> </ol> <p>Всего – 15 баллов</p> <p><b><u>Для задач с максимальной оценкой 20 баллов</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1). Правильный выбор концепции и хода решения – 3 балла</li> <li>2). Правильный выбор расчетных формул – 5 баллов</li> <li>3) Исчерпывающая реализация предложенного хода решения – 8 баллов</li> <li>4) Приемлемая для практического использования результата точность вычислений – 4 балла</li> </ol> <p>Всего – 20 баллов</p>
Наличие подробного примера решений демоверсии заданий	Да

**Демонстрация заданий (с решением) заключительного этапа Олимпиады «Я – профессионал»  
по направлению «Электроэнергетика»**

**Дорогие участники!**

Вашему вниманию предлагаются задания заключительного (очного) этапа Олимпиады «Я - профессионал» по направлению «Электроэнергетика».

**Желаем удачи!**

**Задача Б1 15 баллов**

Определите параметры одноцепной воздушной линии 110 кВ длиной 50 км с проводами марки АС 185/29, расположенными на  $\Pi$ -образных опорах с расстоянием между соседними фазами по горизонтали.  $d = 4$  м. Параметры провода АС 185/29 по каталожным данным:  $r_0 = 0,159$  Ом/км,  $d_{\text{пр}} = 18,8$  мм.

**Решение:**

$$r = r_0 \cdot L = 0,159 \cdot 50 = 7,95 \text{ Ом}$$

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg\left(\frac{2D_{\text{ср}}}{d_{\text{пр}}}\right) = 0,144 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8}}{18,8 \cdot 10^{-3}}\right) = 0,409 \text{ Ом/км}$$

$$x = x_0 \cdot L = 0,409 \cdot 50 = 20,45 \text{ Ом}$$

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2D_{\text{ср}}}{d_{\text{пр}}}\right)} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8}}{18,8 \cdot 10^{-3}}\right)} = 2,78 \text{ мкСм/км}$$

$$b = b_0 \cdot L = 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 1,39 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

**Задача Б2 20 баллов**

Выбрать силовой кабель для передачи мощности нагрузки  $P_{\text{нагр}} = 30$  МВт по шести линиям, отходящим от секции шин распределительного устройства 10 кВ подстанции,  $\cos \varphi = 0,8$ . Тепловой импульс тока короткого замыкания на секции шин  $B_k = 460 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ . Продолжительность использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}} = 4000$  часов. Кабель прокладывается в земле.

Справочные данные для трехжильного кабеля 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией с алюминиевыми жилами:

Значение функции  $C$  для проверки кабеля на термическую стойкость:  $C = 100 \frac{\text{А}\sqrt{\text{с}}}{\text{мм}^2}$ .

Экономическая плотность тока $J_э$ при $T_{\max}$ , ч/год		
до 3000	3000-5000	более 5000
1,5	1,4	1,3

Сечение, мм <sup>2</sup>	Длительно допустимый ток $I_{\text{доп.ном}}$ , А
95	205
120	240
150	275
185	310

Поправочный коэффициент $k$ на количество кабелей $n$ , проложенных рядом в земле	
$n$	$k$
1	1
2	0,9
3	0,85

### Решение:

- Выбор площади сечения кабеля по экономической плотности тока.  
Ток нормального режима в цепи линии:

$$I_{\text{норм Л}} = \frac{P_{\text{нагр}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{30 \text{ МВт}}{6\sqrt{3} \cdot 10 \text{ кВ} \cdot 0,8} = 361 \text{ А},$$

Экономическое сечение:  $S_э = I_{\text{норм}}/J_э = 361 \text{ А}/1,4 = 258 \text{ мм}^2$ .

Принимаем два трехжильных кабеля 10 кВ с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией, прокладываемые в земле, сечением 150 мм<sup>2</sup>. Длительно допустимый ток с учетом поправочного коэффициента на количество кабелей  $I_{\text{доп}} = k \cdot n \cdot I_{\text{доп.ном}} = 0,9 \cdot 2 \cdot 275 = 495 \text{ А}$ .

- Проверка кабеля по условию нагрева в продолжительном утяжеленном режиме работы (в случае отключения одной из линий и передачи всей мощности по линиям, оставшимся в работе):  
 $I_{\text{раб.макс}} = \frac{6}{6-1} \cdot I_{\text{норм Л}} = \frac{6}{6-1} \cdot 361 = 433,2 \text{ А}$ ,  $I_{\text{раб.макс}} < I_{\text{доп}}$ , условие выполняется.

- Проверка кабеля на термическую стойкость.

Минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости:

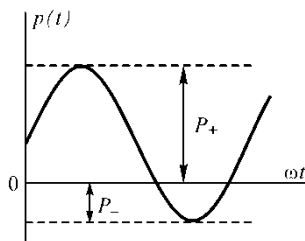
$$S_{\text{терм}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} = \frac{\sqrt{460 \cdot 10^6}}{100} = 214,5 \text{ мм}^2$$

Так как  $2 \cdot 150 \text{ мм}^2 > 214,5 \text{ мм}^2$ , то окончательно принимаем два трехжильных кабеля с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией, прокладываемые в земле сечением 150 мм<sup>2</sup>.

**Ответ:** два трехжильных кабеля, прокладываемые в земле сечением 150 мм<sup>2</sup>

### **Задача Б3 15 баллов**

На рис. изображен график изменения мгновенной мощности у потребителя электроэнергии.



Определите активную ( $P$ ), реактивную ( $Q$ ) и полную мощности ( $S$ ), а также коэффициент мощности  $\lambda$ , с которым работает потребитель.  $P_+ = 500$  ВА,  $P_- = 100$  ВА

**Ответ:**  $P = 200$  Вт,  $Q = 100\sqrt{3}$  Вар,  $S = 300$  ВА,  $\cos \varphi = 2/3$

### **Задача Б4 15 баллов**

Для регистрации грозового импульса с длительностью фронта 1 мкс используется резистивный делитель напряжения.

Сопротивление верхнего плеча  $R_1 = 10$  МОм, сопротивление нижнего плеча -  $R_2 = 50$  Ом. Паразитная емкость верхнего плеча  $C_1 = 0.1$  пФ.

Подберите величину емкости  $C_2$ , включаемой параллельно нижнему плечу, для компенсации искажения фронта регистрируемого импульса.

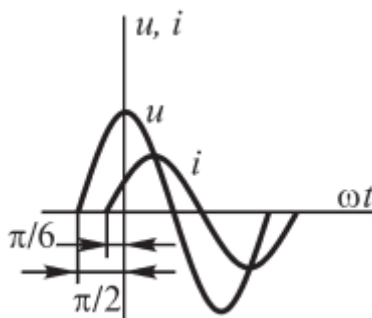
**Решение:**

Фронт импульса будет передаваться без искажений при совпадении постоянных времени верхнего и нижнего плеч, т.е.  $C_2 = C_1 \cdot R_1 / R_2$ .

**Ответ:** 20 нФ.

### Задача Б5 20 баллов

На рис. изображены кривые напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$  на входе двухполюсника. Амплитудные значения напряжения и тока равны соответственно 100 В и 5 А. Постройте возможные схемы замещения двухполюсника с минимально возможным числом элементов и рассчитайте параметры этих элементов для промышленной частоты.



#### Решение:

По графику начальная фаза напряжения равна  $\pi/2$ , а начальная фаза тока  $\pi/6$ , тогда разность фаз равна  $\varphi = \pi/2 - \pi/6 = \pi/3$ . Так как разность фаз положительная, но меньше  $\pi/2$ , то эквивалентная схема двухполюсника будет содержать два элемента: резистор и катушку индуктивности.

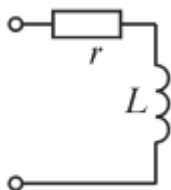
Полное сопротивление двухполюсника  $z = U_m/I_m = 100/5 = 20$  Ом.

Для построения последовательной схемы замещения двухполюсника рассчитаем эквивалентное комплексное сопротивление

$$Z = z e^{j\varphi} = z \cos \varphi + j z \sin \varphi = r + jx = 10 + j10\sqrt{3} \text{ Ом.}$$

Таким образом:

$$r = 10 \text{ Ом, } L = 10\sqrt{3}/(2\pi \cdot 50) \approx 55 \text{ мГн}$$

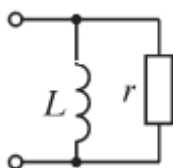


Для построения параллельной схемы замещения двухполюсника рассчитаем эквивалентную комплексную проводимость

$$Y = 1/Z = g - jb = 0,025(1 - j\sqrt{3}) \text{ Ом}^{-1}.$$

Таким образом:

$$g = 0,025 \text{ Ом}^{-1} (r = 40 \text{ Ом}), L = 40/(2\pi \cdot 50 \sqrt{3}) \approx 73,5 \text{ мГн}$$



### **Задача Б6 15 баллов**

Для участка сети с параметрами  $Z_{12} = R_{12} + jX_{12}$ , для которого  $R_{12} = X_{12}$ , найти отношение передаваемых реактивной и активной мощностей в начале участка ( $Q_1/P_1$ ) при условии равенства напряжений по концам участка ( $U_1 = U_2$ ).

#### **Решение:**

При условии пренебрежения поперечной составляющей падения напряжения:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_1 \cdot R_{12} + Q_1 \cdot X_{12}}{U_1}$$

Если падение напряжения равно нулю, то при равенстве активного и индуктивного сопротивлений  $(P_1 + Q_1) = 0$ , тогда  $Q_1 / P_1 = -1$ .