

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Цель курсового проекта по электроснабжению промышленных предприятий – подготовка студентов к выполнению дипломного проекта на завершающей стадии обучения в университете.

Задачи курсового проектирования: систематизация, расширение и закрепление теоретических знаний по специальным дисциплинам; приобретение и развитие навыков решения инженерных задач с использованием современных методов расчета, выполнения чертежей предлагаемых конструкций; овладение методикой выбора электрооборудования и схем электроснабжения с использованием директивных, инструктивных и справочных материалов, современных научных и инженерных разработок в области электроснабжения; умение оформлять техническую документацию в соответствии с требованиями ГОСТов.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. Объем текстовой части должен составлять 30–40 страниц печатного текста. Графическая часть состоит из двух чертежей формата А2.

Пояснительная записка должна содержать: титульный лист, задание на курсовое проектирование, реферат, оглавление, разделы проекта, список использованной литературы, приложения.

Курсовой проект должен включать следующие разделы:

- введение;
- краткую характеристику технологического процесса и требования к надежности электроснабжения;
- определение расчетных электрических нагрузок цехов и предприятия и построение картограммы нагрузок;

- выбор номинального напряжения линий электропередачи, их числа, сечения и марки проводов;
- выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия;
- выбор мощности трансформаторов ГПП (ПГВ) и места их установки;
- выбор схемы внутреннего электроснабжения;
- выбор схемы цеховой сети;
- выбор компенсирующих устройств;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей;
- расчёт защит и их согласование;
- выбор схемы автоматики, сигнализации и учёта.

Графическая часть должна включать:

- генеральный план предприятия с нанесением на него картограммы нагрузок и внутривародской сети высокого напряжения;
- однолинейную схему электроснабжения предприятия.

Приложение должно включать:

- план цеха с расстановкой оборудования и нанесением силовой сети низкого напряжения;
- однолинейную схему электроснабжения цеха.

Во введении необходимо сформулировать требования к системе электроснабжения и определить назначение курсового проекта с учетом современных тенденций развития электроснабжения.

В разделе «Краткая характеристика технологического процесса и требования к надежности электроснабжения» необходимо привести основные характеристики предприятия: наименование, виды выпускаемой продукции, особенности технологического процесса, число смен, последствия перерывов электроснабжения, категорию бесперебойного электроснабжения предприятия в целом, общую установленную мощность приемников с напряжением до 1000 В и выше; указать наличие источников загрязнения окружающей среды, особенности генплана (количество цехов, их расположение, возможность про-



кладки воздушных линий, место ГПП и т.д.), источники электроснабжения предприятия (их местоположение, располагаемая мощность, напряжение).

Характеристика проектируемого цеха должна содержать: общие сведения о цехе, виды выпускаемой продукции и данные по исходным материалам, наименование оборудования, тип подстанции и т.п.

Указания к выполнению других разделов курсового проекта приведены ниже.

### ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовой проект «Электроснабжение промышленных предприятий» включает в себя расчет электроснабжения завода и цеха. Исходными данными на проектирование электроснабжения завода являются: генеральный план предприятия с размещением цехов и подъездных путей, сведения об источниках питания, общая установленная мощность  $P_{\text{ном}}$  приемников электроэнергии, коэффициенты спроса  $K_c$  и мощности  $\cos\varphi$  по цехам предприятия. Сведения об этих величинах по каждому варианту задания и генеральные планы предприятий приводятся в приложении.

Номинальная мощность источников энергосистемы  $S_{\text{ном.с}} = 1000$  МВ·А, а ее относительное реактивное сопротивление на стороне напряжением 110 кВ  $x_c = 0,3$ . Стоимость электроэнергии  $C_3 = 0,75$  коп./(кВт·ч). Годовое число часов использования максимума активной нагрузки  $T_m$  и продолжительность работы в году  $T_r$  выбираются по справочнику в зависимости от рода предприятия и числа смен. Продолжительность суточного максимума нагрузки  $t_m = 1$  ч. Высоковольтные электродвигатели являются синхронными.

В задании не указана суммарная установленная мощность приемников цеха, ее после расстановки оборудования следует определить самостоятельно согласно варианту задания второй части курсового проекта.

Цех имеет три производственных отделения, например механическое, заготовительно-сварочное, кузнечно-термическое, а также склад готовой продукции и комнату мастеров. Трехфазными электроприемниками цеха являются асинхронные двигатели (приводы станков, прессов, кузнечных молотов, вентиляторов), электрические печи сопротивления. К однофазным приемникам электроэнергии относятся сварочные трансформаторы, электросварочные машины, светильники с люминесцентными и газоразрядными лампами ДРЛ. Асинхронные двигатели характеризуются номинальной активной мощностью  $P_{\text{ном}}$ , развиваемой ими на валу, а остальные приемники – мощностью, потребляемой из сети ( $P_{\text{ном}}$  или  $S_{\text{ном}}$ ). Кратность пускового тока всех асинхронных двигателей равна 5,5. Работа электроприемников характеризуется коэффициентом использования  $K_{\text{и}}$ , коэффициентом мощности  $\cos\varphi_{\text{ном}}$ , а также (для двигателей) КПД  $\eta_{\text{ном}}$ . Номинальное напряжение всех электроприемников равно 380 В.

Далее в табл. 1 и на рис. 1 показаны пример нагрузок и расположения цехов текстильного комбината.

Таблица 1

Показатели электропотребления подразделений текстильного комбината

№ по плану	Наименование подразделений	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$K_c$	$\cos\varphi$
1	Прядильный цех	1800	0,65	0,68
2	Ткацкий цех	2600	0,70	0,73
3	Красильный цех	640	0,72	0,73
4	Котельная	800	0,60	0,75
5	Цех	—	—	—
6	Насосная	450	0,80	0,80
7	Материальный склад	70	0,35	0,60
8	Столярный цех	260	0,65	0,75
9	Электроремонтный цех	190	0,70	0,72
10	Заводоуправление, СКБ	100	0,60	0,65
11	Столовая	280	0,60	0,70
12	Центральная лаборатория	270	0,70	0,73
13	Склад леса	30	0,60	0,68



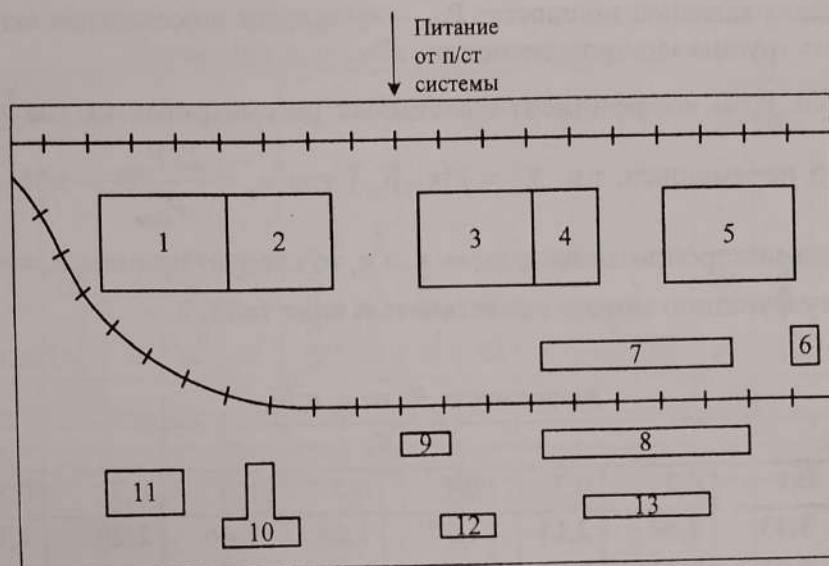


Рис. 1. Генплан комбината

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В курсовом проекте определение расчетных нагрузок в сетях низкого напряжения (НН) предусмотрено двумя методами:

- упорядоченных диаграмм (коэффициента использования и коэффициента максимума);
- коэффициента спроса.

### Метод упорядоченных диаграмм

По методу упорядоченных диаграмм в курсовом проекте рассчитываются нагрузки в цехе.

Расчетная мощность группы, состоящей из  $n$  электроприемников, определяется по формуле, кВт,

$$P_p = K_m P_c = K_m K_n P_{ном},$$

где  $K_m$  – групповой коэффициент максимума;  $P_c$  – средняя активная мощность группы электроприемников; кВт;  $K_n$  – групповой коэффициент ис-

пользования активной мощности;  $P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная активная мощность группы электроприемников, кВт.

При этом коэффициент максимума рассматривается как функция двух переменных, т.е.  $K_m = f(n_3, K_n)$ , где  $n_3 = \frac{2 \sum P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}}}$  – эффективное число электроприемников (если  $n_3 > n$ , то следует принять  $n_3 = n$ ).

Эту функцию можно представить в виде табл. 2.

Зависимость  $K_m$  от  $n_3$  и  $K_n$

Таблица 2

$n_3$	$K_n$							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,13
6	3,04	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10
7	2,88	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	2,72	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08
9	2,56	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06
30	1,62	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05
100	1,21	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02

В курсовом проекте по методу упорядоченных диаграмм определяются активная ( $P_p$ ), реактивная ( $Q_p$ ) и полная ( $S_p$ ) расчетные мощности электроприемников цеха.

Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные нагрузки электроприемников цеха

ру и электроприемники	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n$	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$K_{\text{и}}$	$\text{tg}\varphi / \cos\varphi$	$M = P_{\text{м}} / P_{\text{мин}}$	Средние нагрузки					Расчетные на- грузки			
							$P_{\text{с}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{с}}, \text{квар}$	$n_{\text{с}}$	$K_{\text{м.а}}$	$K_{\text{м.р}}$	$P_{\text{р}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}}, \text{квар}$	$S_{\text{р}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$I_{\text{р}}, \text{А}$
1															
...															
ИТО															
Всего на ши- нах НН															

### Метод коэффициента спроса

По методу коэффициента спроса в курсовом проекте рассчиты-  
ваются нагрузки по предприятию.

Этот метод применяется в проектной практике при большом  
числе электроприемников. В соответствии с этим методом допускает-  
ся определять мощности отдельных цехов на стороне НН по средним  
значениям коэффициента спроса, кВт:

$$P_{\text{рНН}} = K_{\text{с}} P_{\text{ном}},$$

где  $K_{\text{с}}$  – коэффициент спроса данной группы электроприемников;  $P_{\text{ном}}$  –  
суммарная номинальная активная мощность силовых электроприемников  
цеха, кВт.

Расчетная реактивная мощность при известной величине  $P_{\text{рНН}}$ , квар,

$$Q_{\text{рНН}} = \text{tg}\varphi P_{\text{рНН}},$$

где  $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий заданному  
 $\cos\varphi$ .

Полученные результаты сводим в табл. 4.



Расчетные нагрузки цехов комбината

Таблица 4

№ по плану	Наименование подразделения	$P_{ном.}$ , кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{р.}$ , кВт	$Q_{р.}$ , квар	$S_{р.}$ , кВт·А	$I_{р.}$ , А
1									
...									
Итого			—	—	—				

Расчетная активная мощность приемников освещения цеха также определяется по методу коэффициента спроса, кВт:

$$P_{р.о} = K_{с.о} P_{ном.о} K_{пр.а},$$

где  $K_{с.о}$  — коэффициент спроса приемников освещения;  $P_{ном.о}$  — суммарная номинальная мощность приемников освещения, кВт, определяемая по выражению

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_{ц};$$

$P_{уд.о}$  — удельная установленная мощность осветительных приемников (ламп) на 1 м<sup>2</sup> освещаемой площади цеха, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_{ц}$  — площадь пола цеха по генплану, м<sup>2</sup>;  $K_{пр.а}$  — коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре,  $K_{пр.а} = 1,12$ .

Газоразрядные лампы (люминесцентные, ДРЛ) используются на предприятии как основные источники света. Для них расчетная реактивная мощность определяется по выражению, квар,

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \operatorname{tg}\varphi_о,$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_о$  — коэффициент реактивной мощности электроприемников освещения.

В курсовом проекте выбирается тип источников света для цехов и территории предприятия. Выбор количества и схемы размещения ламп не требуется. Расчеты сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетная мощность приемников освещения

№ по плану	Наименование подразделения	$F_{ц}$ , м <sup>2</sup>	$P_{уд.о}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_{ном.о}$ , кВт	$K_{с.о}$	$\operatorname{tg}\varphi_о$	$P_{р.о}$ , кВт	$Q_{р.о}$ , квар
1								
...								
	Освещение территории предприятия							

На основании предыдущих расчетов составляем сводную таблицу расчетных нагрузок цехов предприятия (табл. 6).

Расчет

№ по плану	Наименование подразделения
1	
...	
	Освещение
	Итого в
	Потери в
	торах Г
	Итого в

Полная р  
пряжения цеха  
ческие аппарат

Расчетные

$Q_{ргтп}$ , квар, мо  
ГПП, определ  
всех цехов (ка  
и осветительн  
трансформатор  
максимумов  $K$

где  $K_{р.м}$  — коэфф  
групп приемник

Потери а  
распределител  
тельных расчет

Для выбо  
трансформатор  
на шинах высш



Таблица 6

Расчетные мощности электроприемников предприятия

№ по плану	Наименование подразделения	$P_{pнн}$ , кВт	$P_{p.o}$ , кВт	$Q_{pнн}$ , квар	$Q_{p.o}$ , квар	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВт	$S_p$ , кВт·А
1								
...								
	Освещение предприятия	—		—				
	<i>Итого</i> на стороне НН	—	—	—	—			
	Потери в трансформаторах ГПП	—	—	—	—			
	<i>Итого</i> на стороне ВН	—	—	—	—			

Полная расчетная мощность электроприемников низкого напряжения цеха, по которой выбирают шинопроводы, кабели, электрические аппараты,

$$S_{pнн} = \sqrt{(P_{pнн} + P_{p.o})^2 + (Q_{pнн} + Q_{p.o})^2}.$$

Расчетные полную  $S_{pгпп}$ , кВт·А, активную  $P_{pгпп}$ , кВт, и реактивную  $Q_{pгпп}$ , квар, мощности предприятия, отнесенные к шинам  $U = 6-10$  кВ ГПП, определяем по расчетным активным и реактивным нагрузкам всех цехов (как силовых до 1000 В и выше —  $P_{pнн}$ ,  $P_{pвн}$ ,  $Q_{pнн}$ ,  $Q_{pвн}$ , так и осветительных —  $P_{p.o}$  и  $Q_{p.o}$ ) с учетом потерь мощности в цеховых трансформаторах ( $\Delta P_{т.ц}$ ,  $\Delta Q_{т.ц}$ ) и коэффициента разновременности максимумов  $K_{p.м}$  силовых электроприемников:

$$S_{pгпп} = \sqrt{P_{pгпп}^2 + Q_{pгпп}^2};$$

$$P_{pгпп} = (\Sigma P_{pнн} + \Sigma P_{pвн}) K_{p.м} + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{т.ц};$$

$$Q_{pгпп} = (\Sigma Q_{pнн} + \Sigma Q_{pвн}) K_{p.м} + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{т.ц},$$

где  $K_{p.м}$  — коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп приемников.

Потери активной  $\Delta P_{л}$  и реактивной  $\Delta Q_{л}$  мощностей в кабелях распределительной сети высшего напряжения (РС ВН) в предварительных расчетах не учитываем ввиду их малости.

Для выбора линий питающей сети напряжением 35–110 кВ и трансформаторов ГПП необходимо определить расчетную мощность на шинах высшего напряжения 35–110 кВ ГПП.

Эта мощность отличается от мощности  $S_{\text{ргпп}}$  за счет потерь активной и реактивной мощностей в трансформаторах ГПП. Кроме этого, реактивная мощность на вводах трансформаторов ГПП к сборным шинам РУ 6–10 кВ не будет равна расчетной реактивной мощности предприятия  $Q_{\text{ргпп}}$ , а снизится до значения  $Q_{\text{з1}} = Q_{\text{ргпп}} - Q_{\text{бк}} - Q_{\text{рсд}}$ , где  $Q_{\text{з1}}$  – наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана в сеть предприятия энергосистемой в период максимума активной нагрузки. Согласно «Указаниям по компенсации реактивной мощности», значение  $Q_{\text{з1}}$  каждому предприятию задает энергосистема. В курсовом проекте это задание принимаем в виде, квар:

$$Q_{\text{з1}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{з1}} P_{\text{ргпп}},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{з1}}$  – экономически целесообразное значение коэффициента реактивной мощности на шинах 6–10 кВ РУ ГПП, соответствующее  $\cos \varphi_{\text{з1}}$ .

Так как на данном этапе трансформаторы ГПП еще не выбраны, то потери мощности  $\Delta P_{\text{тгпп}}$  (кВт) и  $\Delta Q_{\text{тгпп}}$  (квар) в них приближенно определяют по формулам

$$\Delta P_{\text{тгпп}} = 0,02 S_{\text{ргпп}},$$

$$\Delta Q_{\text{тгпп}} = 0,1 S_{\text{ргпп}},$$

где  $S_{\text{ргпп}} = \sqrt{P_{\text{ргпп}}^2 + Q_{\text{з1}}^2}$  – полная расчетная мощность, отнесенная к сборным шинам 6–10 кВ РУ ГПП с учетом компенсации реактивной мощности, кВ·А.

Тогда полная расчетная мощность на шинах высшего напряжения 35–110 кВ ГПП, кВ·А,

$$S_{\text{р.п}} = \sqrt{P_{\text{р.п}}^2 + Q_{\text{р.п}}^2} = \sqrt{(P_{\text{ргпп}} + \Delta P_{\text{тгпп}})^2 + (Q_{\text{ргпп}} + \Delta Q_{\text{тгпп}})^2},$$

где  $P_{\text{р.п}}$ ,  $Q_{\text{р.п}}$  – расчетные нагрузки предприятия на стороне ВН ГПП.

### ВЫБОР МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ГПП (ПГВ)

Для определения местоположения ГПП (ПГВ) на генплан предприятия наносится картограмма электрических нагрузок. Она представляет собой размещенные на генплане круги, площади которых в выбранном масштабе равны расчетным мощностям цехов, кВт:

$$P_{\text{pi}} = \pi R_i^2 m_p,$$

откуда ради

где  $P_{\text{pi}}$  – расчетная мощность, принимает

Для каждого имеет заштрихованную область максимальной нагрузки

Картограммой найти центр элек. дина. ЦЭН мож

где  $x_i$ ,  $y_i$  – координаты

Пример картограммы приведен на рис.

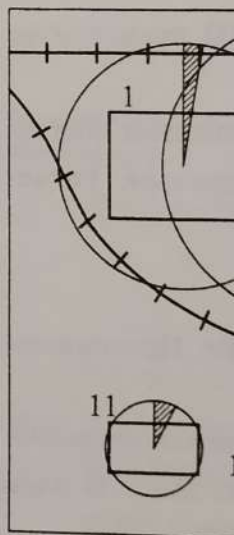


Рис. 2. Кар



откуда радиус окружности, мм,

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m_p}},$$

где  $P_{pi}$  – расчетная активная мощность  $i$ -го цеха, кВт;  $m_p$  – масштаб мощности, принимается исходя из удобства геометрического построения.

Для каждого цеха наносится своя окружность. Каждый круг имеет заштрихованный сектор, соответствующий по площади осветительной нагрузке.

Картограмма активных нагрузок цехов предприятия позволяет найти центр электрических нагрузок (ЦЭН) всего предприятия. Координаты ЦЭН можно определить по формулам

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} x_i}{\sum P_{pi}}; \quad y_0 = \frac{\sum P_{pi} y_i}{\sum P_{pi}},$$

где  $x_i, y_i$  – координаты центров нагрузок отдельных цехов, м.

Пример картограммы активных нагрузок цехов предприятия приведен на рис. 2.

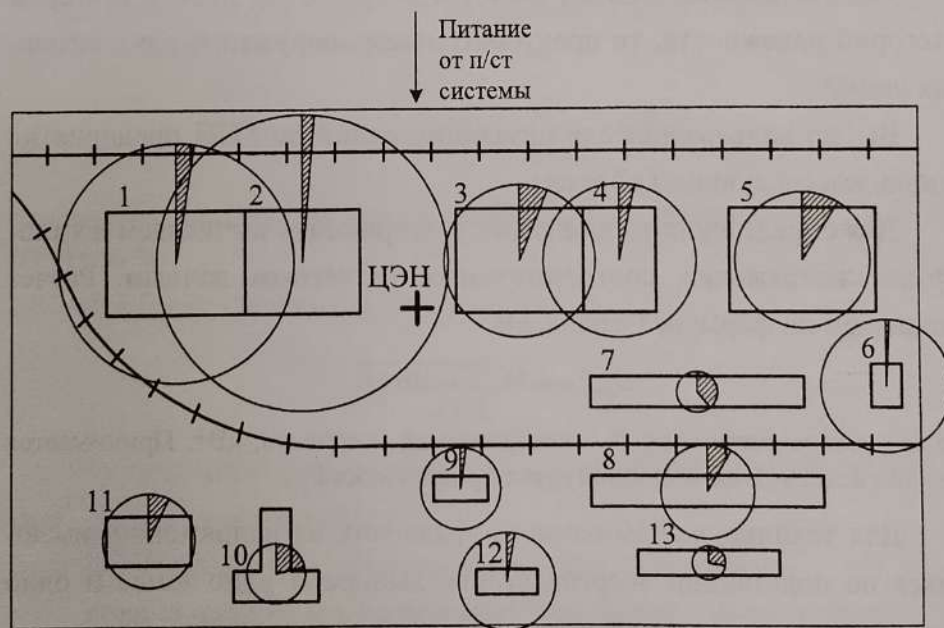


Рис. 2. Картограмма активных нагрузок цехов предприятия

Результаты расчета оформляем в виде табл. 7.

Выбор месторасположения ГПП

Таблица 7

№ по плану	Наименование подразделения	$P_p$ , кВт	$x$ , м	$y$ , м	$P_{px}$ , кВт·м	$P_{py}$ , кВт·м	$R_i$ , мм
1							
...							
Итого			—	—			—

### ВЫБОР НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СХЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При выполнении расчетов целесообразно к системе внешнего электроснабжения отнести трансформаторы, установленные на подстанции энергосистемы, а также питающие линии вместе с коммутационно-защитной аппаратурой, установленной в начале линии.

Так как на предприятии имеются потребители первой и второй категорий надежности, то предусматриваем сооружение двух питающих линий.

Выбор напряжений для питающих линий до ГПП предприятия выполняем следующим образом.

Для определения рационального напряжения вычисляем нестандартное напряжение, соответствующее расчетным данным. Расчет выполняем по формуле Стилла, кВ,

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \sqrt{L + 0,016P},$$

где  $L$  — длина линии, км;  $P$  — передаваемая мощность, кВт. Принимается равной расчетной активной нагрузке предприятия  $P_{p.n}$ .

Для технико-экономического сравнения из напряжений, имеющих на подстанции энергосистемы, выбираем одно выше и одно ниже  $U_{\text{рац}}$ .

Сначала определяем капитальные затраты. Они складываются из стоимости выключателей  $K_v$  вместе с их установкой в ОРУ



## Вариант 17

подстанции энергосистемы и стоимости воздушных линий (ВЛ)  $K_{\text{л}}$ , тыс. руб.:

$$K = K_{\text{в}} + K_{\text{л}},$$

где  $K_{\text{в}}$ ,  $K_{\text{л}}$  – капитальные затраты на выключатели и ВЛ.

В курсовом проекте выключатели, устанавливаемые на подстанции энергосистемы, выбираем по условиям продолжительного режима без проверки по условиям короткого замыкания (КЗ).

Предварительно площадь сечения проводов ВЛ  $U = 35\text{--}110$  кВ определяем по методу экономических интервалов [3]. Для этого определяем:

1) величину  $\sqrt{\sigma}$ , (кВт/руб.)<sup>1/2</sup>:

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{E_{\text{н}} + p_{\text{а}}}{\tau C_{\text{э}}}},$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности,  $E_{\text{н}} = 0,12$ ;  $p_{\text{а}}$  – коэффициент отчислений на амортизацию, о.е./год;  $\tau$  – время максимальных потерь, ч/год, для графиков нагрузок типовой формы величина  $\tau$  определяется по эмпирической формуле

$$\tau = \tau_{\text{г}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 8760,$$

$\tau_{\text{г}}$  – годовое число часов использования потерь мощности от реактивных нагрузок, ч;

2) максимальный ток линии, А,

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{р.п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 2I_{\text{р}};$$

3) экономическое сечение питающих линий по номограммам экономических интервалов [3].

Далее выбранные провода проверяем:

а) по условиям коронирования (для линий 110 кВ и выше). Для удовлетворения этого условия площадь сечения проводов должна быть не меньше минимальной для данного напряжения [3, табл. П 5.5];

б) по условиям нагрева в нормальном и послеаварийном режимах. Проверяем выполнение условий

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \text{ и } I_m \leq I_{\text{доп}}.$$

В годовые эксплуатационные расходы входят:

а) стоимость потерь электроэнергии в линиях, тыс. руб./год,

$$И_{\Delta W_{\text{л}}} = C_{\text{э}} \Delta W_{\text{л}},$$

где  $\Delta W_{\text{л}}$  – потери электроэнергии в линиях, тыс. кВт·ч/год,

$$\Delta W_{\text{л}} = n_{\text{л}} \Delta P_{\text{ном}} K_{\text{з}}^2 L \tau / 1000;$$

$n_{\text{л}}$  – число питающих линий;  $\Delta P_{\text{ном}}$  – потери мощности в линии при длительно допустимой токовой нагрузке, кВт/км [1, табл. П 4.2, П 4.4];  $K_{\text{з}}$  – коэффициент загрузки линии,  $K_{\text{з}} = I_p / I_{\text{доп}}$ ;

б) стоимость амортизационных отчислений на линии, тыс. руб./год,

$$И_{\text{а.л}} = p_{\text{а.л}} K_{\text{л}},$$

где  $p_{\text{а.л}}$  – норма амортизационных отчислений для воздушных линий [3, табл. П 5.27];

в) стоимость амортизационных отчислений на выключатели, тыс. руб./год,

$$И_{\text{а.в}} = p_{\text{а.в}} K_{\text{в}},$$

где  $p_{\text{а.в}}$  – норма амортизационных отчислений для силового оборудования [3, табл. П 5.27].

Стоимость расходов на обслуживание и ремонт оборудования не учитываем, так как эти составляющие изменяются в рассматриваемых вариантах незначительно.

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб./год,

$$И = И_{\Delta W_{\text{л}}} + И_{\text{а.л}} + И_{\text{а.в}}.$$

Приведенные затраты определяются по формуле, тыс. руб./год,

$$З = E_{\text{н}} K + И.$$

Полученные результаты по обоим вариантам заносим в табл. 8.



Таблица 8

Технико-экономическое сравнение вариантов напряжения питающих линий

Показатели	Вариант 1	Вариант 2
Тип выключателя		
Марка и сечение питающих линий, тип опоры		
$K_3$		
Капитальные затраты на выключатели $K_v$ , тыс. руб.		
Капитальные затраты на линии $K_l$ , тыс. руб.		
Суммарные капитальные затраты $K$ , тыс. руб.		
Потери электроэнергии $\Delta W_l$ , тыс. кВт·ч/год		
Стоимость потерь электроэнергии $I_{\Delta W_l}$ , тыс. руб./год		
Амортизационные отчисления на линии $I_l$ , тыс. руб./год		
Амортизационные отчисления на выключатели $I_v$ , тыс. руб./год		
Ежегодные эксплуатационные расходы $I$ , тыс. руб./год		
Приведенные затраты $Z$ , тыс. руб./год		

### ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГПП

Для потребителей 1-й и 2-й категорий принимают двухтрансформаторные подстанции. Однотрансформаторные подстанции используют, как правило, при нагрузках, допускающих длительный перерыв питания.

Выбор мощности трансформаторов осуществляем в следующем порядке.

Определяем коэффициент загрузки в нормальном режиме:

$$K_3 = \frac{S_c}{S_m} = \frac{T_m}{T_r}$$

По значениям  $K_3$  и  $T_m$  определяем коэффициент допустимой систематической перегрузки  $K_{д.п}$  в нормальном режиме.

Выбираем номинальную мощность трансформаторов, кВ·А:

$$S_{ном} = \frac{S_m}{2K_{д.п}},$$

где  $S_m = \sqrt{P_{р.п}^2 + Q_{31}^2}$  – расчетный получасовой максимум полной мощности, кВ·А.

Выбираем два варианта значений мощности трансформаторов  $S_{ном1}$  и  $S_{ном2}$ , ближайших к расчетному, и для каждого из них определяем:

– коэффициент загрузки в нормальном режиме в период максимума нагрузки:

$$\beta_{ном1} = \frac{S_m}{2S_{ном1}},$$

$$\beta_{ном2} = \frac{S_m}{2S_{ном2}};$$

– коэффициент загрузки в послеаварийном режиме в период максимума нагрузки с учетом возможного отключения электроприемников третьей категории:

$$\beta_{ав1} = \frac{S_m k_{(1+2)}}{S_{ном1}} = \frac{S_{м.ав}}{S_{ном1}},$$

$$\beta_{ав2} = \frac{S_m k_{(1+2)}}{S_{ном2}} = \frac{S_{м.ав}}{S_{ном2}},$$

где  $k_{(1+2)}$  – доля электроприемников первой и второй категорий в максимуме суммарной нагрузки,

$$k_{(1+2)} = \frac{S_{м(1+2)}}{S_m} = \frac{S_m - S_{м(3)}}{S_m}.$$

Данные намеченных трансформаторов приведены в табл. 9.



Таблица 9

Параметры выбираемых трансформаторов					
Тип трансформатора	Потери, кВт		$u_k, \%$	$I_x, \%$	Цена, тыс. руб.
	$P_x$	$P_k$			
Напряжение $U_1$ , кВ (вариант 1)					
(1)					
(2)					
Напряжение $U_2$ , кВ (вариант 2)					
(3)					
(4)					

Далее определяем приведенные затраты  $Z$  для всех вариантов. Для этого последовательно находим:

– капитальные затраты на приобретение и установку электрооборудования, тыс. руб.,

$$K = K_T + K_{pz} + K_{кз},$$

где  $K_T, K_{pz}, K_{кз}$  – капитальные затраты соответственно на трансформаторы [4, табл. 3.5, 3.6], разъединители [4, табл. 5.5], короткозамыкатели [4, табл. 5.6];

– эксплуатационные расходы, тыс. руб./год,

$$И = И_{\Delta W_T} + И_a,$$

где  $И_{\Delta W_T} = C_3 \Delta W_T$  – стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах (тыс. руб./год);  $\Delta W_T$  – годовые потери электроэнергии в трансформаторах, тыс. кВт·ч/год,

$$\Delta W_T = NP_x T_\Gamma + \frac{1}{N} P_k \frac{S_M^2}{S_{ном.Т}^2} \tau;$$

$N$  – количество трансформаторов;  $И_a$  – стоимость амортизационных отчислений на электрооборудование, тыс. руб./год,

$$И_a = p_a K;$$

$p_a$  – норма амортизационных отчислений для силового оборудования [3, табл. П 5.27];

– приведенные затраты, тыс. руб./год,

$$Z = E_n K + И.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 10.

Таблица 10  
Технико-экономическое сравнение вариантов трансформаторов ГПП

Показатели	Трансформатор			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Разъединитель				
Отделитель				
Короткозамыкатель				
Капитальные затраты на трансформаторы $K_T$ , тыс. руб.				
Капитальные затраты на разъединители $K_{рз}$ , тыс. руб.				
Капитальные затраты на отделители $K_{од}$ , тыс. руб.				
Капитальные затраты на короткозамыкатели $K_{кз}$ , тыс. руб.				
Капитальные затраты $K$ , тыс. руб.				
Потери электроэнергии, тыс. Вт·ч/год				
Стоимость потерь электроэнергии $I_{\Delta W_T}$ , тыс. руб./год				
Амортизационные отчисления $I_a$ , тыс. руб./год				
Эксплуатационные расходы $I$ , тыс. руб./год				
Приведенные затраты $Z$ , тыс. руб./год				

### ВЫБОР МОЩНОСТИ И ЧИСЛА ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ориентировочно выбор мощности трансформаторов может производиться по удельной плотности нагрузки,  $\text{kB} \cdot \text{A} / \text{m}^2$ :

$$\sigma_{уд} = S_c / F_{ц},$$

где  $S_c$  – полная расчетная нагрузка (среднее значение) цеха,  $\text{kB} \cdot \text{A}$ ,

$$S_c = K_3 S_p.$$



При этом полагаем, что электроприемники равномерно распределены по площади цеха.

В зависимости от полученных значений  $\sigma_{уд}$  принимаем экономически целесообразные значения номинальной мощности трансформаторов  $S_{ном}$ . Таким образом, для цехов с разными удельными плотностями нагрузки могут быть приняты разные номинальные мощности трансформаторов. Однако число типоразмеров трансформаторов, применяемых на предприятии, следует ограничить до 1–2, так как большое их разнообразие создает неудобство в эксплуатации и дополнительные трудности в резервировании и взаимозаменяемости. Поэтому выделяем цехи с большой плотностью нагрузки и для них выбираем трансформаторы большей мощности, чем для остальной части комбината. В этом случае близкорасположенные цехи с нагрузкой ниже 1000 кВт·А целесообразно подключать к общей ТП.

При выбранной единичной мощности *число цеховых трансформаторов* в целом по предприятию зависит от степени компенсации реактивной мощности в сетях напряжением ниже 1000 В и допустимых перегрузок в нормальном и послеаварийном режимах.

К сетям НН подключается большое число потребителей реактивной мощности (РМ). Источниками РМ в этих сетях являются синхронные двигатели и конденсаторные батареи, а недостающая часть покрывается перетоком РМ из сети ВН 10 кВ. Этот переток экономически целесообразно осуществлять только в пределах загрузки трансформаторов, не превышающей принятого в ГОСТе нормативного коэффициента загрузки  $\beta_{норм.т}$ , так как трансформаторы стоят дороже, чем конденсаторы. В этом случае выбор числа цеховых трансформаторов напряжением 10 кВ и оптимальной мощности конденсаторных батарей напряжением ниже 1000 В производится одновременно.

Предварительно принимаем минимально возможное число цеховых трансформаторов  $N_0$ , исходя из предположения, что в сети НН будет осуществлена полная компенсация РМ, т.е. до  $\cos\varphi_{НН} = 1$ , а следовательно,  $S_c = P_c$ :

$$N_0 = \frac{P_c}{\beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}},$$

где  $P_c$  – средняя суммарная активная мощность приемников цеха за наиболее загруженную смену с учетом освещения, кВт;  $\beta_{\text{норм.т}}$  – нормативный коэффициент загрузки цеховых ТП, значение коэффициента загрузки определяется из условия взаимного резервирования трансформаторов в послеаварийном режиме с учетом допустимой перегрузки оставшегося в работе трансформатора;  $\beta_{\text{норм.т}} = 0,65 \dots 0,7$  – для преобладающих приемников 1-й категории;  $\beta_{\text{норм.т}} = 0,7 \dots 0,8$  – для преобладающих приемников 2-й категории;  $\beta_{\text{норм.т}} = 0,9 \dots 0,95$  – для преобладающих приемников 3-й категории.

Выбор трансформаторов цеховых ТП выполняем по средней мощности  $P_c$ , а не получасовому максимуму  $P_m$ , так как постоянная времени нагрева трансформаторов, в отличие от другого электрооборудования, составляет  $2,5 \dots 3$  ч, следовательно, интервал времени  $3T$  ( $T$  – постоянная времени нагрева трансформатора) в среднем равен продолжительности одной рабочей смены  $T_c$ .

Полученное значение  $N_0$  округляем до ближайшего большего числа:

$$N = N_0 + \Delta N_T,$$

где  $\Delta N_T$  – округление до ближайшего целого числа.

Окончательное число трансформаторов определяется на основе технико-экономических расчетов. При отсутствии достоверных стоимостных показателей для практических расчетов допускается оптимальное число цеховых трансформаторов определять по формуле

$$N_{\text{опт}} = N_{\text{мин}} + m_T,$$

где значение поправочного коэффициента  $m_T$  принимается по специальным графикам в зависимости от  $N_{\text{мин}}$  и  $\Delta N_T$  [1, рис. 4.6].

При окончательном выборе числа цеховых трансформаторов в целом по предприятию принимаются во внимание следующие требования:

- необходимость обеспечения требований к надежности электроснабжения;
- длина кабельных линий (КЛ) напряжением ниже 1000 В не должна превышать 200 м;



– учет взаимного расположения трансформаторов и питающих линий напряжением 6–10 кВ на генплане предприятия.

Учитывая, что  $N_{\text{опт}} > N_0$ , фактический коэффициент загрузки трансформаторов  $\beta$  будет меньше нормативного, т.е. появляется возможность загружать цеховые трансформаторы реактивной мощностью, передаваемой из сети напряжением 6–10 кВ.

Наибольшая РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть НН без превышения предусмотренного  $\beta_{\text{норм.т}}$ , определяется по формуле, квар,

$$Q_{\text{м.т}} = \sqrt{(N_{\text{опт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}})^2 - P_c^2}.$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением ниже 1000 В, квар,

$$Q_{\text{НБК}} = Q_c - Q_{\text{м.т}},$$

Значение  $Q_{\text{НБК}}$  уточняется при выборе стандартных комплектных батарей (ККУ) [4, табл. 10.22]. Если окажется, что  $Q_{\text{НБК}} < 0$ , то установка КУ на данной подстанции не требуется. Если же  $Q_{\text{НБК}} > 0$ , то необходимо проверить значение коэффициента мощности в сети НН:

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{\sqrt{P_c^2 + (Q_c - Q_{\text{НБК}})^2}}.$$

Если это значение окажется ниже 0,95, то следует увеличить  $Q_{\text{НБК}}$ , исходя из условия  $\cos \varphi_c \geq 0,95$ . Это требование обусловлено стремлением снизить потери электроэнергии и обеспечить местное регулирование напряжения в сети НН.

Выбор числа трансформаторов цеховых ТП можно производить и исходя из категории потребителей: для 1-й и 2-й категории принимают двухтрансформаторные ТП (это производственные помещения). Однотрансформаторные ТП используют для приемников 3-й категории (КПП, склады, административные и бытовые помещения).

Результаты расчетов представлены в табл. 11.

Выбор цеховых трансформаторов

Таблица 11

№ по плану	Наименование подразделения	$F_{ц}, м^2$	$P_c, кВт$	$Q_c, квар$	$S_c, кВ·А$	$\sigma_{уд}, кВ·А/м^2$	$S_{ном.т}, кВ·А$	$N_0$	$N_{опт}$	$Q_{м.т}, квар$	$Q_{нбк}, квар$	$\cos \varphi_d$

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ (КРМ) В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 кВ

В курсовом проекте задача КРМ в сети напряжением 6–10 кВ сводится к определению экономически оптимальных значений реактивных мощностей, генерируемых синхронными двигателями (СД), конденсаторными батареями (БК) и источниками энергосистемы.

### Определение стоимости потерь активной мощности

Стоимость потерь 1 кВт активной мощности вычисляем по формуле, руб./кВт,

$$C_0 = \delta(\alpha K_m + \beta \tau_q),$$

где  $\delta$  – поправочный коэффициент, учитывающий затраты на расширение электрических сетей, вызванные возникновением в них потерь активной мощности,

$$\delta = 1 + 0,02 \Delta w_{p.c};$$

$\Delta w_{p.c}$  – суммарные потери электроэнергии в процентах от электроэнергии, передаваемой по сетям от электростанций энергосистемы к предприятию; по данным института «Энергосетьпроект» для сетей напряжением 35–220 кВ  $\Delta w_{p.c} = 5\%$ ;  $\alpha$  – удельные затраты, обусловленные расширением электростанции системы для покрытия потерь активной мощности, руб./кВт;  $\beta$  – удельные затраты на выработку электроэнергии и на расширение топливной базы, т.е. себестоимость электроэнергии на шинах электростанции, руб./(кВт·ч).



Значения величин  $\alpha$  и  $\beta$  зависят от географического района страны, где расположено проектируемое предприятие. Для европейской части России  $\alpha = 24,5$  руб./кВт и  $\beta = 0,88$  коп./(кВт·ч).

Коэффициент  $K_m$  в курсовом проекте определяется следующим образом:

$$K_m = \left( \frac{Q_{эл}}{Q_{р\Gamma\Pi\Pi}} \right)^2,$$

Годовое число часов использования потерь мощности от реактивных нагрузок  $\tau_q$  равно времени максимальных потерь  $\tau$ , так как при проектировании СЭС график РМ  $Q(t)$  предприятия считают подобным по форме графику активной мощности  $P(t)$ .

### Определение затрат на генерацию РМ СД

Реактивная мощность, генерируемая СД, определяется по формуле

$$Q_{ном} = P_{ном} \operatorname{tg} \varphi / \eta_{ном}.$$

С помощью СД можно генерировать от 0 до  $Q_{ном}$  реактивной мощности в распресеть предприятия.

Затратами на генерацию РМ СД можно пренебречь.

### Определение затрат на генерацию РМ БК напряжением 6–10 кВ

Расчетные затраты на установку и эксплуатацию БК определяются по формуле

$$Z_{БК} = Z_{обк} + Z_{1БК} Q_{БК}.$$

В курсовом проекте постоянную составляющую затрат  $Z_{обк}$  принимаем равной 0.

Удельные затраты  $Z_{1БК}$  на 1 Мвар генерируемой мощности вычисляются по формуле, руб./квар,

$$Z_{1БК} = Q_{нБК} K_{уд} \left( \frac{U_{номБК}}{U_{ст}} \right)^2 + C_0 \Delta P_{уд},$$

где  $K_{уд} = 6000$  руб./Мвар – удельные капитальные затраты на БК;  $U_{ст}$  – стандартное напряжение, кВ;  $\Delta P_{уд}$  – удельная мощность потерь энергии в конденсаторах, в курсовом проекте принимаем  $\Delta P_{уд} = 2,3$  кВт/Мвар.

### Определение затрат на генерацию РМ источниками энергосистемы

В этом случае постоянная составляющая затрат  $Z_{03} = 0$ , так как присоединение проектируемого предприятия не вызывает реконструкции существующей сети энергосистемы.

Составляющая затрат  $Z_{13}$  также равна 0, так как передача РМ от подстанции энергосистемы другим предприятиям по линиям к ГПП проектируемого предприятия отсутствует.

Составляющая затрат  $Z_{23}$  на передачу 1 Мвар<sup>2</sup> РМ определяется по формуле, руб./Мвар<sup>2</sup>,

$$Z_{23} = C_0 \frac{R}{U_{ном.с}^2} 10^3,$$

где  $R = R_d + R_t$  – суммарное активное сопротивление питающей ВЛ и трансформатора ГПП, приведенное к напряжению  $U_{ном} = 6-10$  кВ, Ом.

Определив [1, табл. П 4.1] погонное активное сопротивление  $R_0$ , Ом/км, находим активное сопротивление питающей линии, Ом:

$$R_d = R_0 L \frac{1}{n_t^2} = R_0 L \left( \frac{U_{номНН}}{U_{номВН}} \right)^2.$$

где  $n_t$  – коэффициент трансформации трансформаторов ГПП.

Активное сопротивление трансформатора ГПП, отнесенное к номинальному напряжению  $U_{ном.с} = 6-10$  кВ, определяется по выражению, Ом,

$$R_t = 1000 \frac{P_k U_{ном.с}^2}{S_{ном}^2}.$$

Результаты расчета составляющей затрат  $Z_{23}$  приведены в табл. 12.

Расчет 3

Трансформатор
(1)
(2)
(3)
(4)

Посл  
щихся на  
мальное р  
тимально  
грузки Q  
дым исто  
БК, квар:

По  
системы  
ранее (с  
этих дву  
Ре  
Мо  
предпри  
баланса



Таблица 12

Расчет затрат  $Z_{23}$  и оптимального значения РМ из энергосистемы,  
руб./Мвар<sup>2</sup>

Трансформа- тор	$S_{\text{НОМ}},$ кВ·А	$U_{\text{НОМНН}},$ кВ	$P_{\text{к}},$ кВт	$R_{\text{л}}$	$R_{\text{т}}$	$R$	$\frac{Z_{23},}{\text{руб.}}$ Мвар <sup>2</sup>	$Q_{3. \text{ОПТ}},$ квар
				Ом				
(1)								
(2)								
(3)								
(4)								

### Определение оптимальных значений РМ источников

После того как определены составляющие затрат от всех имеющихся на предприятии ИРМ и энергосистемы, можно найти оптимальное распределение нагрузки между ними. Для определения оптимального участия каждого источника в покрытии реактивной нагрузки  $Q_{\text{РГПП}}$  производится сравнение затрат на генерацию РМ каждым источником с затратами на установку дополнительной мощности БК, квар:

$$Q_{\text{э.опт}} = \frac{Z_{\text{БК}} - Z_{\text{13}}}{2Z_{23}}.$$

Полученное таким образом значение оптимальной РМ  $Q_{\text{э.опт}}$  из системы сравнивается с тем ее значением  $Q_{\text{31}}$ , которое было получено ранее (см. с. 12). Для дальнейшего расчета принимаем меньшее из этих двух значений.

Результаты расчета  $Q_{\text{э.опт}}$  приводим в табл. 12.

Мощность БК, которую следует установить на проектируемом предприятии (устанавливаем две секции БК), определяется из условия баланса, квар,

$$Q_{\text{БК}} = \frac{Q_{\text{РГПП}}}{2} - \left( \frac{Q_{\text{э.опт}}}{2} + Q_{\text{СДопт}} \right).$$

## ВЫБОР СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 КВ

Внутризаводское распределение электроэнергии выполняется по радиальной, магистральной или смешанной схеме. Выбор схемы определяется категорией надежности потребителей, их территориальным размещением, особенностями режимов работы.

1. На генплане предприятия указываем число и расположение цеховых ТП, а также ГПП – источник электроэнергии вблизи ЦЭН. Для упрощения расчетов можно принять, что все цеховые сети НН выполнены из магистральных шинопроводов по схеме блока «трансформатор–магистраль», где питание отдельных электроприемников осуществляется от распределительных шинопроводов, отходящих от магистральных. Трансформаторные подстанции цехов типа КТП располагаем около стен цеха или на осевой линии. Число и мощность ТП остаются неизменными во всех вариантах схем. Поэтому при технико-экономическом сравнении вариантов схем в расчет включаем только те трансформаторы, номинальные напряжение и мощность которых изменяются.

2. Подбираем два варианта схемы распределительной сети, наиболее соответствующие принятому расположению и мощности цеховых ТП и источника электроэнергии. Например, в случае расположения цеховых подстанций как на рис. 3 очевидной является радиальная схема.

3. Выбор площади сечения жил кабелей РС ВН выполняем по экономической плотности тока. Далее выбранные кабели должны быть проверены по техническим условиям, к которым относят:

- продолжительный нагрев расчетным током как в нормальном ( $I_{р.норм}$ ), так и в послеаварийном ( $I_{р.ав}$ ) режимах;
- потеря напряжения в жилах кабелей в нормальном и послеаварийном режимах;
- кратковременный нагрев током КЗ (после расчета токов КЗ).



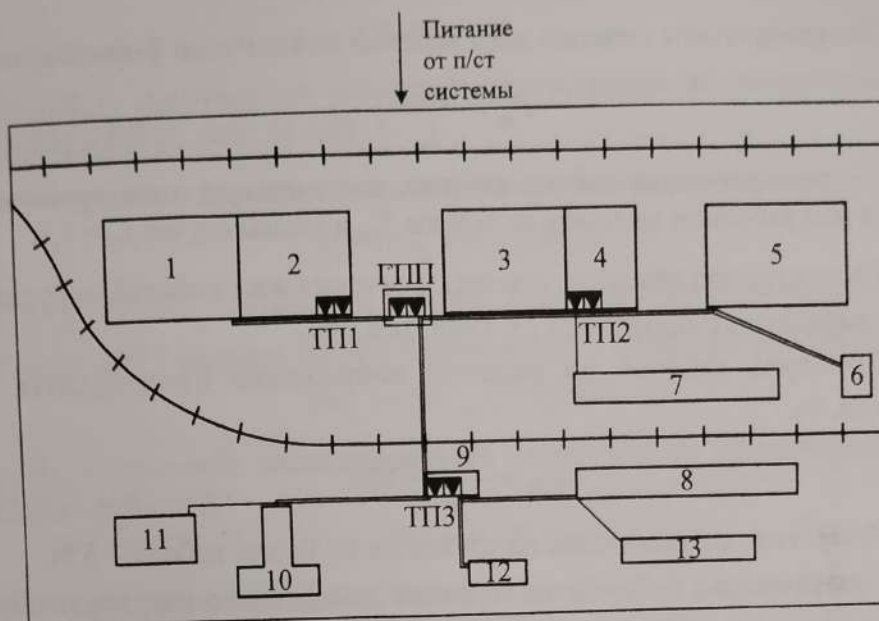


Рис. 3. Внутри заводское электроснабжение комбината

Технические и экономические условия приводят к различным сечениям для одной и той же линии. Окончательно выбираем сечение, удовлетворяющее всем требованиям.

Результаты расчетов сводятся в табл. 13.

В качестве примера приводим полный расчет для выбора линии ГПП-ТП1.

Расчетные токи в нормальном и послеаварийном режимах:

$$I_{p.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; I_{p.ав} = 2I_{p.норм}.$$

Таблица 13

Выбор площади сечения жил кабелей РС ВН

Линия	$I_{p.норм}, A$	$I_{p.ав}, A$	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>			Примечания
			по $j_{эк}$	по нагреву	принято	
ГПП-ТП1	124	249	3×120	3×95	3×120	
ГПП-ТП2	67	134	3×70	3×35	3×70	
ГПП-ТП3	32	63	3×35	3×16	3×35	

Экономическое сечение жил кабелей находим по формуле, мм<sup>2</sup>,

$$F_{ж} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{ж}},$$

где  $j_{ж}$  – экономическая плотность тока, зависящая от типа проводника (провод или кабель) и значения величины  $I_{н}$  в нашем случае  $j_{ж} = 1,1$ .

Рассчитанное значение площади сечения жил кабелей округляем до ближайшего стандартного [3, табл. П 5.30].

Проверка кабелей на падение напряжения производится по формуле, %.

$$\Delta U_{\%} = \frac{Pr + Qx}{U^2} \cdot 100.$$

Допустимое отклонение напряжения на конце кабеля – 5 %.

При проверке кабелей по условию длительного нагрева необходимо учесть, что для кабельных линий напряжением  $U_{\text{ном}} \leq 10$  кВ возможны превышения длительно допустимого тока  $I_{\text{доп}}$  при системных перегрузках в нормальном режиме или авариях, если наибольший ток  $I_{\text{норм}}$  предварительной нагрузки линии в нормальном режиме был не более 80 % от тока  $I_{\text{доп}}$ , т.е.

$$0,8 I_{\text{доп}} \geq I_{\text{норм}}.$$

Коэффициент предварительной нагрузки

$$K_{\text{п.н}} = \frac{I_{\text{норм}}}{I_{\text{доп}}} = \frac{124}{205} = 0,60.$$

Для данного значения  $K_{\text{п.н}}$  и  $I_{\text{н}} = 1$  ч находим коэффициент допустимой перегрузки в послеварийном режиме  $K_{\text{ав}} = 1,5$  [1, табл. 3.3]. Проверка по условию длительного нагрева в послеварийном режиме сводится к проверке выполнения условия

$$K_{\text{ав}} I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.ав}}.$$

Принимаем большее сечение, выбранное по условию экономической плотности тока.

4. В определение технико-экономических показателей РС внутреннего электроснабжения входит вычисление значений следующих величин:

– капитальные затраты  $K$ , включающие в себя стоимость ячеек РУ с выключателями, а также стоимость КЛ, тыс. руб.,

где  $K_n$ ,  $K_a$  – капитальные затраты соответственно на выключатели [4, табл. 5.1] и КЛ [1, табл. П 4.8];

– эксплуатационные расходы, тыс. руб./год,

$$И = И_{\Delta W_n} + И_{\text{н.н}} + И_{\text{н.л}},$$

где  $И_{\Delta W_n} = C_{\Delta W_n}$  – стоимость потерь электроэнергии в линиях (тыс. руб./год);  $\Delta W_n$  – годовые потери электроэнергии в линиях, тыс. кВт·ч/год.

$$\Delta W_n = n \Delta P_{\text{ном}} K_3^2 L \tau / 1000,$$

$И_{\text{н.л}}$ ,  $И_{\text{н.н}}$  – стоимость амортизационных отчислений на выключатели и линии (тыс. руб./год),

$$И_{\text{н.л}} = P_{\text{н.л}} K_n;$$

– приведенные затраты, тыс. руб./год,

$$З = E_n K + И.$$

Результаты расчетов оформляем в виде табл. 14.

Таблица 14

Технико-экономические показатели внутреннего электроснабжения	Наименование				З, тыс. руб./год	$\Delta W$ , тыс. кВт·ч/год
	$K_n$	$K_a$	$K$	$И$		
схемы	тыс. руб.					

## ВЫБОР СХЕМЫ ЦЕХОВОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ

### Выбор внутриварийной сети

При выборе схемы цеховой сети необходимо отдавать предпочтение матричным схемам, дающим возможность отказа от промоздкого и дорогого распределительного устройства или шита. Сеть, выполненная по схеме блока «трансформатор–матрица» с использованием комплектных матричных и распределительных шинно-проводов, обладает высокой надежностью и гибкостью.

7 Внутренняя (ВВ)  
8 ВВ  
Итого проект



Троллейные линии подключаются, как правило, к главным питающим магистральм или к шинам КТП. К питающим магистральм могут быть подключены отдельные, в основном мощные, электроприемники. Радиальные схемы питания сетей с распределительными устройствами или шитами применяются при наличии нескольких мощных потребителей, не связанных единым технологическим процессом или удаленных друг от друга настолько, что питание их по магистральной схеме нецелесообразно. Радиальные схемы находят применение в цехах с агрессивной или взрывоопасной средой. При этом все коммутационные аппараты располагаются в отдельных изолированных помещениях.

Цеховые сети выполняются шинопроводами, кабельными линиями и электропроводами. Определенными факторами при выборе конструктивного исполнения сети являются: номинальный ток и напряжение электроприемников и их групп, расстояние от точки питания, условия окружающей среды, степень возгораемости строительных материалов и конструкций цеха.

Конструирование распределительной сети необходимо вести с учетом возможного числа присоединений к шкафу или шинопроводу (желательно предусмотреть в шкафах 10...15 %-ный резерв), типа и номинальных параметров защитной аппаратуры, установленной в шкафах (номинальные токи предохранителей или автоматов). Следует, чтобы правильно выбрать необходимый номер схемы распределительного шкафа, необходимо рассчитать и выбрать аппараты защиты для всех электроприемников.

### Выбор кабельных линий

Сечение проводов и жил кабелей цеховой сети выбираем по предельно длительным расчетным токам.

Ток в линиях находим по формуле, А,

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

где  $S_p$  — нагрузка на кабель.

Во всех случаях для проводника выбранной марки и сечения должно выполняться условие допустимого нагрева его расчетным током

$$I_{доп} \geq I_p$$

Коэффициент загрузки линии  $K_3 = I_p / I_{доп}$ .  
Определим стандартное сечение провода, мм<sup>2</sup>,

$$F = \frac{I_p}{j_s}$$

где  $j_s$  — экономическая плотность тока,  $j_s = 1,4$ .

Результаты расчета сведем в табл. 15.

Выбор кабелей в цехе

Участок	$I_p$ , А	$I_{доп}$ , А	$L$ , м	$K_3$	Способ прокладки	Марка кабеля	Сечение кабеля	
							по $F_{эк}$	по на-пре-двар.

Таблица 15

### Выбор автоматических выключателей

Определяем номинальный ток двигателя:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cos \varphi_{ном} \eta_{ном}}$$

где  $P_{ном}$  — номинальная мощность двигателя, кВт;  $U_{ном}$  — номинальное линейное напряжение обмотки статора, В;  $\cos \varphi_{ном}$  — номинальный коэффициент мощности двигателя;  $\eta_{ном}$  — номинальный КПД двигателя.

Определяем пиковые нагрузки ответвлений к двигателям.

В качестве пиковой нагрузки от одного асинхронного двигателя принимаем его пусковой ток:

$$I_{пик} = I_{пуск.дв} = i_{пуск} I_{ном.дв}$$

где  $I_{пуск.дв}$  — пусковой ток двигателя, А;  $I_{ном.дв}$  — номинальный ток двигателя, А;  $i_{пуск}$  — кратность пускового тока двигателя по отношению к номинальному.

Выполняем выбор выключателей исходя из следующих условий:  
1) номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению сети:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.сн}$$

где  $U_{ном.в}$  – номинальное напряжение выключателя, В;  $U_{ном.с}$  – номинальное напряжение сети, В;

2) номинальный ток выключателя должен быть равен или превышать расчетный ток ответвления:

$$I_{ном.в} \geq I_p$$

где  $I_{ном.в}$  – номинальный ток выключателя, А;  $I_p$  – расчетный ток ответвления, А;

3) номинальный ток расцепителя должен быть равен или превышать расчетный ток ответвления:

$$I_{ном.рц} \geq I_p$$

4) ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен превышать пусковой ток защищаемого двигателя:

$$I_{срз} \geq K_{н.о} I_{пуск.дв}$$

где  $I_{срз}$  – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А;  $K_{н.о}$  – коэффициент надежности отстройки электромагнитного расцепителя от пускового тока двигателя (для выключателей серии ВА  $K_{н.о} = 2,1$ );

5) ток срабатывания теплового расцепителя должен превышать номинальный ток двигателя:

$$I_{срт} = (1,2 \dots 1,4) I_{ном.дв}$$

где  $I_{срт}$  – ток срабатывания теплового расцепителя, А;  $I_{ном.дв}$  – номинальный ток двигателя, А.

Для выключателей питания распределительных щитов, помимо условий, изложенных выше, учитываем дополнительно условие – срабатывание токовой отсечки при полной нагрузке щита и пуске наиболее мощного электродвигателя:

$$I_{ср.о} \geq K_{н.о} I_{пнк}$$

где  $I_{ср.о}$  – ток срабатывания отсечки выключателя, А;  $K_{н.о}$  – коэффициент надежности отстройки (для выключателей с полупроводниковым расцепителем серии ВА  $K_{н.о} = 1,5$ ).

Результаты оформляются в виде табл. 16.

Таблица 16  
Выбор автоматических выключателей в цехе

Выключатель	Расчетные данные, А		Тип	Автоматический выключатель				
	$I_p$	$I_{пнк}$		$I_{ном.в}$	$I_{ном.рц}$	$I_{срз}$	$I_{срт}$	

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Выбор рационального варианта СЭС III в целом производится путем сравнения суммарных приведенных затрат по всей схеме при различных сочетаниях вариантов сетей внешнего и внутривозвального электроснабжения и трансформаторов электрических сетей.

Получив технико-экономические показатели всех трех частей СЭС, необходимо выбрать ту их комбинацию, при которой приведенные затраты на всю СЭС III будут минимальными.

Результаты расчетов оформляем в виде табл. 17.

Таблица 17  
Технико-экономические показатели вариантов СЭС комбината

Наименование схемы	$U$ , кВ	К	$I_{дв}$	$I_n$	И	3.	$\Delta W$ , тыс. кВт·ч/год
		тыс. руб.				тыс. руб./год	
1. Внешнее электроснабжение							
2. Трансформаторы ТПШ							
3. Внутривозвальское электроснабжение							
4. Электроснабжение предприятия							



## РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

### Расчет тока КЗ на шинах РУ ГПП напряжением 6-10 кВ

Расчет производим в следующем порядке:

- составляем расчетную схему сети (рис. 4, а);
- составляем схему замещения (рис. 4, б);
- определяем расчетную точку КЗ (точка К1);
- принимаем значение базисной мощности, равное значению номинальной мощности источника энергосистемы,  $S_6 = S_{ном.г}$ , МВ·А, а за базисные напряжения каждой ступени соответствующие  $U_{гр}$ , например

$U_{61}$ ,  $U_{62}$ . Тогда базисные токи по закону Ома, А:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}; I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}};$$

– определяем относительные базисные сопротивления всех элементов сети:

$$R_{\pi(6)} = R_{\kappa} \frac{S_6}{S_{ном.г}},$$

$$X_{\pi(6)} = \frac{S_6}{S_{ном.г}} \sqrt{\left(\frac{u_{\kappa}}{100}\right)^2 - \left(\frac{P_{\kappa}}{S_{ном.г}}\right)^2},$$

Рис. 4. Схема для расчета тока КЗ на шинах РУ ГПП:

а – электрическая схема;

б – схема замещения

где  $R_0$ ,  $X_0$  – удельные коэффициенты, Ом/км;

– определяем результирующие сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К1:

$$R_{\pi(6)} = R_{\pi(6)} + R_{\pi(6)};$$

$$X_{\pi(6)} = X_{c(6)} + X_{\pi(6)} + X_{\pi(6)};$$

$$Z_{\pi(6)} = \sqrt{R_{\pi(6)}^2 + X_{\pi(6)}^2};$$

– определяем начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, А:

$$I_{\pi 0}^{(3)} = \frac{I_6}{Z_{\pi(6)}},$$

так как  $Z_{\pi(6)} \geq 3$ , то КЗ рассматривается как удаленное, а действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА,  $I_{\pi 0}^{(3)} = I_{\pi 0}^{(3)}$ ;

– наибольшее начальное значение аperiodической составляющей тока КЗ принимаем равным амплитуде периодической составляющей тока в начальный момент КЗ, кА:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{\pi 0}^{(3)};$$

– значение аperiodической составляющей тока КЗ в произвольный момент определяется по формуле

$$i_w = i_{a0} e^{-0.01/T_a},$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с,

$$T_a = X_{\pi(6)} / (\omega R_{\pi(6)});$$

– определяем ударный ток КЗ, кА:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\pi 0}^{(3)} K_y,$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент,

$$K_y = 1 + e^{\frac{-\pi/2 + \varphi_y}{\arctg(X_{\pi(6)} / R_{\pi(6)})}};$$

$$\varphi_y = \arctg(X_{\pi(6)} / R_{\pi(6)}).$$

### Расчет тока КЗ на шинах РУ НН трансформатора цеха

Расчет токов КЗ производим в именованных единицах. При этом параметры схемы замещения приводим к ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ (точка К2), а активные и индук-

тивные сопротивления всех элементов выражаем в МОм. При этом коэффициенты трансформации всех трансформаторов принимаем равными отношению средних номинальных напряжений сетей, которые связывают эти трансформаторы.

В тех случаях, когда РС предприятия питается от энергосистемы через трансформаторы I, II, III, обычно выполняется условие неизменности действующего значения периодической составляющей тока КЗ от системы, кА:

$$I_{\text{ис}}^{(3)} = I_{\text{пос}}^{(3)} = \text{const} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рес}}},$$

где  $U_{\text{ср}}$  – номинальное напряжение сети, в которой произошло КЗ, В;  $Z_{\text{рес}} = \sqrt{R_{\text{рес}}^2 + X_{\text{рес}}^2}$  – полное результирующее сопротивление одной фазы короткозамкнутой цепи, МОм (электрическая схема и схема замещения цепи представлены на рис. 5).

На величину тока КЗ оказывают влияние только асинхронные двигатели мощностью более 100 кВт, если составляющей тока КЗ от АД можно пренебречь, то общий ток КЗ будет равен току КЗ от системы.

Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи, МОм,

$$R_{\text{рес}} = R_{\text{т1}} + R_{\text{б}} + R_{\text{т2}}; \quad X_{\text{рес}} = X_{\text{т1}} + X_{\text{б}} + X_{\text{т2}},$$

где  $R_{\text{т1}}$  и  $X_{\text{т1}}$  – сопротивления трансформаторов, приведенные к ступени НН, МОм;  $R_{\text{б}}$  и  $X_{\text{б}}$  – сопротивления автоматического выключателя [5, табл. XIII, МОм;  $R_{\text{т2}}$  и  $X_{\text{т2}}$  – сопротивления линий, МОм;  $X_{\text{т2}}$  – сопротивление эквивалентного источника питания, МОм,

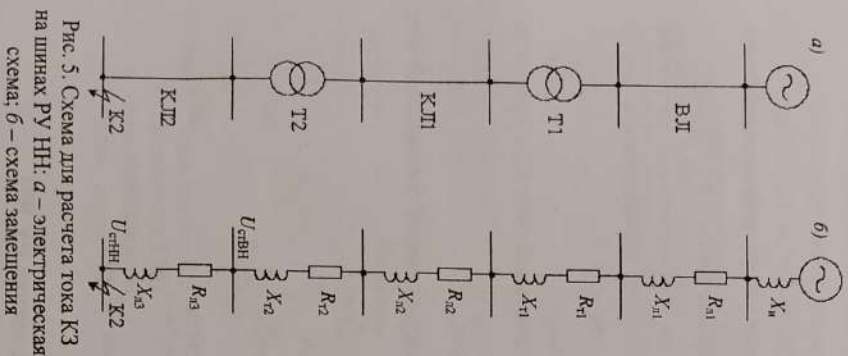


Рис. 5. Схема для расчета тока КЗ на шинах РУ НН: а – электрическая схема; б – схема замещения

Сопротивления ВЛ, МОм:

$$X_{\text{л}} = \frac{U_{\text{срНН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{н0}} U_{\text{срНН}}}.$$

$$R_{\text{т1}} = R_0 L \left( \frac{U_{\text{срНН}}}{U_{\text{срНН}}} \right)^2,$$

$$X_{\text{т1}} = X_0 L \left( \frac{U_{\text{срНН}}}{U_{\text{срНН}}} \right)^2,$$

Сопротивления трансформатора Т1, МОм:

$$R_{\text{т1}} = P_{\text{к}} \left( \frac{U_{\text{срНН}}}{S_{\text{ном.т}}} \right)^2,$$

$$X_{\text{т1}} = \frac{U_{\text{кв}} U_{\text{срНН}}^2}{100 S_{\text{ном.т}}},$$

где  $U_{\text{кв}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - u_{\text{кв}}^2} \%$ ;  $u_{\text{кв}} = P_{\text{к}} / S_{\text{ном.т}} 100 \%$ .

Тогда вычисляем полное результирующее сопротивление, МОм:

$$Z_{\text{рес}} = \sqrt{R_{\text{рес}}^2 + X_{\text{рес}}^2}.$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА,

$$I_{\text{ис}}^{(3)} = I_{\text{пос}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рес}}}.$$

Наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока КЗ, А,

$$i_{\text{а0}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)}.$$

Значение апериодической составляющей тока КЗ в произвольный момент определяется по формуле

$$i_{\text{а}} = i_{\text{а0}} e^{-0.01/T_{\text{а}}}.$$

Определяем ударный ток КЗ, кА:

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)} (1 + e^{-1/2}) = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)} K_{\text{у}}.$$



## ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПРОВОДНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО УСЛОВИЯМ КЗ

Проверке подлежат:

– вводной выключатель в РУ ППП;

– линия 6–10 кВ одного присоединения (на термическую стойкость).  
При проверке коммутационной (отключающей) способности выключателя учитывается изменение периодической и апериодической составляющих тока КЗ за расчетное время отключения выключателя  $t_{откл}$ . В первую очередь производится проверка на отключение периодической составляющей:

$$I_{терм} \leq I_{откл, ном}^*$$

где  $I_{откл, ном}^*$  – номинальный ток отключения.

Затем проверяется возможность отключения апериодической составляющей. При этом она не должна превышать своего номинального значения  $i_{в, ном}$ :

$$i_{в, откл} \leq i_{в, ном}^*$$

где  $i_{в, ном}^* = \sqrt{2} \cdot \frac{V_{ном} I_{откл, ном}}{100}$ , кА.

Условие проверки выключателя на термическую стойкость зависит от соотношения между расчетной продолжительностью КЗ  $t_{откл} = 0,08$  с и предельно допустимым временем  $t_{терм} = 4$  с воздействия нормированного тока термической стойкости  $I_{терм} = 16,5$  кА на выключатель. Так как  $t_{откл} < t_{терм}$ , то условие проверки имеет вид

$$I_{терм}^2 t_{откл} \geq V_k$$

где  $V_k$  – интеграл Джоуля с пределами интегрирования 0 и  $t_{откл}$ , кА<sup>2</sup>·с,

$$V_k = I_{п0}^2 (t_{откл} + T_a)$$

Электродинамическая стойкость выключателя будет обеспечена, если выполняются условия:

$$i_{пр, сев} \geq i_{уд} \text{ и } I_{пр, сев} \geq I_{п0}^*$$

где  $i_{пр, сев}$  – наибольший пик предельного сквозного тока;  $I_{пр, сев}$  – начальное действующее значение периодической составляющей предельного сквозного тока.

Проверка КЛ на термическую стойкость будет обеспечена, если выполняются условия

$$F \geq F_{мин, КЗ}^*$$

где  $F$  – площадь выбранных кабелей, мм<sup>2</sup>;  $F_{мин, КЗ}^*$  – минимальная площадь сечения, допустимая по условию термической стойкости, мм<sup>2</sup>,

$$F_{мин, КЗ}^* = \sqrt{V_k / c_m}$$

$c_m = 85 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$  – коэффициент для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.