

Документ подписан простой электронной подписью

1

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 09.09.2015.19

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf27819530e7160d12574d16f5c0ce538f0fcb

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



## РАСЧЕТ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Задания и методические указания по выполнению расчётной работы по электроснабжению с основами электротехники

Курск 2015



## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчётная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях и служит стимулированию более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины «Электроснабжение с основами электротехники».

Основные цели данной работы:

1) получить навыки определения полной мощности электроприемников конкретного объекта с учетом характера их работы, выбора трансформатора и определения места размещения трансформаторной подстанции;

2) научиться выбирать и рассчитывать кабельные и воздушные линии электропередачи;

3) научиться выбирать элементы защиты электрооборудования от токов короткого замыкания.

Выполнение расчетной работы также способствует изучению стандартных методов оформления расчетно-конструкторской документации.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения разделов «Трёхфазные цепи», «Трансформаторы» и разделов модуля «Электроснабжение» дисциплины "Электротехника и электроника".

## 2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

На строительной площадке (СП) расположены объекты: строящийся корпус (СК), башенный кран (БК), растворобетонный узел (РБУ), бытовые помещения (БП). Также имеется наружное освещение по периметру стройплощадки. Все объекты и наружное освещение питаются от трансформаторной подстанции (ТП). На рис. 2.1 показан план возможного размещения данных объектов.

В строящемся корпусе находятся следующие электроприемники: сварочные трансформаторы, электроинструмент с асинхронными двигателями, светильники. Вид потребляемого тока – однофазный и трехфазный. В бытовом помещении находятся однофазные светильники и калориферы, вид потребляемого тока – однофазный. В растворобетонном узле – трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и однофазные светильники. На башенном кране

установлены трехфазные асинхронные двигатели с фазным ротором, снабженные системой управления и защиты. Все объекты через свое вводное устройство (ВУ) соединяются с подстанцией ТП линией электропередачи (кабельной или воздушной) по радиальной схеме электроснабжения. Номинальное линейное напряжение потребителей  $U_{л}=308$  В.

Исходные данные для расчета даны в табл. 1,2,3, причем первая цифра трехзначного варианта (вариант задает преподаватель) означает номер строки в табл. 1, вторая цифра – номер строки в табл. 2, третья цифра – номер столбца в табл. 3.

Используя данные своего варианта (табл. 1,2,3) выполнить следующие пункты задания:

1. Произвести расчет общей полной мощности электроприемников стройплощадки методом установленной мощности и коэффициента спроса, используя данные табл. 4.

2. Выбрать трансформатор для питания электроприемников стройплощадки по данным табл. 6.

3. Определить место размещения (координаты) трансформаторной подстанции (наружное освещение не учитывать). Подстанцию разместить на свободном от объектов месте (как можно ближе к центру нагрузок).

4. Нарисовать в масштабе план размещения объектов на строительной площадке и определить по плану длину линий электропередачи от подстанции к вводным устройствам этих объектов.

Таблица 1. Количество **n** электроприемников

№	Сварочные трансформаторы	Электроинструмент	Светильники			Бетономешалки в РБУ	Калориферы	Светильники наружного освещения	Башенный кран
			РБУ	СК	БП				
1	1	11	1	10	2	1	1	10	1
2	2	10	2	20	3	2	2	15	2
3	3	12	3	30	4	3	3	20	1
4	1	8	2	40	5	2	3	25	2
5	3	16	2	50	6	1	4	30	1
6	2	8	4	60	7	2	4	35	2
7	2	20	1	45	5	1	2	40	1
8	3	18	2	25	3	2	3	15	2
9	3	25	3	35	4	3	2	20	1
0	2	17	2	55	6	2	4	25	2

5. Произвести выбор и расчет кабельных или воздушных линий электропередачи от трансформаторной подстанции к потребителям по условиям нагрева и по допустимой потере напряжения, используя данные табл. 2.7, 2.8. Если потеря напряжения  $\Delta U$  будет больше 5% от номинального напряжения (для трехфазной нагрузки  $5\%U_{Л}=19$  В, для однофазной нагрузки  $5\%U_{Ф}=11$  В), то выбрать кабель или провод большего сечения и опять проверить по условию допустимой потери напряжения. Письменно обосновать выбор данной линии электропередачи (однофазная или трехфазная, воздушная или кабельная).

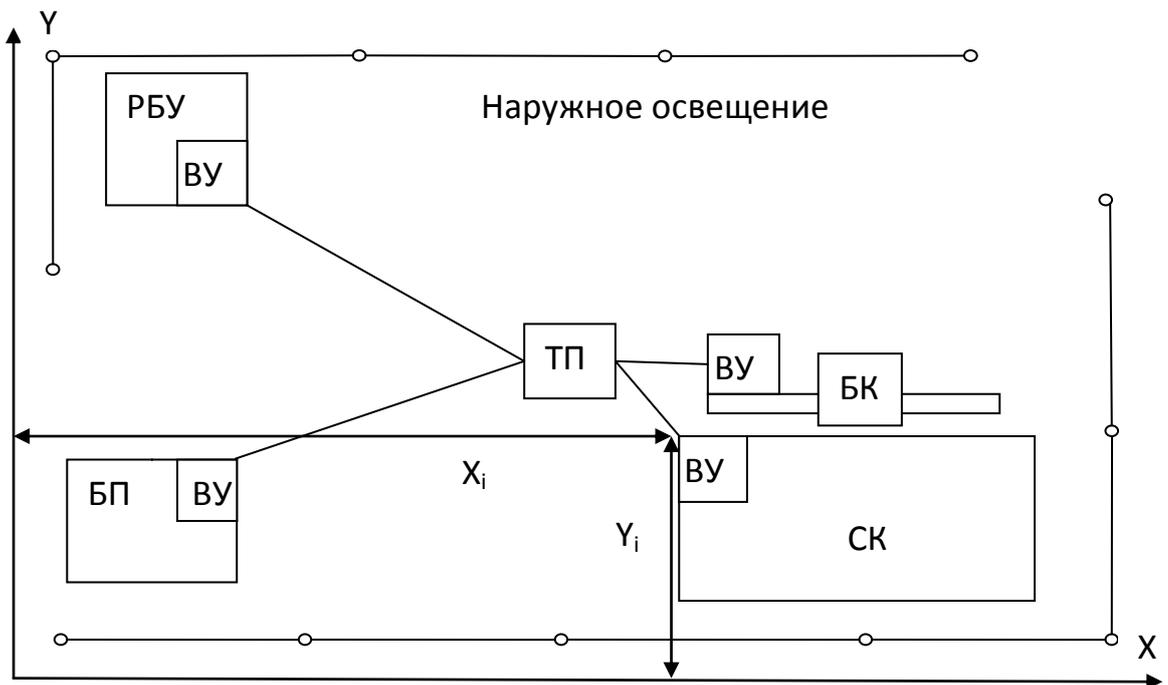


Рис. 2.1. План строительной площадки

Таблица 2. Координаты вводных устройств объектов на строительной площадке

№	Строящийся корпус		Башенный кран		РБУ		Бытовые помещения	
	х, м	у, м	х, м	у, м	х, м	у, м	х, м	у, м
1	140	20	140	50	40	70	70	110
2	250	10	250	50	10	30	80	90
3	180	50	180	60	40	40	100	120
4	140	35	135	50	15	50	50	65
5	200	30	200	60	20	70	30	90
6	160	60	155	70	50	30	60	100
7	200	18	200	40	50	50	70	120
8	170	180	170	150	10	40	20	130
9	60	150	60	170	10	30	200	80
0	200	150	200	140	20	40	50	80

Таблица 3. Параметры электроприемников

Электроприемники	Активная мощность $P_H$ , кВт (по вариантам)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сварочный трансформатор	24	20	16	24	22	12	14	27	14	17
Электроинструмент	0,55	0,37	2,2	0,55	1,1	0,55	0,37	0,45	0,8	0,6
Светильник	0,2	0,15	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
Бетономешалка в РБУ	4	3	5	4	4	3	5	6	4	5
Калорифер	2,2	1,8	2,6	2,2	1,8	2,5	2,2	2,1	1,9	2
Светильник наружного освещения	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3
Башенный кран	34	58	68	58	55	54	71	65	60	64
Электроприемники	Коэффициент мощности $\cos \varphi_H$ (по вариантам)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сварочный трансформатор	0,62	0,5	0,54	0,4	0,52	0,48	0,6	0,56	0,44	0,58
Электроинструмент	0,57	0,62	0,52	0,6	0,55	0,5	0,56	0,61	0,58	0,54
Светильник	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Бетономешалка в РБУ	0,77	0,72	0,82	0,7	0,75	0,7	0,76	0,81	0,78	0,74
Калорифер	0,9	0,91	0,92	0,93	0,89	0,94	0,95	0,96	0,98	0,97
Светильник наружного освещения	0,9	1	0,8	0,95	1	1	0,85	1	0,98	0,99
Башенный кран	0,75	0,8	0,85	0,77	0,82	0,81	0,86	0,74	0,84	0,79

6. Для всех объектов для защиты от токов короткого замыкания произвести выбор плавкой вставки предохранителя, устанавливаемого в электрошите вводного устройства, используя данные своих расчетов и табл. 9,10.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Выполненная расчетная работа должна содержать титульный лист и расчетно-пояснительную записку, в которую входят:

- 1) задание на выполнение работы, содержащее номер варианта, исходные данные к расчету и перечень пунктов, которые необходимо выполнить (оформляется на первой странице после титульного листа);
- 2) план строительной площадки согласно заданию;
- 3) расчеты, предусмотренные заданием.

Рекомендуемое оформление расчетов: *рассчитываемая величина = формула с буквенными обозначениями = формула с подставленными числовыми значениями = результат расчета с сокращенным обо-*

значением единицы измерения. Промежуточные этапы расчета для сложных формул можно не приводить. Расчет должен сопровождаться пояснительным текстом и при необходимости ссылками на использованную литературу;

4) список использованной литературы на последней странице пояснительной записки.

Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210x297 мм.) с учетом требований ЕСКД. Листы записки должны быть скреплены.

3.2. Одним из наиболее простых и широко применяемых методов расчета является метод установленной мощности и коэффициента спроса [1, с. 107-110].

Суммарная установленная мощность группы из  $n$  однородных по режиму работы потребителей определяется по формуле:

$$P_y = n \cdot P_H \cdot \sqrt{ПВ} \quad (3.1)$$

где  $P_H$  - номинальная потребляемая мощность одного потребителя;

$ПВ$  – продолжительность включения.

Расчетная активная мощность однородных по режиму работы потребителей равна:

$$P_p = K_C \cdot P_y \quad (3.2)$$

где  $K_C$  - коэффициент спроса, учитывающий вероятность одновременности включения и степени загруженности однородной по режиму работы группы потребителей.  $ПВ$  и  $K_C$  выбирают из табл. 4.

Таблица 4. Продолжительность включения ( $ПВ$ ) и коэффициент спроса ( $K_C$ ) отдельных электропотребителей

Электропотребители	$ПВ$	$K_C$
Сварочный аппарат (трансформатор)	0,6	0,5
Электроинструмент	0,4	0,25
Светильники	1	0,85
РБУ	1	0,6
Калориферы	1	0,8
Светильники наружного освещения	1	1
Башенный кран	0,3	0,25

По  $P_p$ , зная  $\cos \varphi_H$ , можно рассчитать соответствующую реактивную мощность:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (3.3)$$

Полная мощность строительной площадки определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_1^N P_p\right)^2 + \left(\sum_1^N Q_p\right)^2} \quad (3.4)$$

где  $N$  – количество различных групп.

Результаты расчетов по формулам (3.1) - (3.4) удобно свести в таблицу установленной и расчетной мощностей отдельных групп потребителей – в табл. 5.

Таблица 5. Установленные и расчетные мощности отдельных групп потребителей

Наименование групп электропотребителей	Мощность одного потребителя $P_H$ , кВт	Количество $n$	$\cos \varphi_H$	ПВ	$K_C$	$P_y$ , кВт	$Q_y$ , кВАр	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр
Сварочные трансформаторы									
Электроинструмент									
Светильники в СК									
Светильники в РБУ									
Светильники в БП									
Бетономешалки в РБУ									
Калориферы									
Башенный кран									
Светильники наружного освещения									

3.3. Выбор трансформатора базируется на расчете полной мощности объекта по формулам (3.1) - (3.4). Предварительно выбирают трансформатор из табл. 6 по значению  $S_p$ . После определения активной  $P_p$  и реактивной  $Q_p$  расчетных нагрузок строительной площадки общие расчетные нагрузки с учетом потерь мощности в трансформаторе определяются по формулам:

$$P_{рсп} = P_p + \Delta P_T \quad (3.5)$$

$$Q_{рсп} = Q_p + \Delta Q_T \quad (3.6)$$

где  $\Delta P_T$  и  $\Delta Q_T$  активная и реактивная мощность потерь трансформатора.

Потери в трансформаторе рекомендуется оценивать по формулам:

$$\Delta P_T = (0,02 \dots 0,025)S_T \quad (3.7)$$

$$\Delta Q_T = (0,105 \dots 0,125)S_T \quad (3.8)$$

где  $S_T$  - номинальная полная мощность трансформатора. Полную мощность СП находим по формуле:

$$S_{РСП} = \sqrt{P_{РСП}^2 + Q_{РСП}^2} \quad (3.9)$$

При установке одного трансформатора его мощность выбирают по данным табл. 6 из условия:

$$S_T \geq S_{РСП} \quad (3.10)$$

Таблица 6. Технические данные трансформаторов

№ п/п	Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , кВА	$U_{НОМ}$ , кВ	
			ВН (высшее напряжение)	НН (низшее напряжение)
1	ТМ-25/10	25	10	0,4
2	ТМ-40/10	40	10	0,4
3	ТМ-63/10	63	10	0,4
4	ТМ-100/10	100	10	0,4
5	ТМ-160/10	160	10	0,4
6	ТМ-250/10	250	10	0,4
7	ТМ-400/10	400	10	0,4
8	ТМ-630/10	630	10	0,4
9	ТМ-1000/10	1000	10	0,4
10	ТМ-1600/10	1600	10	0,4

3.4. Определение центра нагрузок производится для выбора оптимального места расположения трансформаторной подстанции. Правильный выбор центра нагрузки снижает мощность потерь и расход цветных металлов. Координаты центра нагрузок находят по формулам [1, с. 146-150]:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^m (S_i x_i)}{\sum_{i=1}^m S_i}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^m (S_i y_i)}{\sum_{i=1}^m S_i}, \quad (3.11)$$

где  $m$  - число объектов (по условию работы  $m=4$ . т.е. СК, БК, РБУ, БП);

$S_i$  - расчетная полная мощность, потребляемая  $i$ -ым объектом, которая определяется аналогично определению полной мощности СП, т.е. по формуле (3.4);

$x_i, y_i$  - координаты вводных устройств объектов на стройплощадке.

3.5. При выборе вида линии электропередачи учитывают характер нагрузки и особенности территории, по которой проходит линия электропередачи. Для питания однофазных электроприемников чаще всего используют двухпроводную воздушную линию передачи, подключенную к фазному напряжению трансформаторной подстанции. Для питания трехфазной симметричной нагрузки (трехфазных асинхронных и синхронных двигателей и трансформаторов, трехфазных тепловых пушек и электрообогревателей и т.п.) достаточно трехжильного кабеля или трехпроводной воздушной линии передачи. Для питания смешанной нагрузки необходимо использовать четырехжильный кабель или четырехпроводную воздушную линию передачи.

В условиях строительства часто применяют временные линии передачи, выполняемые шланговым кабелем по воздуху. Если выбрана кабельная линия, которая предназначена для длительного использования, её целесообразно выполнить в траншее бронированным кабелем [2, с. 121-131].

Проводники линии электропередачи напряжением до 1000 В должны удовлетворять двум основным условиям:

- условию допустимого нагрева рабочим током;
- условию допустимой потери напряжения.

Условие допустимого нагрева рабочим током:

$$I_{Pi} \leq I_{\text{доп}} \quad (3.12)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – берется из табл. 7;

$I_{Pi}$  - расчетный ток для  $i$ -го объекта:

$I_{Pi} = S_i / \sqrt{3} U_{\text{Л}}$  – для трехфазной линии передачи;

$I_{Pi} = S_i / U_{\text{Ф}}$  – для однофазной линии передачи, где фазное напряжение равно:  $U_{\text{Ф}} = U_{\text{Л}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$  В.

Провод или кабель с необходимым токоведущим сечением, выбранный из табл. 7 по значению  $I_{Pi}$ , проверяется по условию допустимой потери напряжения:

$$\Delta U \leq 5\% U_{\text{Л}} \quad (3.13)$$

Потеря напряжения определяется для трехфазной нагрузки для  $i$ -го объекта по формуле:

$$\Delta U_i = \sqrt{3} I_P * l * (R_0 \cos \varphi_i + X_0 \sin \varphi_i) \quad (3.14)$$

где  $I_p$  – линейный расчетный ток в А (определен выше при выборе сечения провода);

$l$  – длина линии в км;

$R_0$  и  $X_0$  берутся из табл. 8 для выбранного по условию допустимого нагрева токоведущего сечения провода или жилы кабеля;

$\cos \varphi_i = P_{pi} / S_{pi}$  – расчетный коэффициент мощности нагрузки  $i$ -го объекта;

$\sin \varphi_i = Q_{pi} / S_{pi}$ .

Для однофазной линии электропередачи потеря напряжения находится по формуле:

$$\Delta U_i = 2I_p * l * (R_0 \cos \varphi_i + X_0 \sin \varphi_i) \quad (3.15)$$

Таблица 7. Допустимые длительные токовые нагрузки (по нагреву) на провода и кабели

Сечение токопроводящей жилы, кв.мм	Токовые нагрузки $I_{доп}$ , А			
	Изолированные провода с медными жилами	Изолированные провода с алюминиевыми жилами	Кабели трехжильные переносные шланговые с медными жилами	Кабели четырехжильные в свинцовой или алюминиевой оболочке с алюминиевыми жилами, прокладываемые в земле
2,5	30	24	28	-
4	41	32	36	38
6	50	39	45	46
10	80	60	60	65
16	100	75	80	90
25	140	105	105	115
35	170	130	130	135
50	215	165	160	165
70	270	210	200	200
95	330	255	-	240
120	385	295	-	270
150	-	340	-	305

3.6. Электроустановки защищаются от токов короткого замыкания (КЗ) и перегрузок при помощи плавких предохранителей или автоматических выключателей [1, с. 131-137].

Если нагрузка потребителя не имеет характерных пиков (обычная осветительная, силовая с двигателями, имеющими реостатный пуск и т.д.), то выбор защиты предохранителем производится по формуле:

$$I_{пв1} \geq I_{pi} \quad (3.16)$$

где  $I_{ПВ}$  – номинальный ток плавкой вставки;

$I_{pi}$  – расчетный (или номинальный) ток  $i$ -го приемника.

Таблица 8. Активные и индуктивные сопротивления проводов и кабелей с медными и алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, кв.мм	Активное сопротивление $R_0$ проводов и жил кабелей, Ом/км		Активное сопротивление $X_0$ проводников, Ом/км	
	медных	алюминиевых	кабели	одионочные провода
2,5	8	13,2	0,1	0,4
4	5	8,3	0,1	0,37
6	3,3	5,5	0,09	0,36
10	2	3,3	0,08	0,34
16	1,25	2,06	0,08	0,33
25	0,8	1,32	0,08	0,31
35	0,57	0,95	0,075	0,3
50	0,4	0,66	0,075	0,29
70	0,28	0,35	0,07	0,28
95	0,21	0,35	0,07	0,27
120	0,167	0,276	0,07	0,26
150	0,133	0,22	0,07	0,25

При больших пусковых (или вообще пиковых) токах появляется опасность ложного срабатывания аппаратов защиты при пусках. В этих случаях необходимо пользоваться формулой:

$$I_{ПВ2} \geq \frac{K_i I_H}{K_{ПВ}} \quad (3.17)$$

где  $I_H$  – номинальный ток приемника (или расчетный ток группы приемников);

$K_i$  – кратность пускового тока;

$K_{ПВ}$  – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки для плавких предохранителей.

Как правило, по формуле (3.17) выбирают предохранители для двигателей, имеющих большой пусковой ток. Также можно выбрать предохранители для объектов, где мощность нагрузки в основном определяется мощностью двигателей (для данной работы это БК, РБУ).

Коэффициенты  $K_i$ ,  $K_{ПВ}$  взять из табл. 9. Предохранитель выбрать из табл. 10.

Сварочные агрегаты защищаются плавкими предохранителями, выбираемыми по формуле:

$$I_{ПВ3} \geq 1,2 I_H \quad (3.18)$$

Если объект содержит смешанную нагрузку, включая двигатели и трансформаторы (для данной работы это СК), то отдельно для всего объекта определяется  $I_{ПВ1}$ , для электроприемников с электродвигателями определяется  $I_{ПВ2}$ , для сварочных трансформаторов определяется  $I_{ПВ3}$ , а плавкая вставка выбирается по большему значению тока:  $I_{ПВ1}$ ,  $I_{ПВ2}$  или  $I_{ПВ3}$ .

При выборе защиты сетей от токов короткого замыкания необходимо проверить соответствие допустимого тока провода  $I_{доп}$  току плавкой вставки предохранителя, т.е. выполнение условия:  $I_{ПВ} \leq 3 I_{доп}$ .

Таблица 9. Коэффициенты кратности пускового тока  $K_i$  и кратковременной тепловой перегрузки  $K_{ПВ}$  плавких предохранителей

Электропотребители	$K_i$	$K_{ПВ}$
Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором	5 - 7	1,6 - 2,5
Двигатели с реостатным пуском (ТАД с фазным ротором) и однофазные двигатели (асинхронные и коллекторные)	1 - 3	1

Таблица 10. Плавкие предохранители

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, А	Номинальный ток плавкой вставки, А
ПН2-60	63	8; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 63
ПН2-100	100	30; 40; 50; 60; 80; 100
ПН2-250	250	80; 100; 120; 150; 200; 250
ПН2-400	400	200; 250; 300; 350; 400
ПН2-600	600	300; 400; 500; 600

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глушков Г.Н. Электроснабжение строительного-монтажных работ: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1982. 232 с.
2. Тополянский А.Б. Электроснабжение и электроустановки в строительстве. Л.: Стройиздат, 1990. 272 с.