

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь

Учреждение образования
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА"

Кафедра «Электротехника»

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

«Электроснабжение строительного производства»

по дисциплине

«Электротехника и электроснабжение»

Вариант __ - __

Выполнил
студент группы ПС-__
Фамилия И. О.

Проверил
доцент
Курилин С Л.

Гомель 2023

Расчет сети электроснабжения строительной площадки

На строительной площадке производственного здания, стройгенплан которого приведен на рисунке 1 установлены:

Башенный кран КБ306Б – 1; Сварочный трансформатор ТСП-2– 2,5,8,10; Светильник ККУ03-20000-001x1– 3,7,11; Агрегат смесительно-штукатурный СО-57Б – 4; Машина шлифовальная со ША – 6; Компрессор 7К5– 9; Сварочный трансформатор СТШ-250– 12.

Технические данные электрооборудования приведены в таблице 1.

Необходимо определить:

- 1) расчетную электрическую мощность, потребляемую строительной площадкой;
- 2) мощность, тип и месторасположение трансформаторной подстанции;
- 3) рассчитать токи, потребляемые каждым электроприемником, выбрать плавкие предохранители для защиты всех потребителей, марки силовых распределительных шкафов (щитов);
- 4) нанести на стройгенплане схему электрических сетей;
- 5) выбрать сечение всех проводов (жил кабелей), питающих потребителей строительной площадки и проверить сечение на допустимое отклонение напряжения (для всех потребителей строительной площадки).

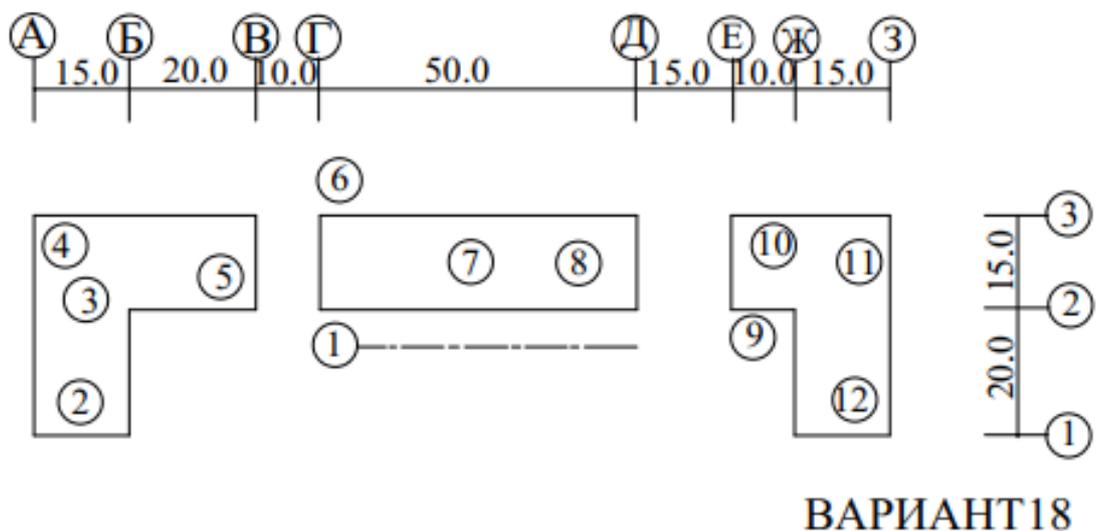


Рисунок 1 - Расчетная схема электрической цепи

Содержание

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 18

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ПС – __ - __ - __ РГР №1			
Разраб		Фамилия .			РГР по дисциплине «Электротехника и электрооснабжение»	Литера	Лист	Листов
Пров		Курилин				У	3	16
Н. Контр.						БелГУТ кафедра «Электротехника»		
Утв								

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Для определения расчетной мощности, потребляемой каждым электроприемником стройплощадки, разобьем все механизмы на характерные с точки зрения электрооборудования группы.

Таблица 1 - Технические характеристики электрооборудования, машин и механизмов

Номер на плане	Наименование и тип механизма	Установленная мощность, кВт	Коэффициент спроса (K_c)	Коэффициент мощности ($\cos\varphi$)	ПВ	$I_{пуск}$ $I_{ном}$
1	Башенный кран КБ306Б	15; 5; 7,5; 3x3,5	0,4	0,6	0,25	5
2,5,8,10	Сварочный трансформатор ТСП-2	19,4	0,25	0,6	0,55	-
3,7,11	Светильник ККУ03-20000-001x1	20	0,6	1	1	-
4	Агрегат смесительно-штукатурный СО-57Б	5,5	0,4	0,86	0,5	7
6	Машина шлифовальная со ША	3	0,3	0,83	1	6
9	Компрессор 7К5	17	0,7	0,8	1	7
12	Сварочный трансформатор СТШ-250	15,3	0,3	0,57	0,6	-

Определим расчетную электрическую мощность потребляемой строительной площадкой.

Разобьем все электроприемники на 4 группы:

1. Трехфазные двигатели длительного режима.

$$P_n = P_{пасп}$$

$$P_{н4} = P_4 \quad P_{н4} = 5.5 \text{ кВт}$$

$$P_{н6} = P_6 \quad P_{н6} = 3 \text{ кВт}$$

$$P_{н9} = P_9 \quad P_{н9} = 17 \text{ кВт}$$

2. Электродвигатели повторно-кратковременного режим.

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{ПВ}$$

$$P_{H1} = P_1 \sqrt{ПВ_1} \quad P_{H1} = 19 \text{ кВт}$$

3. Однофазные электроприемники повторно-кратковременного режима.

$$P_{H2} = P_2 \sqrt{ПВ_2} \quad P_{H2} = 14.39 \text{ кВт}$$

$$P_{H5} = P_5 \sqrt{ПВ_5} \quad P_{H5} = 14.39 \text{ кВт}$$

$$P_{H8} = P_8 \sqrt{ПВ_8} \quad P_{H8} = 14,39 \text{ кВт}$$

$$P_{H10} = P_{10} \sqrt{ПВ_{10}} \quad P_{H10} = 14,39 \text{ кВт}$$

$$P_{H12} = P_{12} \sqrt{ПВ_{12}} \quad P_{H12} = 11.85 \text{ кВт}$$

4. Осветительные установки

$$P_{H.OCB} = P_{OCB}$$

$$P_{H3} = P_3 \quad P_{H3} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{H7} = P_7 \quad P_{H7} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{H11} = P_{11} \quad P_{H11} = 20 \text{ кВт}$$

Определим расчетную активную и реактивную мощности каждого потребителя

$$P_p = K_c \cdot p_H \quad Q_p = P_p \cdot \tan(\varphi) = P_p \cdot \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = P_p \cdot \frac{\sqrt{1-\cos(\varphi)^2}}{\cos(\varphi)}$$

$$P_{p1} = K_{c1} \cdot p_{H1} \quad P_{p1} = 7,6 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p1} \cdot \frac{\sqrt{1-0,6^2}}{0,6} \quad Q_{p1} = 10,13 \text{ квар}$$

$$P_{p2} = K_{c2} \cdot p_{H2} \quad P_{p2} = 3,6 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p2} \cdot \frac{\sqrt{1-0,55^2}}{0,55} \quad Q_{p2} = 5,46 \text{ квар}$$

$$P_{p3} = K_{c3} \cdot p_{H3} \quad P_{p3} = 12 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p3} \cdot \frac{\sqrt{1-1^2}}{1} \quad Q_{p3} = 0 \text{ квар}$$

$$P_{p4} = K_{c4} \cdot p_{H4} \quad P_{p4} = 2,2 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p4} \cdot \frac{\sqrt{1-0,86^2}}{0,86} \quad Q_{p4} = 1,3 \text{ квар}$$

$$P_{p5} = K_{c5} \cdot p_{H5} \quad P_{p5} = 3,6 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p5} \cdot \frac{\sqrt{1-0,55^2}}{0,55} \quad Q_{p5} = 5,46 \text{ квар}$$

$$P_{p6} = K_{c6} \cdot p_{H6} \quad P_{p6} = 0,9 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p6} \cdot \frac{\sqrt{1-0,83^2}}{0,83} \quad Q_{p6} = 0,6 \text{ квар}$$

$$P_{p7} = K_{c7} \cdot p_{H7} \quad P_{p7} = 12 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p7} \cdot \frac{\sqrt{1-1^2}}{1} \quad Q_{p7} = 0 \text{ квар}$$

$$P_{p8} = K_{c8} \cdot p_{H8} \quad P_{p8} = 3,6 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p8} \cdot \frac{\sqrt{1-0,55^2}}{0,55} \quad Q_{p8} = 5,46 \text{ квар}$$

$$P_{p9} = K_{c9} \cdot p_{H9} \quad P_{p9} = 11,9 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p9} \cdot \frac{\sqrt{1-0,8^2}}{0,8} \quad Q_{p9} = 8,9 \text{ квар}$$

$$P_{p10} = K_{c10} \cdot p_{n10} \quad P_{p10} = 3,6 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p10} \cdot \frac{\sqrt{1-0.55^2}}{0.55} \quad Q_{p10} = 5,46 \text{ квар}$$

$$P_{p11} = K_{c11} \cdot p_{n11} \quad P_{p11} = 12 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p11} \cdot \frac{\sqrt{1-1^2}}{1} \quad Q_{p11} = 0 \text{ квар}$$

$$P_{p12} = K_{c12} \cdot p_{n12} \quad P_{p12} = 3,555 \text{ кВт} \quad Q_p = P_{p12} \cdot \frac{\sqrt{1-0.57^2}}{0.57} \quad Q_{p12} = 5,12 \text{ квар}$$

Расчетная суммарная активная мощность строительной площадки, где K_M - коэффициент участия в получасовом максимуме нагрузки, для строительной площадки

($K_M = 0,75 \dots 0,8$).

$$P_p = K_M \sum_{i=1}^{12} P_p$$

$$K_M = 0,8$$

$$P_p := P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} + P_{p4} + P_{p5} + P_{p6} + P_{p7} + P_{p8} + P_{p9} + P_{p10} + P_{p11} + P_{p12}$$

$$P_p = 61,244 \text{ кВт}$$

Расчетная суммарная реактивная мощность строительной площадки, где K_M - коэффициент участия в получасовом максимуме нагрузки, для строительной площадки ($K_M = 0,75 \dots 0,8$).

$$Q_p = K_M \sum_{i=1}^{12} Q_{pi}$$

$$Q_p := Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{p4} + Q_{p5} + Q_{p6} + Q_{p7} + Q_{p8} + Q_{p9} + Q_{p10} + Q_{p11} + Q_{p12}$$

$$Q_p = 38,312 \text{ кВт}$$

Таблица 2 - Расчётные мощности механизмов

Номер на плане	Наименование и тип механизма	P_n , установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт	Расчётная мощность	
			P_p , кВт	Q_p , квар
1	Башенный кран КБ306Б	19	7,6	10,13
2,5,8,10	Сварочный трансформатор ТСП-2	14,39	3,6	5,46
3,7, 11	Светильник ККУ03-20000-001x1	20	12	0
4	Агрегат смесительно-штукатурный СО-57Б	5.5	2.2	1.3
6	Машина шлифовальная со ША	3	0.9	0.6
9	Компрессор 7К5	17	11.9	8.9
12	Сварочный трансформатор СТШ-250	11,85	3.555	5.12

2.Выбор мощности, тип и места расположения трансформаторной подстанции.

Для оценки величины реактивной мощности применяют средневзвешенный коэффициент реактивной мощности. Средневзвешенный тангенс угла сдвига фаз определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}(\varphi_c) = Q_p / P_p \quad \operatorname{tg}(\varphi_c) = 0,625$$

Полная мощность строительной площадки:

$$S = \sqrt{(1,05 \cdot P_p)^2 + Q_p^2} \quad S = 74,85 \text{ кПа}$$

где 1,05-коэффициент, учитывающий запас активной мощности (5%) необходимый для покрытия потерь в электрической сети строительной площадки.

Такую мощность может обеспечить комплектная трансформаторная подстанция КТП-100-10-81У1 с $S_T = 100$ кВт.

Коэффициент загрузки установленного трансформатора находится по формуле:

$$\beta = \frac{S}{S_T} \quad \beta = 0,75$$

Таблица 3 - Координаты электроприёмников на плане

Координаты и расчетная мощность на плане	Номер приёмника на генплане											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X_i, \text{ м}$	58,2	18	18,9	15,6	40,1	58,9	79,6	96,6	124,1	127,4	140,9	140,2
$Y_i, \text{ м}$	38,8	29,7	46	54,6	50,9	65	52	51,8	40	54,62	52	30,1
$P_i, \text{ кВт}$	19	14,39	20	5,5	14,39	3	20	14,39	17	14,39	20	11,85

Минимальные потери напряжения и мощности в электрической сети строительной площадки будут в случае расположения ТП в центре электрических нагрузок.

Теоретические координаты центра электрических нагрузок определяются из выражений:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{12} p_{pi}} \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{12} p_{pi}}$$

$$X = 80,43 \text{ м}$$

$$Y = 45,52 \text{ м}$$

					<i>ПС – __ - __ - __ РГР №1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

Расчет токов и выбор предохранителей

Разбиваем всех потребителей на две группы:

1.Трехфазные приемники, включаемые на линейное напряжение. Для трехфазных потребителей расчетные ток определяется из следующего выражения:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}$$

где I_p - расчетный ток электроприемника, А;

P_H , U_H , $\cos \varphi$ – номинальные мощности, Вт, напряжения, В, и коэффициента мощности электроприемника

$$U_H = 380 \text{ В} \quad U_\phi = 220 \text{ В}$$

$$I_{p4} = \frac{P_{H4}}{\sqrt{3} U_{H4} \cos(\varphi_4)} \quad I_{p4} = 9,7 \text{ А}$$

$$I_{p6} = \frac{P_{H6}}{\sqrt{3} U_{H6} \cos(\varphi_6)} \quad I_{p6} = 5,5 \text{ А}$$

$$I_{p9} = \frac{P_{H9}}{\sqrt{3} U_{H9} \cos(\varphi_9)} \quad I_{p9} = 32,3 \text{ А}$$

Провода и кабели, выбранные по расчетному току, могут испытывать нагрузки, значительно превышающие допустимые из-за перегрузок электроприемников, возникновения однофазных и многофазных коротких замыканий. Для защиты электрических сетей в аварийных режимах применяют плавкие предохранители. При защите электродвигателей с небольшой частотой пуска и малой длительностью разгона (насосы, вентиляторы, компрессоры, станки) ток плавкой вставки предохранителя находится по формуле:

$$I_{вст} \geq \frac{I_n}{2,5}$$

где I_n – пусковой ток, А.

Пусковой ток двигателя определяется по формуле:

$$I_n = I_p \cdot K_1$$

где $I_n = I_n$ – номинальный, паспортный ток двигателя, А

$K_1 = \frac{I_p}{I_n}$ – кратность пускового тока двигателя, приводится в технических характеристиках оборудования

$$I_{п4} = I_{p4} \cdot K_4 \quad I_{п4} = 67,9 \text{ А}$$

$$I_{п6} = I_{p6} \cdot K_6 \quad I_{п6} = 33 \text{ А}$$

$$I_{п9} = I_{p9} \cdot K_9 \quad I_{п9} = 226,1 \text{ А}$$

$$I_{\text{вст}4} = \frac{I_{\text{п}4}}{2,5} \quad I_{\text{вст}4} = 27,16\text{А}$$

$$I_{\text{вст}6} = \frac{I_{\text{п}6}}{2,5} \quad I_{\text{вст}6} = 13,2\text{А}$$

$$I_{\text{вст}9} = \frac{I_{\text{п}9}}{2,5} \quad I_{\text{вст}9} = 90,44\text{А}$$

Расчет тока башенного крана

Башенный кран является многодвигательным агрегатом: подъем груза – двигатель мощностью 15 кВт; поворот стрелы – двигатель мощностью 5 кВт; подъем стрелы – двигатель мощностью 7,5 кВт; три двигателя перемещения крана мощностью по 3,5 кВт. Машинист башенного крана одновременно может выполнять не более двух операций (по правилам госгортехнадзора), следовательно будем считать, что одновременно могут работать наиболее мощных электродвигателя – подъем груза и подъем стрелы. Тогда расчетные токи двигателей подъема груза I_{pk1} и подъема стрелы I_{pk3} определяются по формуле для трехфазных приемников, включаемых на линейное напряжение. Они будут равны:

$$I_{pk1} = \frac{P_{\text{нк}1}}{\sqrt{3}U_{\text{н}} \cos(\varphi 1)} \quad I_{pk1} = 38\text{А}$$

$$I_{pk3} = \frac{P_{\text{нк}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}} \cos(\varphi 3)} \quad I_{pk3} = 12,6\text{А}$$

$$I_{p0} = I_{pk1} + I_{pk3} \quad I_{p0} = 50,6\text{А}$$

Пусковой ток главного двигателя (подъемной стрелы) будет равен:

$$I_{\text{п}1} = I_{pk1} \cdot K_1 \quad I_{\text{п}1} = 190\text{А}$$

Тогда ток плавкой вставки для защиты электрооборудования крана найдем по формуле:

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{I_{\text{пг}} + \sum_i I_{pk_i}}{2,5}$$

где $I_{\text{пг}}$ –пусковой ток самого мощного (главного) двигателя в механизме, А;

I_{pk_i} –расчетные токи остальных двигателей, работающих в номинальном режиме, А.

$$I_{\text{вст}} = \frac{I_{\text{п}1} + I_{pk1} + I_{pk3}}{2,5} \quad I_{\text{вст}} = 96,24\text{А}$$

2. Электроприемники, включаемые на фазное напряжение (сварочный трансформатор и прожекторные установки). Для однофазных потребителей расчетный ток определяется из следующего выражения:

$$I_p = \frac{P_n}{U_\phi \cos(\varphi)}$$

где I_p – расчетный ток электроприемника, А;

P_n – номинальные значения мощности, Вт;

$\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности электроприемника;

U_ϕ – фазное напряжение, В, соответствующее линейному (номинальному) напряжению (приводятся в технических характеристиках электрооборудования).

$$I_{p2} = \frac{P_{n2}}{U_\phi \cos(\varphi2)} \quad I_{p2} = 63,1A$$

$$I_{p3} = \frac{P_{n3}}{U_\phi \cos(\varphi3)} \quad I_{p3} = 52,6A$$

$$I_{p5} = \frac{P_{n5}}{U_\phi \cos(\varphi5)} \quad I_{p5} = 63,1A$$

$$I_{p7} = \frac{P_{n7}}{U_\phi \cos(\varphi7)} \quad I_{p7} = 52,6A$$

$$I_{p8} = \frac{P_{n8}}{U_\phi \cos(\varphi8)} \quad I_{p8} = 63,1A$$

$$I_{p10} = \frac{P_{n10}}{U_\phi \cos(\varphi10)} \quad I_{p10} = 63,1A$$

$$I_{p11} = \frac{P_{n11}}{U_\phi \cos(11)} \quad I_{p11} = 52,6A$$

$$I_{p12} = \frac{P_{n12}}{U_\phi \cos(\varphi12)} \quad I_{p12} = 54,7A$$

Номинальный ток плавкой вставки для защиты линий, питающих потребителей без пусковых токов выбираются из условия:

$$I_{вст} \geq 1,2 \cdot I_p$$

$$I_{вст2} = 1,2 \cdot I_{p2} \quad I_{вст2} = 75,72 \text{ А}$$

$$I_{вст3} = 1,2 \cdot I_{p3} \quad I_{вст3} = 63,12A$$

$$I_{вст5} = 1,2 \cdot I_{p5} \quad I_{вст5} = 75,72 \text{ А}$$

$$I_{вст7} = 1,2 \cdot I_{p7} \quad I_{вст7} = 63,12 \text{ А}$$

$$I_{вст8} = 1,2 \cdot I_{p8} \quad I_{вст8} = 75,72 \text{ А}$$

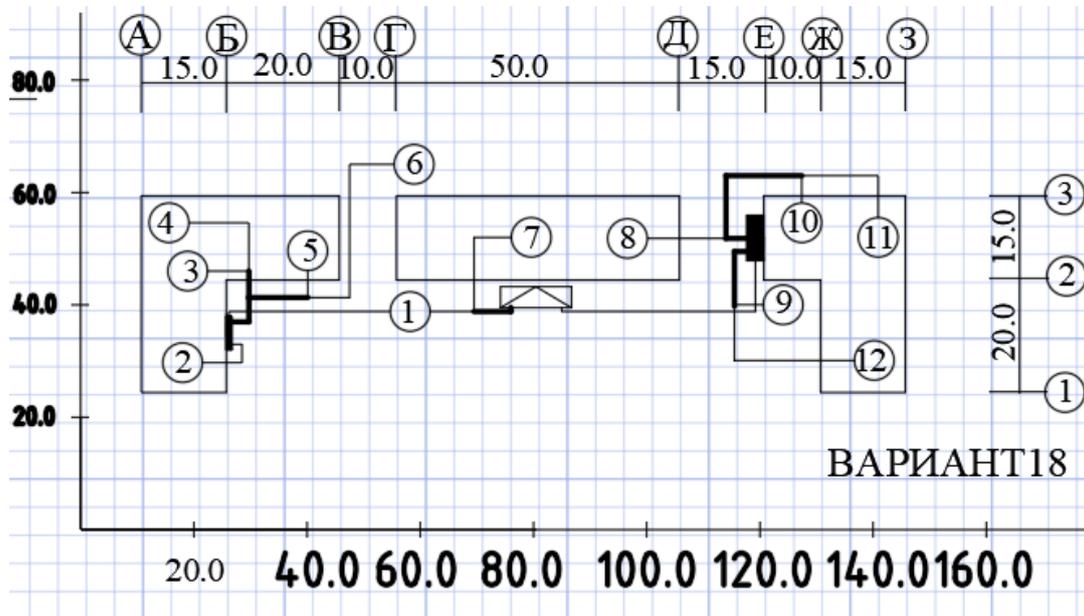


Рисунок 2 - Схема внутренних электрических сетей

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ПС - __ - __ - __ РГР №1

Выбор сечения проводов

Выбираем:

Таблица 5 - Сечение жил кабелей распределительной сети стройплощадки

Номер на плане	Наименование и тип механизма	Расчетный ток, I_p , А	Сечение жилы, мм	Допускаемый ток, А	Сопротивление r_0 , Ом/км
1	Башенный кран КБ306Б	38	6	45	2,6
2,5,8,10	Сварочный трансформатор ТСП-2	63,1	10	75	1,7
3,7, 11	Светильник ККУ03-20000-001x1	52,6	16	96	0,64
4	Агрегат смесительно-штукатурный СО-57Б	9,7	0,75	14	22,6
6	Машина шлифовальная со ША	5,5	2,5	19	12,6
9	Компрессор 7К5	32,3	10	42	3,16
12	Сварочный трансформатор СТШ-250	57,4	10	75	1,7

Потери напряжения в линии для однофазных нагрузок определяются по формуле:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_\phi} \cdot 100\%$$

Потери напряжения в линии для трехфазных нагрузок определяются по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_H} \cdot 100\%$$

где I_p – расчетный ток, l – длина линии, км

U_{ϕ} , U_H – соответственно напряжение однофазной и номинальное напряжение трехфазной линии, В

r_0 , x_0 – активное и индуктивное сопротивление однофазного провода, Ом ($x_0=0,07$ Ом/м,

r_0 – зависит от сечения и материала проводника).

Определим потери напряжения для всех кабелей:

$$\Delta U1 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p1} \cdot l1 \cdot (r_{01} \cdot \cos \varphi1 + x_0 \cdot \sin \varphi1)}{U_H} \cdot 100\% \quad \Delta U1 = 0,416\%$$

$$\Delta U2 = \frac{2 \cdot I_{p2} \cdot l2 \cdot (r_{02} \cdot \cos \varphi2 + x_0 \cdot \sin \varphi2)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U2 = 0,735\%$$

$$\Delta U3 = \frac{2 \cdot I_{p3} \cdot l3 \cdot (r_{03} \cdot \cos \varphi3 + x_0 \cdot \sin \varphi3)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U3 = 0,65\%$$

$$\Delta U4 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p4} \cdot l4 \cdot (r_{04} \cdot \cos \varphi4 + x_0 \cdot \sin \varphi4)}{U_H} \cdot 100\% \quad \Delta U4 = 1,95\%$$

$$\Delta U5 = \frac{2 \cdot I_{p5} \cdot l5 \cdot (r_{05} \cdot \cos \varphi5 + x_0 \cdot \sin \varphi5)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U5 = 1,37\%$$

$$\Delta U6 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p6} \cdot l6 \cdot (r_{06} \cdot \cos \varphi6 + x_0 \cdot \sin \varphi6)}{U_H} \cdot 100\% \quad \Delta U6 = 1,5\%$$

$$\Delta U7 = \frac{2 \cdot I_{p7} \cdot l7 \cdot (r_{07} \cdot \cos \varphi7 + x_0 \cdot \sin \varphi7)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U7 = 0,92\%$$

$$\Delta U8 = \frac{2 \cdot I_{p8} \cdot l8 \cdot (r_{08} \cdot \cos \varphi8 + x_0 \cdot \sin \varphi8)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U8 = 1,07\%$$

$$\Delta U9 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p9} \cdot l9 \cdot (r_{09} \cdot \cos \varphi9 + x_0 \cdot \sin \varphi9)}{U_H} \cdot 100\% \quad \Delta U9 = 1,22\%$$

$$\Delta U10 = \frac{2 \cdot I_{p10} \cdot l10 \cdot (r_{010} \cdot \cos \varphi10 + x_0 \cdot \sin \varphi10)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U10 = 2,01\%$$

$$\Delta U11 = \frac{2 \cdot I_{p11} \cdot l11 \cdot (r_{011} \cdot \cos \varphi11 + x_0 \cdot \sin \varphi11)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U11 = 1,83\%$$

$$\Delta U12 = \frac{2 \cdot I_{p12} \cdot l12 \cdot (r_{012} \cdot \cos \varphi12 + x_0 \cdot \sin \varphi12)}{U_{\phi}} \cdot 100\% \quad \Delta U12 = 2,24\%$$

