

Расчетная электрическая мощность S_p определяется по формуле, кВт:

$$S_p = \frac{P_{\max}}{K_{к.п} \cdot \eta \cos \varphi},$$

где P_{\max} – максимальная электрическая мощность, кВт; η и $\cos \varphi$ – КПД и коэффициент мощности (их произведение можно принять равным 0,9); $K_{к.п}$ – коэффициент кратковременной перегрузки трансформатора (ориентировочно 1,3–1,5).

Максимальная электрическая мощность P_{\max} при ρ_{\min} определяется по формуле

$$P_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{\max}}{10^3},$$

где I_{\max} – максимальная сила тока, А.

При соединении разогревателей установки в цепь треугольником

$$I_{\max} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}; \quad U_{\phi} = U_n,$$

где фазный ток I_{ϕ} будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi}} = \frac{U_n}{R_{\phi}}.$$

Здесь R_{ϕ} – сопротивление бетонной смеси, находящейся между двумя соседними электродами, Ом;

$$R_{\phi} = \rho_{\min} \frac{l}{S},$$

где l – расстояние между электродами, см.

Подставляя значение I_{\max} , I_{ϕ} , R_{ϕ} в формулу значения P_{\max} , получим

$$P_{\max} = \frac{U_n^2 \cdot V}{1000 \cdot \rho_{\min} \cdot l^2}.$$

Номинальная (установленная) мощность трансформатора принимается из условия $S_n \geq S_p$. Максимальную силу тока можно вывести из формулы по определению максимальной электрической мощности P_{\max} , тогда

$$I_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n}.$$

Вся аппаратура для поста электроразогрева смеси должна быть подобрана с учетом максимальной силы тока. Производительность установок по электроразогреву смеси непрерывным способом будет равна:

$$\Pi = 3600 \cdot F' \cdot V,$$

где F' – площадь сечения потока бетонной смеси, см²; V – скорость движения ленты, м/мин.

3.1.2. Расчет параметров установки по электроразогреву бетонной смеси

Задача. Рассчитать параметры установки по электроразогреву бетонной смеси при следующих исходных данных: сменная производительность 80 м³; длительность смены $T_{см}$ – 8,0 ч; начальная температура бетонной смеси $t_n = +10$ °С; конечная температура разогрева бетонной смеси $t_k = +80$ °С; время разогрева бетонной смеси $\tau_p = 10$ мин; начальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси $\rho_n = 700$ Ом·см; минимальное $\rho_{\min} = 409$ Ом·см; плотность смеси $\gamma_b = 2400$ кг/м³; удельная теплоемкость $C = 0,25$ ккал/кг·град; напряжение в сети $U = 380$ В.

Решение:

1. Определим удельный расход электроэнергии с учетом теплопотерь в окружающую среду

$$W_{\text{уд}} = q_0 \frac{C \cdot \gamma_b}{864} \Delta t = 1,3 \frac{0,25 \cdot 2400 \cdot 70}{864} = 63 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3.$$

2. Найдем расчетное значение удельного электрического сопротивления

$$\rho_p = \frac{\rho_{\text{н}} + \rho_{\text{мин}}}{2} = \frac{700 + 490}{2} = 595 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

3. Вычислим расстояние между электродами

$$l = \frac{U_n}{\sqrt{\frac{60 \cdot W_{\text{уд}} \cdot \rho_p}{1000 \cdot \tau_p}}} = \frac{380}{\sqrt{\frac{60 \cdot 63 \cdot 595}{1000 \cdot 10}}} = 25 \text{ см}.$$

4. Определим объем разогреваемой смеси

$$V = \Pi \cdot \tau_p = \frac{80 \cdot 10}{8 \cdot 60} = 1,66 \text{ м}^3.$$

5. Рассчитаем максимальную электрическую мощность

$$P_{\text{max}} = \frac{U_n^2 \cdot V}{1000 \cdot \rho_{\text{мин}} \cdot l^2} = \frac{380^2 \cdot 1,66 \cdot 10^6}{1000 \cdot 490 \cdot 25^2} = 782 \text{ кВт}.$$

6. Определим количество электродов (δ электрода = 1 см)

$$n_3 = 3 \cdot n + 1 = 3 \cdot 2 + 1 = 7.$$

Тогда количество отсеков установки будет:

$$3 \cdot n = n_3 - 1 = 7 - 1 = 6.$$

7. Найдем ширину установки (бункера)

3. Предварительный разогрев бетонной смеси

$$b = (n_3 - 1)l + n_3 \cdot \delta = 6 \cdot 25 + 7 \cdot 1 = 157 \text{ см}.$$

8. Определим активную поверхность электрода

$$F = \frac{V_6 \cdot 10^6}{b} = \frac{1,66 \cdot 10^6}{157} = 10573 \text{ см}^2.$$

9. Рассчитаем длину электрода, приняв высоту бадьи $h = 80$ см,

$$l = \frac{F}{h} = \frac{10573}{80} = 132 \text{ см}.$$

10. Определим максимальный линейный ток

$$I_{\text{max}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{10^3 \cdot 782}{1,73 \cdot 380} = 1190 \text{ А}.$$

11. Найдем расчетную электрическую мощность

$$S_p = \frac{P_{\text{max}}}{K_{\text{к.п}} \eta \cos \varphi} = \frac{782}{1,5 \cdot 0,9} = 580 \text{ кВт}.$$

3.1.3. Пример расчета предварительного электроразогрева бетонной смеси

Исходные данные:

Конструкция плита	6×6×0,5 (h), м
Город	г. Барнаул
Месяц	ноябрь
Температура предварительного разогрева бетонной смеси	$t_{\text{раз}} = +75 \text{ }^\circ\text{C}$
Время перевозки	$\tau_{\text{пер}} = 8 \text{ мин}$
Высота подъема краном	$H_{\text{под}} = 12 \text{ м}$
Марка автомобиля	ГАЗ-93
Время укладки	$\tau_{\text{укл}} = 10 \text{ мин}$

Тип опалубки	V
Класс бетона	B15
Расход цемента	$\Pi = 350 \text{ кг/м}^3$
Марка цемента	M400
Расход арматуры	$P_a = 70 \text{ кг/м}^3$
Температура бетона конечная	$t_{б.к} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура бетона начальная до разогрева	$t_{б.н} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$

Решение:

1. Определим объем бетона конструкции:

$$V_6 = 6 \cdot 6 \cdot 0,5 = 18 \text{ м}^3.$$

2. Рассчитываем поверхность охлаждения конструкции:

$$F_{\text{охл}} = 4 \cdot 6 \cdot 0,5 + (6 \cdot 6)2 = 84 \text{ м}^2.$$

3. Определим модуль поверхности конструкции:

$$M_{\text{п}} = \frac{F_{\text{охл}}}{V_6} = \frac{84}{18} = 2,67 \text{ м}^{-1}.$$

4. Определим суммарное относительное снижение температуры бетонной смеси при всех операциях: при транспортировании, перегрузке, укладке и уплотнении.

4.1. При транспортировании:

$$\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t'_{\text{тр}} \cdot \tau_{\text{тр}} = 0,0037 \cdot 8 = 0,0296 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C},$$

где $\Delta t'_{\text{тр}}$ – относительное снижение средней температуры бетонной смеси при транспортировке (табл. П.4.1).

4.2. При перемещении краном:

$$\Delta t_{\text{пер}} = 0,0022 \cdot H_{\text{под}} = 0,0022 \cdot 12 = 0,0264 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C}.$$

4.3. При перегрузке и погрузке: $\Delta t_{\text{п}} = 0,032 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C}.$

4.4. При укладке и уплотнении

$$\Delta t_{\text{упл}} = \Delta t'_y \cdot \tau_{\text{упл}} = 0,004 \cdot 10 = 0,04 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C},$$

где $\Delta t'_y$ – относительное снижение средней температуры бетонной смеси при уплотнении и укладке (табл. П.4.2).

4.5. Определим суммарное относительное снижение температуры:

$$\begin{aligned} \sum \Delta t_{\text{тр}} &= \Delta t_{\text{тр}} + \Delta t_{\text{пер}} + \Delta t_{\text{п}} + \Delta t_{\text{упл}} = \\ &= 0,0296 + 0,0264 + 0,032 + 0,04 = 0,128 \text{ }^\circ\text{C/}^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

5. Определим начальную среднюю температуру бетонной смеси после укладки в опалубку, уплотнения и укрытия:

$$t_{\text{раз}} = \frac{t_{б.н} - t_{н.в} \sum \Delta t_{\text{тр}}}{1 - \sum \Delta t_{\text{тр}}},$$

где $t_{б.н}$ – температура бетона начальная, $^\circ\text{C}$; $t_{см}$ – температура бетонной смеси при выходе из транспортного средства, $^\circ\text{C}$; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$ (табл. П.4.3).

$$t_{б.н} = 75(1 - 0,128) + (-7,9)0,128 = 64,39 \approx 64,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

6. Определим температуру бетона с учетом нагрева арматуры:

$$t'_{б.н} = \frac{C_б \cdot \gamma_б \cdot t_{б.н} + C_a \cdot P_a \cdot t_{н.в}}{C_б \cdot \gamma_б + C_a \cdot P_a},$$

где C_a – удельная теплоемкость арматуры, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $C_a = 0,48 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $C_б$ – удельная теплоемкость бетона, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $C_б = 1,05 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $\gamma_б$ – объемная масса бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\gamma_б = 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$; P_a – расход арматуры, $\text{кг}/\text{м}^3$; $t_{б.н}$ – температура бетона начальная, $^\circ\text{C}$; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$ (табл. П.4.3).

$$t'_{б.н} = \frac{1,05 \cdot 2400 \cdot 64,4 + 0,48 \cdot 70(-7,9)}{1,05 \cdot 2400 + 0,48 \cdot 70} = 63,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7. Определим среднюю температуру остывания бетона:

$$t_{б.ср} = t_{б.к} + \frac{t'_{б.н} - t_{б.к}}{1,03 + 0,181 \cdot M_n + 0,006(t'_{б.н} - t_{б.к})};$$

$$t_{б.ср} = 5 + \frac{63,4 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 4,67 + 0,006(63,4 - 5)} = 31,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

8. Пренебрегая тепловыделением цемента (экзотермия), определим время остывания бетона по формуле Б.Г. Скрамтаева:

$$\tau_o = \frac{C_b \cdot \gamma_b (t'_{б.н} - t_{б.к})}{3,6 \cdot K_r \cdot M_n (t_{б.ср} - t_{н.в})},$$

где $K_{оп}$ – коэффициент теплопередачи опалубки, зависит от конструкции опалубки и скорости ветра (табл. П.4.4).

$$\tau_o = \frac{1,05 \cdot 2400(63,4 - 5)}{3,6 \cdot 1,07 \cdot 4,67(31,2 - (-7,9))} = 209,2,$$

где $\tau_o = 8,7$ сут.

9. Определим прочность, которую наберет бетон за время остывания $\tau_{ост} = 209,2$ ч, и среднюю температуру остывания бетона $t_{б.ср} = 31,2$ °С. По номограмме, для бетона марки М200 (В15) на портландцементе М400 бетон набирает 100 % от R_{28} (рис. П.4.1).

10. Определим необходимую электрическую мощность для разогрева бетонной смеси:

$$P = \frac{C_b \cdot \gamma_b (t_{раз} - t_{б.н}) 1,16 \cdot K \cdot 60 \cdot V_b}{1000 \cdot 4,18 \cdot K_{эп} \cdot T_p},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери тепла в процессе разогрева, $K = 1,1$; V_b – объем одновременно разогреваемой порции бетонной смеси (табл. П.4.1); $K_{эп}$ – коэффициент использования электроэнергии; $K_{эп} = 0,95$; T_p – время разогрева бетонной смеси; $T_p = 13$ мин.

$$P = \frac{1,05 \cdot 2400(75 - 5) 1,16 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 1,4}{1000 \cdot 4,18 \cdot 0,95 \cdot 13} = 366,3.$$

11. Принимаем силовой трансформатор мощностью 400 кВт типа ТМ 400/10 (табл. П.4.5).

12. Расход электрической энергии на разогрев 1 м^3 бетонной смеси:

$$W = \frac{P_{ном} \cdot T_p}{60 \cdot V_b},$$

где $P_{ном}$ – номинальная (паспортная) мощность выбранного трансформатора, кВт,

$$W = \frac{400 \cdot 13}{60 \cdot 1,4} = 61,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3.$$

3.2. Предварительный разогрев бетонной смеси паром в миксере автобетоносмесителя

Термообработка бетона предусматривает паропрогрев миксера в автобетоносмесителе, типа СБ-92, непосредственно на строительной площадке (10–15 мин) и укладку в утепленную опалубку с последующим остыванием бетона. Необходимость утепления диктуется требованием такого режима энергообмена бетона в опалубке с окружающей средой, чтобы произошло постепенное (не более 5 °С) остывание конструкции, что гарантирует ее трещиностойкость.