

1 Электрический расчет печи

Таблица 1 - Данные для расчета

$P_{п},$ кВт	$H_{п},$ мм	$D_{п},$ мм	Конструкция печи	$t_{изд}, ^\circ C$	Материал изделия	Конструкция нагревателя
25	800	600	шахтная	900	сталь	Проволочная спираль на керамической полочке

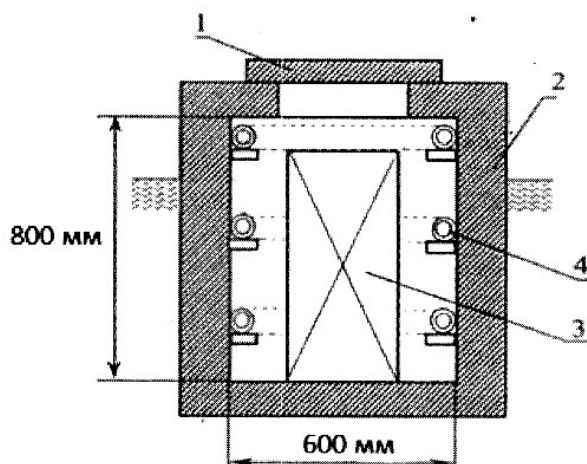


Рисунок 1 - Шахтная печь: 1-крышк; 2- футеровка; 3- нагреваемое изделие; 4 – нагреватель.

1. Определяем удельную поверхностную тепловую мощность $P_{уд}$ на внутренней поверхности печи, где расположен нагреватель:

Площадь футеровки находим по формуле:

$$F_{фут} = \pi \cdot D_{п} \cdot H_{п} = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 1,508 \text{ м}^2$$

Удельная мощность мечи

$$P_{уд} = \frac{P_{п}}{F_{фут}} = \frac{25}{1,508} = 16,578 \text{ кВт} / \text{м}^2.$$

По номограмме определим необходимое значение температуры нагревателя t_H и ориентировочное значение $W_{ид}$.

$$t_H = 900^\circ C; \quad t_H = 1000^\circ C; \quad W_{ид} = 3 \cdot 10^4 \text{ Вт} / \text{м}^2;$$

2. Выбираем материал нагревателя из условия $t_{M.P.} > t_H + 50$;

$$t_{M.P.} > 1000 + 50; \quad t_{M.P.} > 1050.$$

Следовательно выбираем материал при максимальной рабочей температуре равной 1050°C. Материал – Двойной нихром Х20Н80.

3. Определим $W_{\text{ид}}$ для стали по известным $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{и}}$.

$$W_{\text{ид}} = 3 \cdot 10^4 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

4. Определим удельную поверхностную мощность реального нагревателя (где коэффициент $\alpha = 0,39$ определяют для заданной конструкции нагревателя и материала нагреваемого изделия)

$$W = \alpha \cdot W_{\text{ид}} = 0,39 \cdot 3 \cdot 10^4 = 1,17 \cdot 10^4 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

5. Определим мощность одного нагревательного элемента

$$P_{\text{нд}} = P_{\text{п}} / (m_{\text{ф}} \cdot n) = 25 / (3 \cdot 1) = 8,333 \text{ кВт}.$$

6. Определим размеры нагревательного элемента для проволочного спирального нагревателя круглого сечения (d).

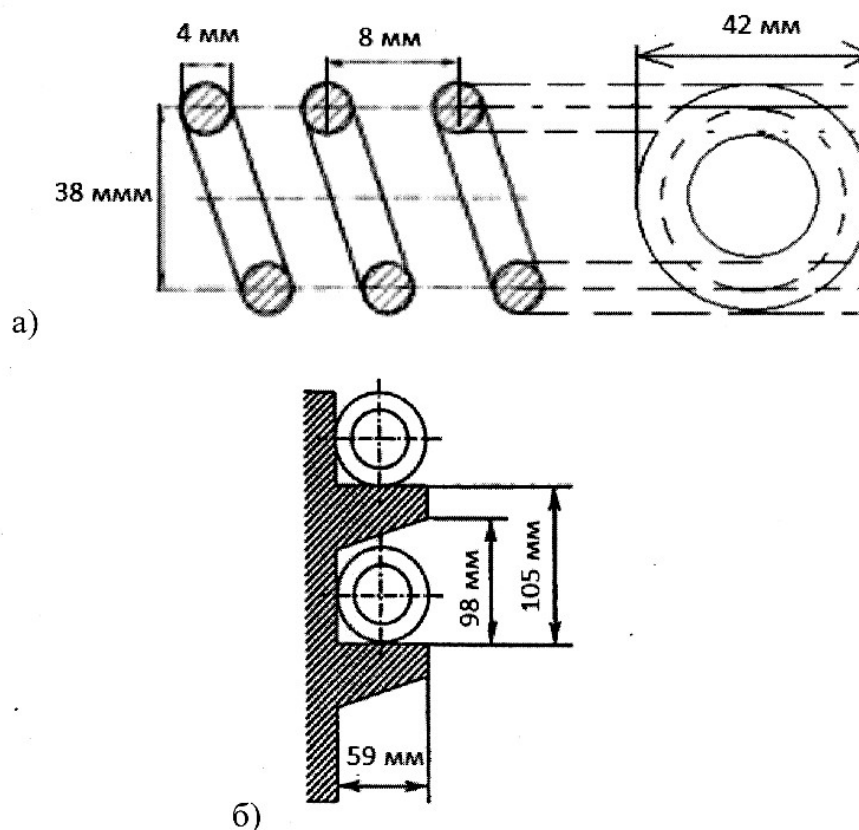


Рисунок 2 – проволочный спиральный нагреватель; а)-общий вид; б)-проволочная спираль на керамической полочке

При этом удельное электрическое сопротивление равно

$$\rho = 1,1 + 8,5 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{н}} = 1,1 + 8,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 = 1,185 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Для проволочного нагревателя круглого сечения, диаметром d получим выражение:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P_{HЭ}^2}{3,14^2 \cdot U_{HЭ}^2 \cdot W}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,185 \cdot 10^{-6} \cdot (8,333 \cdot 10^3)^2}{3,14^2 \cdot 220^2 \cdot 1,17 \cdot 10^4}} = 3,891 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Выбираем диаметр проволоки из стандартного ряда равной 4 мм

Определим длину $L_{HЭ}$ и массу $G_{HЭ}$ нагревательного элемента

$$S_{HЭ} = 3,14 \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 1,257 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$L_{HЭ} = \frac{U_{HЭ}^2 \cdot S_{HЭ}}{P_{HЭ} \cdot \rho} = \frac{220^2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-5}}{8,333 \cdot 10^3 \cdot 1,185 \cdot 10^{-6}} = 61,591 \text{ м};$$

Исходя из табличных данных плотность $\gamma = 8400 \text{ кг/м}^3$

$$G_H = \gamma \cdot S_{HЭ} \cdot 3L_{HЭ} = 8400 \cdot 1,257 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 61,591 = 19,504 \text{ кг};$$

7. Определим общую длину спирали в свернутом виде

$$d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad s/d = 2 \quad \Rightarrow \quad s = 2 \cdot d = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$D_0/d = 9 \Rightarrow D_0 = 9 \cdot d = 9 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,038 \text{ м}$$

$$L_H = 3L_{HЭ} = 184,773 \text{ м};$$

$$L_{cn} = \frac{L_H \cdot s}{3,14 \cdot D_0} = \frac{184,773 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,038} = 12,382 \text{ м};$$

$$D = D_0 + d = 0,038 + 0,004 = 0,042 \text{ м}$$

8. Определим площадь поверхности нагревателя F_H (проволочный спиральный нагреватель на полочке)

$$\varphi_{12H} = 0,34; \quad \varphi_{12HH} = 0,382;$$

$$F_H = \frac{3,14^2 \cdot D_0 \cdot d \cdot L_{cn}}{s} = \frac{3,14^2 \cdot 0,038 \cdot 0,004 \cdot 12,382}{0,008} = 2,302 \text{ м}^2;$$

9. Определим взаимные поверхности облучения

$$F_{12} = F_{13} = F_H \cdot \varphi_{12H} \cdot \varphi_{12HH} = 2,302 \cdot 0,34 \cdot 0,382 = 0,302 \text{ м}^2;$$

$$F_{32} = F_{\text{фум}} - F_H \cdot \varphi_{12H} \cdot \varphi_{12HH} = 1,508 - 2,302 \cdot 0,34 \cdot 0,382 = 1,206 \text{ м}^2;$$

10. Определим активную поверхность нагревателя

$$F_{\text{акт}} = \frac{(1 - \gamma) \cdot [F_{13} \cdot (F_{12} + F_{32}) + F_{12} \cdot F_{32}]}{F_{13}(1 - \gamma) + F_{32}} =$$

$$= \frac{(1 - 0,25) \cdot [0,302 \cdot (0,302 + 1,206) + 0,302 \cdot 1,206]}{0,302 \cdot (1 - 0,25) + 1,206} = 0,429 \text{ м}^2$$

11. Определим температуру нагревателя

$$T_H = 100 \cdot \sqrt[4]{0,335 \cdot P_H \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_H \cdot F_{\text{фум}}} + \frac{1}{10 \cdot F_{\text{АКТ}}} \right) + \left(\frac{T_{\text{и}}}{100} \right)^4} =$$

$$= 100 \cdot \sqrt[4]{0,335 \cdot 8,333 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1}{0,8 \cdot 1,508} + \frac{1}{10 \cdot 0,429} \right) + \left(\frac{900 + 273}{100} \right)^4} = 1238 \text{ K};$$

$$t_H = T_H - 273 = 1238 - 273 = 964,858^\circ\text{C}.$$

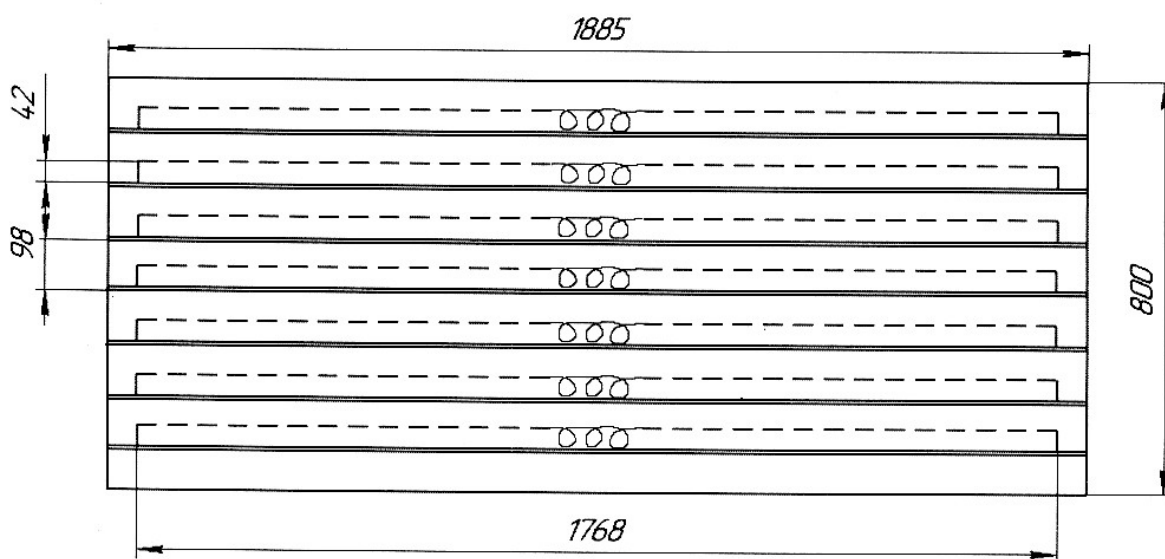


Рисунок 3 – Схематичное расположение нагревателей

Вывод: выбранный материал нагревательного элемента: Двойной нихром Х20Н80.

По графикам, приведенным в п.9 делаем вывод, что рассчитанный нагреватель работоспособен и его срок службы при данных условиях составляет 10000 часов.

2 Список литературы

1. Коврижин Б.Н., Седов А.В. / Электрический расчет электрической печи сопротивления.

1 Расчет индуктора для сквозного нагрева

Таблица 1 – Исходные данные

Диаметр загрузки d_2 , мм	Высота загрузки h_2 , мм	Материал загрузки	Напряжение на индукторе, В	Конечная температура нагрева t_0 , °C
30	100	Алюминий	750	600

Расчет размеров индуктора

Зазор между индуктором и заготовкой:

$$d_1 = d_2 + 0,02 = 0,03 + 0,02 = 0,05 \text{ м}$$

Длина индуктора:

$$h_1 = h_2 + 1,5d_2 = 0,1 + 1,5 * 0,03 = 0,145 \text{ м}$$

Внутренний диаметр тепловой изоляции:

$$d_3 = 1,1d_2 = 1,1 * 0,03 = 0,033 \text{ м}$$

Мощность тепловых потерь для цилиндрических индукторов с шамотной изоляцией:

$$\Delta P_T = \frac{3,74h_1}{\lg(\frac{d_1}{d_3})} = \frac{3,74 * 0,1}{\lg(\frac{0,05}{0,033})} = 2,073 \text{ кВт}$$

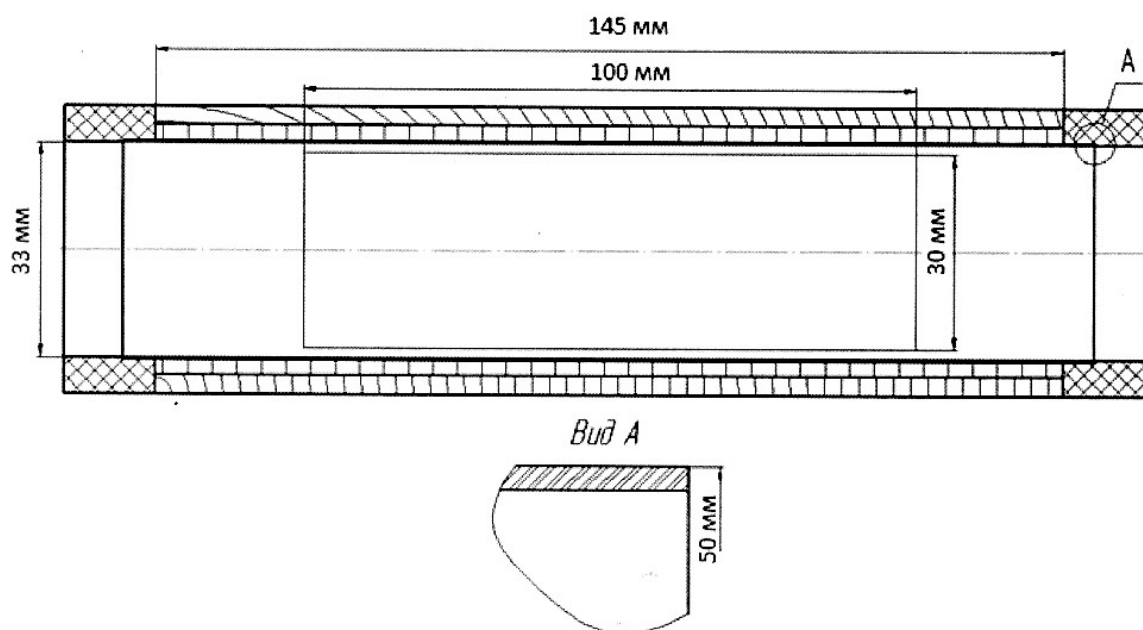


Рисунок 1 – Эскиз индуктора

1. Выбор частоты питающего тока.

По табл. 4 [1] определяем частоту тока для сквозного нагрева изделий из цветных металлов (Алюминий) по следующим параметрам: $d_2 = 30$ мм, конечная температура нагрева $t_0 = 600$ °С. Оптимальная частота 1000 Гц.

2. Определение времени нагрева и удельной поверхностной мощности

Время нагрева детали:

$$\begin{aligned}\tau_k &= 1,98 * 10^4 * d_2^2 * (S(\alpha, 1) - 1,15 * S(\alpha, 0)) \\ &= 1,98 * 10^4 * 0,03^2 * (0,08 - 1,15 * (-0,1183)) = 3,849 \text{ с}\end{aligned}$$

Удельная поверхностная мощность:

$$F_0 = \alpha * \tau_k / R_2^2 = 843 * 10^{-7} * 3,849 / 0,015^2 = 1,442$$

$$p_0 = \frac{\lambda * t_0}{2 * R_2 * (F_0 + S(\alpha, 1))}$$

$$p_0 = \frac{204 * 600}{2 * 0,015 * (1,442 + 0,08)} = 26,807 * 10^5 \text{ Вт/м}^2$$

Таблица 3 – Теплопроводности металлов

Металл	Сталь	Медь	Алюминий	Цинк	Никель
$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * ^\circ\text{С}}$	41,9	384	204	116	58,2

3. Электрический расчет

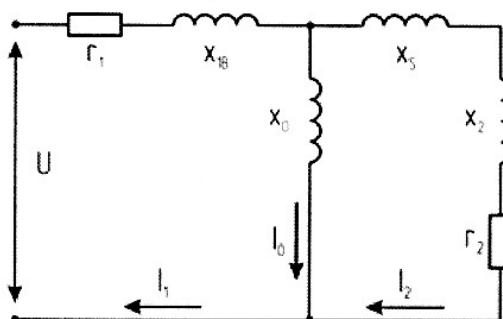


Рисунок 2 – Электрическая схема замещения по полному току

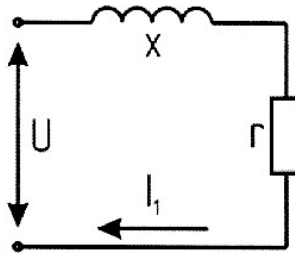


Рисунок 3 – Упрощенная электрическая схема замещения

3.1. Глубина проникновения тока в материал индуктора:

$$\Delta_1 = 503 * \sqrt{\frac{\rho_1}{f}} = 503 * \sqrt{\frac{2 * 10^{-8}}{1000}} = 2,25 * 10^{-3} \text{ м}$$

3.2. Глубина проникновения тока в материал загрузки:

$$\Delta_2 = 503 * \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu_{2r} * f}} = 503 * \sqrt{\frac{0,14 * 10^{-6}}{1 * 1000}} = 5,951 * 10^{-3} \text{ м}$$

3.3. Активное сопротивление индуктора при условии, что толщина внутренней стенки трубки индуктора $b_1 \approx 1,5\Delta_1$:

$$r_1 = \frac{\pi * \rho_1 * d_{1p}}{\Delta_1 * h_1 * k_3} = \frac{\pi * 2 * 10^{-8} * 0,0523}{2,25 * 10^{-3} * 0,145 * 0,8} = 12,59 * 10^{-6} \text{ Ом/виток}^2,$$

где:

$$d_{1p} = d_1 + \Delta_1 = 0,05 + 2,25 * 10^{-3} = 0,0523 \text{ м}$$

3.4. Относительная координата глубины проникновения тока в металл заготовки:

$$m_2 = \sqrt{2} * \frac{R_2}{\Delta_2} = \sqrt{2} * \frac{0,015}{5,951 * 10^{-3}} = 3,565$$

3.5. Активное сопротивление загрузки:

$$\begin{aligned} r_2 &= \pi * \rho_2 * m_2^2 * \frac{A}{h_2} = \pi * 0,14 * 10^{-6} * 3,565^2 * \frac{0,3}{0,1} \\ &= 1,677 * 10^{-5} \text{ Ом/виток}^2 \end{aligned}$$

3.6. Внутреннее реактивное сопротивление индуктора:

$$x_{1в} = r_1 * \operatorname{tg}\Psi,$$

где Ψ – сдвиг фаз между напряженностями электрического и магнитного полей в металле индуктора. Если выполнено условие $b_1 \geq 1,5\Delta_1$, $\operatorname{tg}\Psi \approx 1$, откуда $x_{1B} \approx r_1$

3.7. Внутреннее реактивное сопротивление загрузки:

$$x_2 = \pi * \rho_2 * m_2^2 * \frac{B}{h_2}$$

$$x_2 = \pi * 0,14 * 10^{-6} * 3,565^2 * \frac{0,38}{0,1} = 2,124 * 10^{-5} \text{ Ом/виток}^2$$

3.8. Реактивное сопротивление рассеяния:

$$x_S = \frac{2 * f * \pi^3 * (d_1^2 - d_2^2)}{h_2} * 10^{-7}$$

$$x_S = \frac{2 * 1000 * \pi^3 * (0,05^2 - 0,03^2)}{0,1} * 10^{-7} = 9,922 * 10^{-5} \frac{\text{Ом}}{\text{Виток}^2}$$

3.9. Реактивное сопротивление пустого индуктора:

$$x_1 = \frac{2 * f * \pi^3 * d_1^2}{h_1} * k * 10^{-7}$$

$$x_1 = \frac{2 * 1000 * \pi^3 * 0,05^2}{0,145} * 0,8 * 10^{-7} = 0,8553 * 10^{-4} \text{ Ом/виток}^2$$

3.10. Реактивное сопротивление обратного замыкания:

$$x_0 = \frac{x_1 * h_1}{h_1 - k * h_2} = \frac{0,8553 * 10^{-4} * 0,145}{0,145 - 0,8 * 0,1} = 1,908 * 10^{-4} \text{ Ом/виток}^2$$

3.11. Коэффициент приведения параметров:

$$c = \frac{x_0^2}{r_2^2 + (x_0 + x_S + x_2)^2}$$

$$c = \frac{(1,908 * 10^{-4})^2}{(1,677 * 10^{-5})^2 + (1,908 * 10^{-4} + 9,922 * 10^{-5} + 2,124 * 10^{-5})^2} = 0,374$$

3.12. Приведенное активное сопротивление загрузки:

$$r'_2 = c * r_2 = 0,374 * 1,677 * 10^{-5} = 0,627 * 10^{-5} \text{ Ом/виток}^2$$

3.13. Приведенное активное сопротивление индуктора:

$$x_0 + x_S + x_2 = (1,908 + 9,922 + 2,124) * 10^{-4} = 13,954 * 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{Виток}^2}$$

$$x_S + x_2 = (9,922 + 2,124) * 10^{-4} = 12,046 * 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{Виток}^2}$$

$$x'_2 = c * \frac{(x_S + x_2) * (x_0 + x_S + x_2) + r_2^2}{x_0}$$

$$x'_2 = 0,374 * \frac{(12,046 * 10^{-4}) * (13,954 * 10^{-4}) + (1,677 * 10^{-5})^2}{1,908 * 10^{-4}}$$

$$= 32,96 * 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{Виток}^2}$$

3.14. Эквивалентное сопротивление индуктора с нагрузкой:

$$r = r_1 + r'_2 = 12,59 * 10^{-6} + 0,627 * 10^{-5} = 1,886 * 10^{-5} \text{ Ом/виток}^2$$

3.15. Эквивалентное реактивное сопротивление:

$$x = x_{1в} + x'_2 = 12,59 * 10^{-6} + 32,96 * 10^{-4} = 33,08 * 10^{-4} \text{ Ом/виток}^2$$

3.16. Эквивалентное полное сопротивление системы «индуктор – нагрузка»

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(1,887 * 10^{-5})^2 + (33,08 * 10^{-4})^2}$$

$$= 33,08 * 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{Виток}^2}$$

3.17. Электрический КПД индуктора

$$\eta = \frac{r'_2}{r} = \frac{0,627 * 10^{-5}}{1,886 * 10^{-5}} = 0,334 = 33,4\%$$

3.18. Коэффициент мощности индуктора

$$\cos\varphi = \frac{r}{z} = \frac{1,887 * 10^{-5}}{33,08 * 10^{-4}} = 0,0057$$

3.19. Мощность, передаваемая в нагрузку:

$$P_2 = \pi * d_2 * h_2 * p_0 = \pi * 0,03 * 0,145 * 26,807 * 10^5 = 36634,25 \text{ Вт}$$

3.20. Мощность, подводимая к индуктору:

$$P_{и} = \frac{P_2}{\eta} = \frac{36634,25}{33,4} = 1096,83 \text{ Вт}$$

3.21. Число витков при заданном напряжении на индукторе:

$$n = U * \sqrt{\frac{\cos\varphi}{z * P_{и}}} = 750 * \sqrt{\frac{0,0057}{33,08 * 10^{-4} * 1096,83}} = 30$$

3.22. Активное, реактивное и полное сопротивление системы «индуктор – нагрузка»

$$r_{и} = r * n^2 = 1,887 * 10^{-5} * 30^2 = 0,017 \text{ Ом}$$

$$x_{и} = x * n^2 = 33,08 * 10^{-4} * 30^2 = 2,977 \text{ Ом}$$

$$z_{и} = z * n^2 = 33,08 * 10^{-4} * 30^2 = 2,977 \text{ Ом}$$

3.23. Ток индуктора:

$$I = \frac{U}{z_{и}} = \frac{750}{2,977} = 251,9 \text{ А}$$

3.24. Электрические потери в индукторе:

$$\Delta P_{и} = I^2 * r_1 * n^2 = 251,9^2 * 12,59 * 10^{-6} * 30^2 = 718,99 \text{ Вт}$$

3.25. Мощность конденсаторной батареи, необходимая для компенсации реактивной мощности печи:

$$Q_{кб} = P_{и} * \tan\varphi = 1096,83 * 2,91 = 3191,77 \text{ ВАр}$$

3.26. Мощность электрических потерь в конденсаторной батарее:

$$\Delta P_{кб} = Q_{кб} * \operatorname{tg} \varphi_{кб} = 3191,77 * 0,0025 = 7,979 \text{ Вт}$$

3.27. Мощность электрических потерь в токопроводах:

$$\Delta P_{ток} = 0,1 * \Delta P_{и} = 0,1 * 718,99 = 71,899 \text{ Вт}$$

3.28. Активная мощность, потребляемая от источника питания:

$$P_y = P_2 + \Delta P_{и} + \Delta P_{кб} + \Delta P_{ток} = 36634,25 + 718,99 + 7,979 + 71,899 \\ = 37433,12 \text{ Вт}$$

В соответствии с последним выражением выбираем ближайший по мощности выпускаемый промышленностью источник питания (согласующийся трансформатор или преобразователь частоты).

Выбираем преобразователь частоты **ТПЧП-160-4,0**

2 Список литературы

1. Коврижин Б.Н., Харченко М.С./ «Расчет индуктора для сквозного нагрева цилиндрических заготовок»

1 Расчет

Таблица 1 – Исходные данные

S _{ка} , МВА	U _с , кВ	S _{пт} , МВА	L, км	U _{2ф} , В	R _{пт} , 10 ⁻⁴ Ом	X _{пт} , 10 ⁻⁴ Ом	R _{кс} , 10 ⁻⁴ Ом	X _{кс} , 10 ⁻⁴ Ом	W _{теор} , кВт*ч/т
200	6	1	1	225	7	41	16	48	300

На основании исходных данных составим однолинейную схему питания ДСП и схему замещения, где должны быть учтены:

- активное $R_{кс}$ и реактивное $X_{кс}$ сопротивления короткой сети;
- активное $R_{пт}$ и реактивное $X_{пт}$ сопротивления ПТ;
- индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора X_r ;
- индуктивное сопротивление $X_{вл}$ воздушной линии (ВЛ), по которой осуществляется питание от шин районной подстанции или заводской ТЭЦ (А) до шин распределительного пункта (Б), к которому подключен печной трансформатор;
- индуктивное сопротивление системы X_c на шинах подстанции А.

Активными сопротивлениями реактора, воздушной линии, системы, влиянием тока намагничивания ПТ для упрощения расчета можно пренебречь.

Сопротивления элементов первичной цепи ПТ (реактор, воздушная линия, система) представлены в схеме замещения в виде, приведенном ко вторичному напряжению $U_{2ф}$ (X_{p2} , $X_{вл2}$, X_{c2}). Сопротивление дуги принимают чисто активным и линейным, величина его зависит от длины дуги при заданных остальных параметрах схемы, поэтому в схеме замещения оно должно быть представлено переменным активным сопротивлением, изменяющимся от $R_d=0$ при ЭКЗ до бесконечности при ХХ.

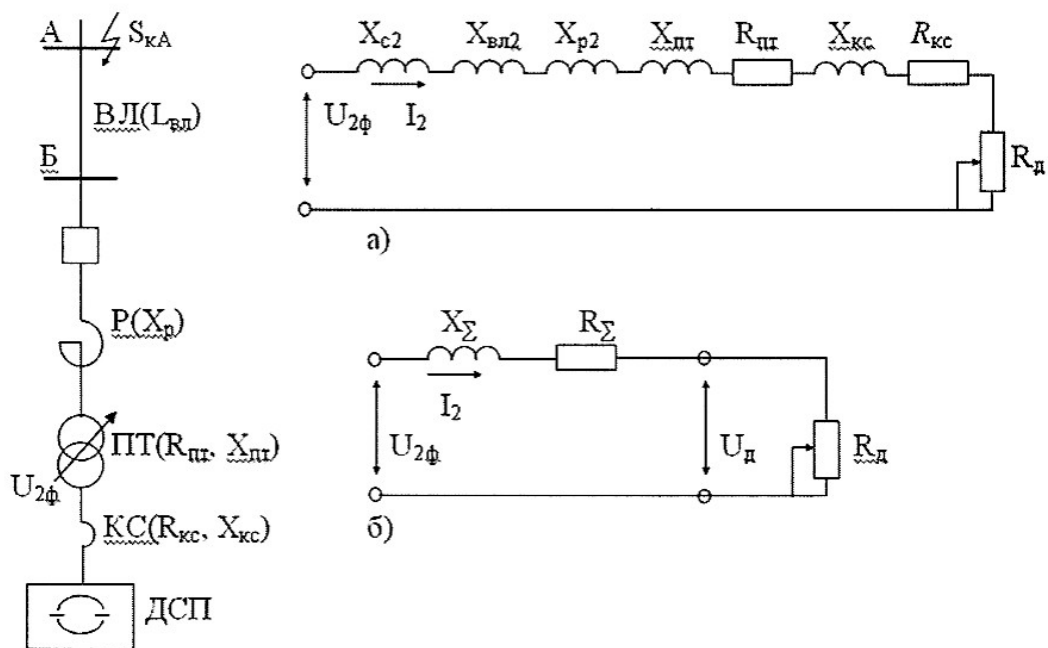


Рисунок 1 – Однолинейная схема питания ДСП и схема замещения: а) полная схема замещения; б) упрощенная схема замещения

Определение параметров схемы замещения

Индуктивные сопротивления системы \$X_c\$ и ВЛ \$X_{вл}\$:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{ка}} = \frac{6^2}{200} = 0,18 \text{ Ом}$$

$$X_{вл} = X_{уд} * L_{вл} = 0,43 * 1 = 0,43 \text{ Ом}$$

Коэффициент трансформации ПТ:

$$k_{пт} = \frac{U_c}{\sqrt{3}U_{2\phi}} = \frac{6 * 10^3}{\sqrt{3} * 225} = 15.396$$

Приведем индуктивные сопротивления системы \$X_c\$ и ВЛ \$X_{вл}\$ к напряжению \$U_{2\phi}\$:

$$X'_c = \frac{X_c}{k_{пт}^2} = \frac{0.18}{15.396^2} = 7.594 * 10^{-4} \text{ Ом}$$

$$X'_{вл} = \frac{X_{вл}}{k_{пт}^2} = \frac{0.43}{15.396^2} = 1.814 * 10^{-4} \text{ Ом}$$

Расчет тока ЭКЗ:

$$I_{2k} = \frac{U_{2\phi}}{\sqrt{(R_{\text{КС}} + R_{\text{ПТ}})^2 + (X'_{\text{С}} + X'_{\text{ВЛ}} + X_{\text{ПТ}} + X_{\text{КС}})^2}}$$

$$X_{\Sigma} = X'_{\text{С}} + X'_{\text{ВЛ}} + X_{\text{ПТ}} + X_{\text{КС}} = 7.594 + 1.814 + 41 + 48 = 8,9 * 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$R_{\Sigma} = R_{\text{КС}} + R_{\text{ПТ}} = 16 + 7 = 2,3 * 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$I_{2k} = \frac{225}{\sqrt{(2,3 * 10^{-4})^2 + (8,9 * 10^{-4})^2}} = 2.448 * 10^4 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{ПТ}}}{3U_{2\phi}} = \frac{1 * 10^6}{3 * 225} = 1.481 * 10^3 \text{ А}$$

Т.к. I_{2k} больше $I_{2\text{кдоп}}$, а $I_{2\text{кдоп}} = 2,5 * I_{\text{НОМ}} = 0.3704 * 10^4 \text{ А}$, то необходима установка реактора.

Расчетное сопротивление реактора:

$$X'_{\text{рас}} = \sqrt{\frac{U_{2\phi}^2}{I_{2\text{кдоп}}^2} - R_{\Sigma}^2 - X_{\Sigma}} =$$

$$= \sqrt{\frac{225^2}{(0,3703 * 10^4)^2} - (2,3 * 10^{-3})^2 - (8,9 * 10^{-3})^2} = 0,052 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{р,рас}} = X'_{\text{рас}} * k_{\text{нм}}^2 = 0,052 * 15,396^2 = 12.28 \text{ Ом}$$

Устанавливаем реакторы **7 х РБ 10-630-2.0УЗ**.

Сопротивление реактора $X_{\text{р}} = 7 * 12 = 14 \text{ Ом}$.

Приведем сопротивление реактора ко вторичному напряжению ПТ:

$$X'_p = \frac{X_p}{k_{\text{нм}}^2} = \frac{14}{15,396^2} = 0,059 \text{ Ом}$$

$$I_{2k} = \frac{U_{2\phi}}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma} + X'_p)^2}} = \frac{225}{\sqrt{(2,3 * 10^{-3})^2 + (8,9 * 10^{-3} + 0,059)^2}}$$

$$= 0,3312 * 10^4 \text{ А}$$

Определение величины колебаний напряжения на шинах, питающих подстанции и РУ.

Для шин подстанции А:

$$\delta U_{\text{А}} \% = \frac{S_{\text{ПТ}}}{S_{\text{КА}}} * 100 = \frac{1}{200} * 100 = 0,5\%$$

Для шин распределительного пункта Б:

$$S_{\text{кБ}} = \frac{S_{\text{КА}}}{1 + X_{\text{ВЛ}}/X_{\text{С}}} = \frac{200}{1 + 0,43/0,18} = 59,016 \text{ МВА}$$

$$\delta U_B \% = \frac{S_{\text{пт}}}{S_{\text{кБ}}} * 100 = \frac{1}{59,016} * 100 = 1,694 \%,$$

Т.к. $\delta U_B \% > 1,5\%$ необходимы мероприятия, приводящие к снижению колебаний напряжения, к которым относятся:

- подключение синхронного компенсатора к шинам РУ;
- подключение синхронного компенсатора к шинам РУ в сочетании с буферным реактором, включенным в цепь питания РУ;
- применение дополнительного реактирования как сдвоенным, так и одинарным реактором;
- применение повышенного напряжения питания ПТ
- разделение шин питания ДСП и остальной нагрузки;
- применение глубокого ввода для индивидуального питания ДСП;
- перенос точки подключения ДСП в центр питания с большим значением мощности кз;
- применение продольной емкостной компенсации на ВЛ.

Построение электрических и рабочих характеристик ДСП.

$$P_{\text{пол}} = 3 * I_2 * (\sqrt{U_{2\phi}^2 - (I_2 * X_{\Sigma})^2} - I_2 * R_{\Sigma}), \text{ Вт};$$

$$P_{\text{пот}} = 3 * I_2^2 * R_{\Sigma}, \text{ Вт};$$

$$P_{\text{акт}} = P_{\text{пол}} + P_{\text{пот}}, \text{ Вт};$$

$$\eta_{\phi} = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{акт}}};$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{акт}}}{3 * U_{2\phi} * I_2};$$

$$g = \frac{P_{\text{пол}} - P_{\text{т.п.}}}{W_{\text{теор}}}, \text{ Т/ч};$$

$$P_{\text{т.п.}} = 0,03 * P_{\text{пол.макс.}}, \text{ Вт};$$

$$t = \frac{1}{g}, \text{ ч/Т};$$

$$W_{\phi} = \frac{P_{\text{акт}}}{g}, \text{ кВт} \frac{\text{ч}}{\text{Т}};$$

$$\eta = \frac{W_{\text{теор}}}{W_{\phi}}$$

Таблица 2 – Электрические и рабочие характеристики ДСП

I ₂	Р _{пол} , МВт	Р _{пот} , МВт	ηэ	cos φ	g, т/ч	t, ч/т	W _ф , кВт*ч/т	η
0	0,00	0,000	-	-	-0,105	-9,5587	0,00	-
331,2	0,22	0,001	1,00	0,99	0,610	1,638	364,36	0,851
662,4	0,44	0,003	0,99	0,98	1,299	0,770	337,30	0,919
993,6	0,63	0,007	0,99	0,95	1,937	0,516	330,26	0,939
1324,8	0,81	0,012	0,99	0,92	2,500	0,400	327,81	0,946
1656	0,95	0,019	0,98	0,87	2,958	0,338	327,36	0,947
1987,2	1,05	0,027	0,97	0,80	3,270	0,306	328,25	0,944
2318,4	1,08	0,037	0,97	0,71	3,383	0,296	330,55	0,938
2649,6	1,03	0,048	0,95	0,60	3,204	0,312	335,24	0,925
2980,8	0,82	0,061	0,93	0,44	2,533	0,395	347,01	0,893
3312	0,00	0,076	-0,06	0,03	-0,118	-8,472	-606,03	-0,512

На основании полученных данных делаем вывод, что ток 364 А обеспечивает наибольшую производительность, а ток 2380 А обеспечивает наибольшую экономичность.

Вывод: оптимальные пределы работы ДСП $364 < I_2 < 2380$ А.

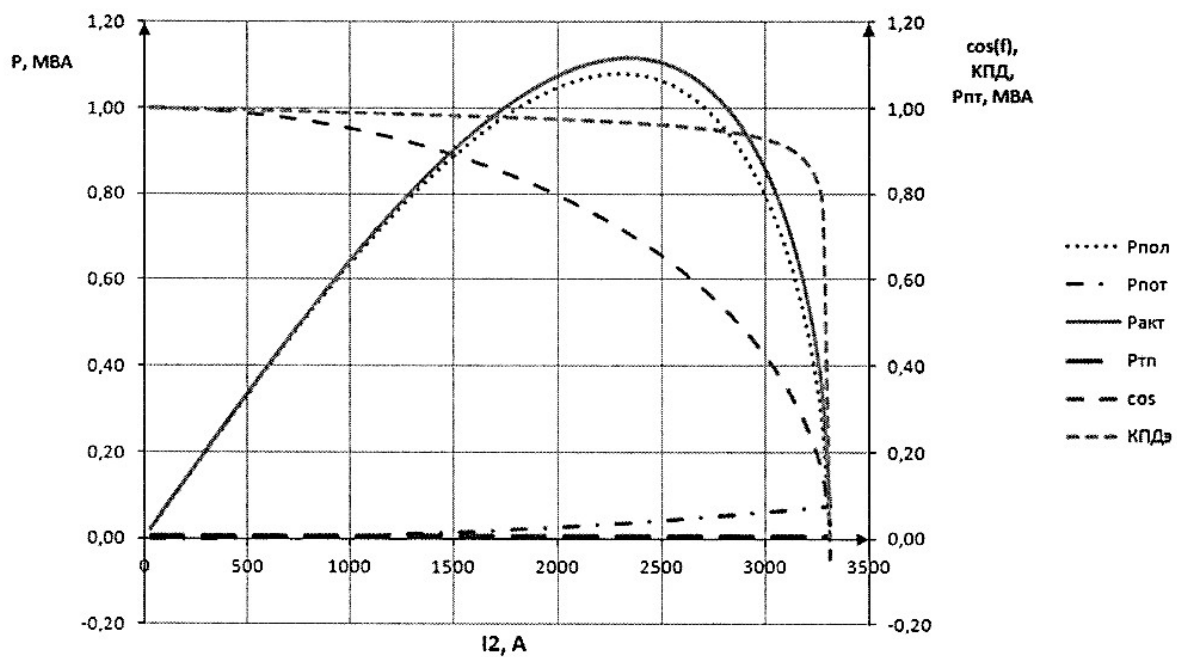


Рисунок 2. Графики зависимости: $P_{пол}(I_2)$, $P_{пот}(I_2)$, $P_{акт}(I_2)$, $\cos\phi(I_2)$, $\eta(I_2)$, $P_{пт}(I_2)$, $W_{\phi}(I_2)$, $g(I_2)$.

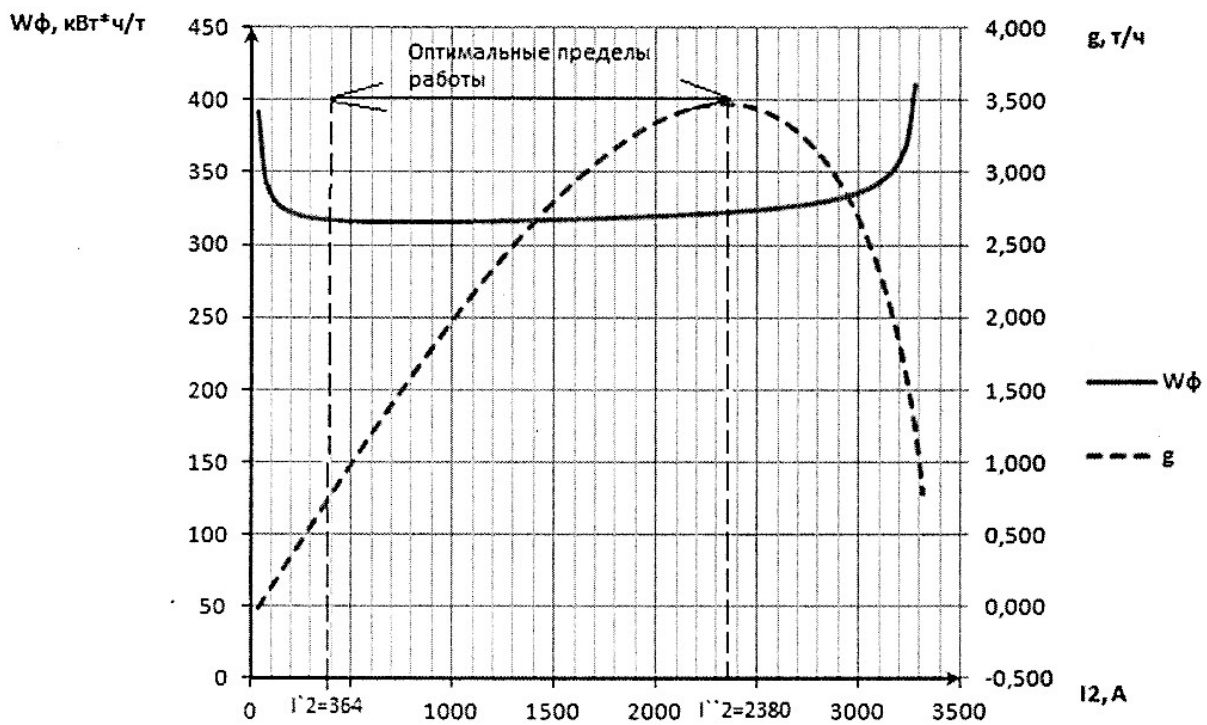


Рисунок 3. Графики зависимости: $W_{\phi}(I_2)$, $g(I_2)$.

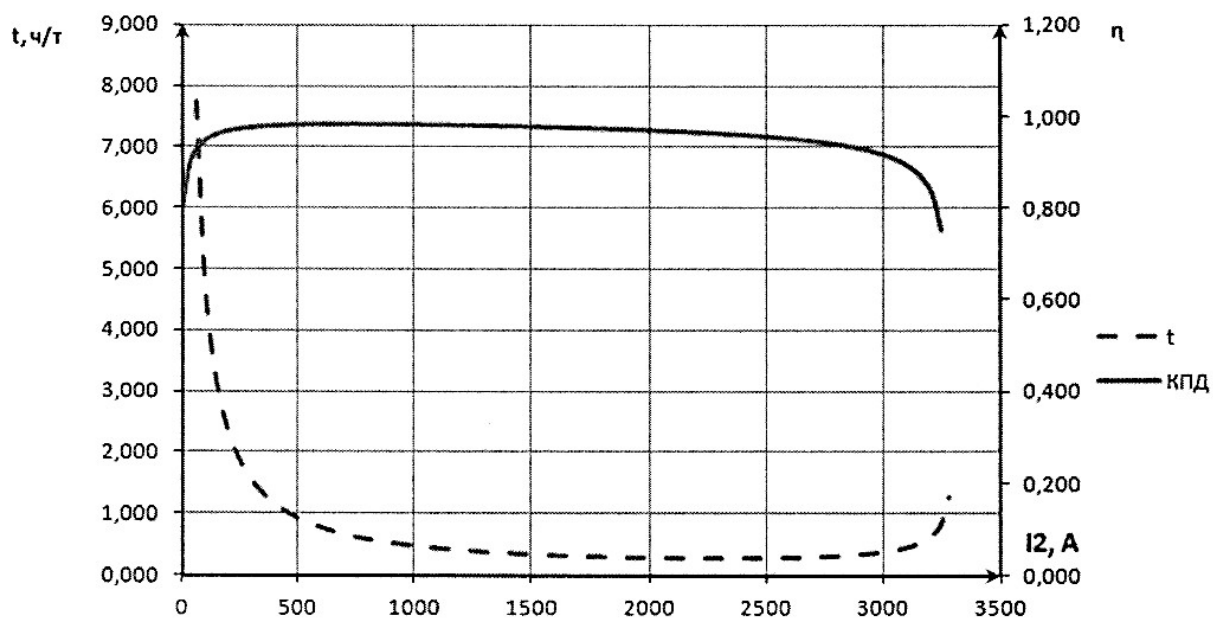


Рисунок 4. Графики зависимости $t(I_2)$, $\eta(I_2)$.

2 Список литературы

1. Коврижин Б.Н./ «Электрический расчет режимов работы дуговой сталеплавильной печи».