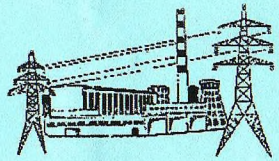
621.365
М-54

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

в г. Смоленске

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»



КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК
СРОКОВ ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ

УКАЗАННОГО СРОКА

Колич. пред. выдач

1840
1945
92

19

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» В Г. СМОЛЕНСКЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»

БУ

Смоленск 2017

УДК 621.365 (076.5)
М 54

Утверждено учебно-методическим Советом филиала ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» профиль подготовки «Электроснабжение»

Подготовлено на кафедре электроэнергетических систем

Рецензент
канд. техн. наук, доц. филиала ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске **Л.И. Долецкая**

М 54 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Электротехнологические установки» [Текст]: методические указания / Сост: А.Г. Сидоров. – Смоленск: РИО филиала ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2017. – 16 с.

Содержатся рабочее задание, исходные данные, расчетные формулы и методические рекомендации для расчета основных элементов индукционной канальной печи.

Предназначено для студентов бакалавриата направления «Электроэнергетика и электротехника» профиль подготовки «Электроснабжение» при изучении дисциплины «Электротехнологические установки».

Библиотека
СФ МЭИ

© филиал ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-графическая работа выполняется студентами бакалавриата направления «Электроэнергетика и электротехника» профиль подготовки «Электроснабжение» при изучении дисциплины «Электротехнологические установки».

Основное назначение расчетно-графической работы заключается в приобретении навыков проектирования электротехнологической установки - канальной печи. Для этой цели студенты проводят расчеты активной мощности печи, магнитопровода, индуктора, определяют основные энергетические характеристики.

Методические указания включают в себя варианты заданий, основные расчетные формулы по различным разделам курсовой работы, рекомендуемую литературу.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Определить активную и полную мощность печи.
2. Рассчитать сечение магнитопровода.
3. Рассчитать индуктор.
4. Определить энергетические характеристики печи.

Исходными данными для расчета являются: тип расплавляемого металла, температура его разливки $t_Р$ (°С), энтальпия металла при температуре разливки $C_Р$ (Вт·ч/кг), удельное электросопротивление при температуре разливки (Ом·м), длительность плавки $\tau_{пл}$ (мин), вес расплавляемого металла G(кг), питающее напряжение U_1(В). Все исходные данные по различным вариантам приведены в табл. 1.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ И ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ПЕЧИ

Активная мощность печи равна [1]:

$$P_а = \frac{G \cdot C_Р}{\tau_{пл} \cdot \eta}, \text{ Вт},$$

где G – вес расплавляемого металла, кг; $C_Р$ – энтальпия металла, Вт·ч/кг; $\tau_{пл}$ – время плавки, ч; η – общий КПД.

Полная мощность печи рассчитывается по формуле

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}.$$

Значение КПД и cos φ принимаются ориентировочно из таблицы 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Вариант	Расплавляемый металл	Температура разливки, °С	Энтальпия металла, Вт·ч/кг	Плотность тока в плавком канале, А/мм^2	Удельное эл.сопротивление расплава, МкОМ·см	Рабочая масса металла, кг	Время плавки, мин.	Естественный, cosφ	Напряжение питания, В	η
1	Си	1200	300	15	21	500	30	0,4	380	0,81
2	Томпак	1250	250	15	28	600	40	0,4	500	0,82
3	Zn	419	100	10	35	700	50	0,5	600	0,83
4	Al	658	450	4	24	800	60	0,3	380	0,84
5	Чугун	1200	35	3,5	127	100	70	0,6	500	0,85
6	Латунь	920	200	10	40	200	80	0,6	600	0,86
7	Бронза	1060	300	10	35	300	30	0,7	380	0,87
8	Си	1200	300	15	21	400	40	0,4	500	0,88
9	Томпак	1250	250	15	28	100	50	0,4	600	0,89
10	Zn	419	100	10	35	200	60	0,5	380	0,9
11	Al	658	450	4	24	300	70	0,3	500	0,8
12	Чугун	1200	35	3,5	127	400	80	0,1	600	0,81
13	Латунь	920	200	10	40	500	30	0,7	400	0,82
14	Бронза	1060	300	10	35	600	40	0,4	380	0,83
15	Си	1200	300	15	21	700	50	0,5	500	0,84
16	Томпак	1250	250	15	28	800	60	0,5	600	0,85
17	Zn	419	100	10	35	100	70	0,4	380	0,86
18	Al	658	450	4	24	200	80	0,3	400	0,87
19	Чугун	1200	35	3,5	127	300	30	0,6	500	0,88
20	Латунь	920	200	10	40	400	40	0,6	600	0,89
21	Бронза	1060	300	10	35	500	50	0,4	380	0,9
22	Си	1200	300	15	21	600	60	0,4	400	0,8
23	Томпак	1250	250	15	28	700	70	0,3	500	0,81
24	Zn	419	100	10	35	800	80	0,5	600	0,82
25	Al	658	450	4	24	100	30	0,3	380	0,83
26	Чугун	1200	35	3,5	127	200	40	0,7	400	0,84
27	Cu	1200	300	15	21	150	30	0,4	380	0,85
28	Томпак	1250	250	15	28	180	40	0,4	500	0,86
29	Zn	419	100	10	35	200	50	0,5	600	0,87
30	Al	658	450	4	24	220	60	0,3	380	0,88
31	Чугун	1200	35	3,5	127	240	70	0,6	500	0,89
32	Латунь	920	200	10	40	260	80	0,4	600	0,9
33	Бронза	1060	300	10	35	280	30	0,5	380	0,8
34	Cu	1200	300	15	21	300	40	0,4	500	0,81
35	Zn	419	100	10	35	320	50	0,3	600	0,82

2. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ СЕРДЕЧНИКА МАГНИТОПРОВОДА

Сечение сердечника магнитопровода определяют по формуле

$$F_c = C_M \cdot \sqrt{\frac{S \cdot \psi}{f \cdot B \cdot \delta_1}},$$

где C_M – коэффициент магнитопровода

- для стержневого однофазного магнитопровода: C_M = 0,27 - 0,3;

ψ – коэффициент, зависящий от соотношения потерь энергии в магнитопроводе и индукторе.

При водяном охлаждении индуктора:

- для печей, плавящих медь, алюминий, цинк и сплавы на их основе: ψ=25÷30;
- для печей, плавящих чугун: ψ=80;

F – частота переменного тока в индукторе f= 50 Гц;

δ_1 – плотность тока в индукторе:

- при воздушном охлаждении индуктора: δ_1 = 4 МА/м^2,
- при водяном охлаждении индуктора: δ_1= 20 МА/м^2.

B – магнитная индукция:

- для стали Э41, Э42: B = 1,3 Тл;
- для стали ЭЗ 10: B =1,6 Тл.

Сечение сердечника с учетом межлистовой изоляции составляет

$$F_c' = \frac{F_c}{k_c},$$

где k_C – коэффициент заполнения (значение k_C выбирают из табл. 2).

Таблица 2

Толщина стального листа, мм	0,35	0,5
Коэффициент заполнения k_C при изоляции из бумаги толщиной 0,03 мм	0,85	0,88
Коэффициент заполнения k_C при изоляции из лака толщиной 0,01 мм	0,9	0,92

Плавильные каналы в большинстве случаев, имеют круговое продольное сечение. Для уменьшения рассеивания магнитного потока круглое сечение имеет также катушка индуктора. Поэтому форму поперечного сечения сердечника стремятся приблизить к кругу, т.е. выполнить его ступенчатым [2].

Диаметр окружности, описанной вокруг сердечника, м, равен

$$d_C = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c'}{k_d \cdot \pi}},$$

где k_d – коэффициент заполнения материалом сердечника окружности, описанной вокруг него. Значения k_d выбираются из табл. 3.

Таблица 3

Число ступеней	2	3	4
k_d	0,78	0,81	0,83

Чем выше мощность трансформатора, тем больше выбирается число ступеней сердечника.

3. РАСЧЕТ ИНДУКТОРА

Число витков индуктора определяют по формуле

$$W_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot F_c},$$

где U_1 – напряжение питания индуктора;

f – частота переменного тока; f = 50 Гц;

B – индукция в магнитопроводе;

- для стали марок Э41,Э42: B= 1,3 Тл;
- для стали Э310: B= 1,6 Тл;

F_C – площадь поперечного сечения магнитопровода.

Ток в индукторе равен

$$I_1 = \frac{S}{U_1}.$$

Глубина проникновения тока в материал индуктора составит

$$\Delta_1 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{f}},$$

где ρ_1 – удельное сопротивление материала индуктора (меди), Ом·м; $\rho_1 = 1.72 \cdot 10^{-8}$.

Сечение провода индуктора равно

$$F_1 = \frac{I_1}{\delta_1}.$$

По расчетному сечению провода индуктора выбираются геометрические размеры провода.

Радиальный размер провода индуктора b_1 или толщину стенки медной трубки, обращенной к каналу, выбирают из уровня

$$b_1 \geq 1,57 \cdot \Delta_1.$$

Форма профиля провода индуктора приведена на рисунке 1, а типовые размеры – в таблице 4. (Размер C =10 мм – для всех трубок).

Таблица 4 - Параметры медной трубки

A (мм)	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
B (мм)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0 (мм)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

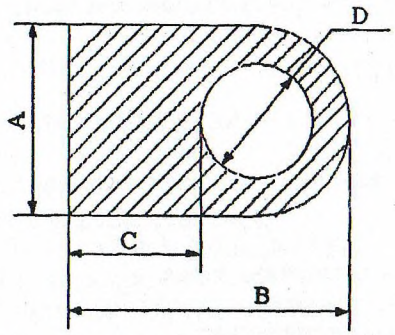


Рисунок 1 - Эскиз профилированной трубки

Высота индуктора:

$$h_1, = (h_b + 2b_{из}) \cdot W_1,$$

где h_b – высота провода индуктора;

$b_{из}$ – толщина изоляции провода индуктора;

$$b_{из} = (0{,}05 \div 0{,}1) \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Внутренний диаметр индуктора (по меди):

$$D_1 = d_C + 2a + 2b_{из},$$

где a – толщина изолирующего цилиндра:

$$a = (0{,}5 \div 1{,}0) \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Средний диаметр индуктора:

$$D_{1ср} = D_1 + b_1 .$$

Активное сопротивление индуктора определяется по формуле

$$r_1 = \frac{1{,}15 \cdot \rho_1 \cdot W_1 \cdot \pi \cdot D_1}{F_1},$$

где 1,15 – среднее значение коэффициента, учитывающее неравномерное распределение тока по сечению провода индуктора.

Электрические потери в индукторе:

$$P_{Э.П.} = I_1^2 \cdot r_1.$$

Масса меди индуктора:

$$G_М = F_1 \cdot W_1 \cdot \pi \cdot D_{1ср} \cdot \rho_м,$$

где $\rho_м$ – плотность меди;

$$\rho_м = 8{,}9 \cdot 10^3 (\text{кг/м}^3).$$

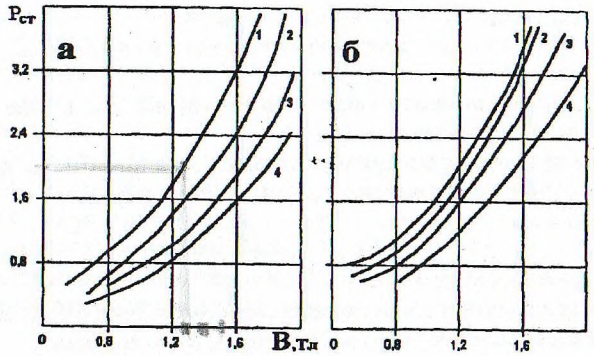
Масса стали магнитопровода:

$$G_{ст} = \psi \cdot G_м.$$

Электрические потери в стали магнитопровода:

$$P_C = p_C \cdot G_C,$$

где p_C – удельные потери в стали (определяются по соответствующим графикам, см. рис. 2.)



(*а*) (*б*)

Рисунок 2 - Удельные потери в электротехнической стали:
(*а*) при $b_л$ = 0,35 мм; (*б*) $b_л$=0,5 мм; 1 - сталь Э41; 2 - Э42; 3 - Э310; 4 - Э330

Полные электрические потери в индукционной печи:

$$P_{ЭП} = P_{ЭП} + P_{СТ}.$$

4. РАСЧЕТ КАНАЛА

Ток в канале:

$$I_2 = I_1 \cdot W_1.$$

Глубина проникновения тока в канале:

$$\Delta_2 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_2}{f}},$$

где ρ_2 – удельное электросопротивление расплавленного металла.

Сечение канала:

$$F_2 = I_2 / \delta_2,$$

где δ_2 – плотность тока в канале.

Активная мощность, выделяемая в канале:

$$P_2 = P_a - P_{ЭП}.$$

Активное сопротивление канала:

$$r_2 = \frac{P_2}{I_2^2}.$$

Активная длина канала:

$$\ell_2 = \frac{r \cdot F_2}{\rho_2 \cdot k_{пэ}},$$

где ρ_2 – удельное сопротивление жидкого металла;

$k_{пэ}$ – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение переменного тока по сечению канала.

Коэффициент $k_{пэ}$ зависит от размеров сечения канала, от частоты тока и удельного сопротивления металла (рис. 3).

Для каналов овального и прямоугольного сечений, с отношением сторон не более 3:1 $k_{пэ}$ определяют из графика (рис. 3, *а*) по формуле

$$P = \sqrt{\frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta_2}{10^{11} \cdot \rho_2}}.$$

Для каналов овального или прямоугольного сечений с отношением сторон более 3:1 $k_{пэ}$ определяют из графика (рис. 3, *б*) по аргументу

$$\frac{1}{\Delta_2} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho_2}}.$$

После определения ℓ_2 вычерчивают эскиз индукционной печи, выбирают конструкцию печи и ее основные геометрические размеры. Если полученная из чертежа величина, $C_M = 0{,}51 \cdot \sqrt{\frac{\ell_M}{\ell_C}}$, значительно отличается от ранее принятой, то следует повторить расчет, задавшись полученным значением C_M.

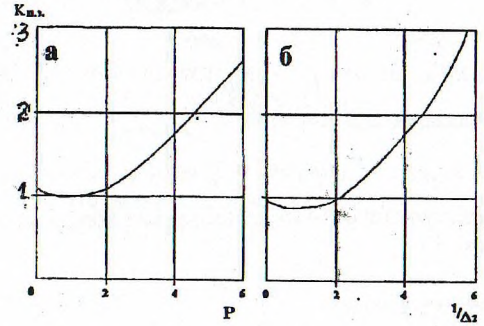


Рисунок 3 - Графики для определения поправочного коэффициента

Для получения хороших энергетических характеристик и надежной работы индукционной печи толщина футеровки между индуктором и каналом должна составлять при плавке медных сплавов и цинка 65÷70 мм, при плавке алюминия и чугуна – 70÷120 мм.

Если по расчету канал получается настолько коротким, что не позволяет разместить футеровку нужной толщины, то можно его удлинить за счет более протяженных устьев большего сечения, чем активная часть канала. В таких устьях будет выделяться сравнительно небольшая мощность, что позволит сохранить общую мощность печи близкой к расчетной [3].

Если, наоборот, расчетная длина канала слишком велика, то для уменьшения расстояния между индукторами и каналом можно увеличить сечение сердечника и, соответственно, диаметр индуктора.

Если расчетная длина канала значительно превосходит возможную для размещения, приходится ее искусственно сокращать. При этом для сохранения расчетной мощности в канале увеличивают силу тока в печи путем увеличения числа витков индуктора. Одновременно приходится, пропорционально возрастанию числа витков, увеличивать сечения канала - для сохранения заданной плотности тока в канале.

Для компенсации уменьшения длины канала требуется пропорциональное увеличение числа витков индуктора:

$$W_1' = W_1 \cdot \frac{\ell_2}{\ell_2'},$$

где ℓ_2, ℓ_2' – расчетная и принятая укороченная длина канала;

W_1', W_1 – расчетное и принятое увеличенное число витков индуктора.

После корректировки параметров печного трансформатора, вызванной необходимостью размещения слитком длинного плавильного канала, следует скорректировать или даже повторить первоначальный расчет, используя полученные величины. При этом приходится мириться с тем, что отношение массы стали к массе меди, ψ, будет отличаться от оптимального.

5. РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕЧИ

Индуктивное сопротивление печи, приведенное к первичной обмотке индуктора, равно

$$x = \frac{8 \cdot f \cdot W^2 \cdot F_S \cdot K_R \cdot K_S}{h_1} \cdot 10^{-6},$$

где W_1 – число витков индуктора;

F_S – площадь рассеяния;

$K_R = 1 - \frac{b_1 + b_2 + b_3}{\pi \cdot h_1}$ – коэффициент Роговского, учитывающий конечную длину системы;

b_1 – радиальный размер провода индуктора,

b_2 – ширина канала,

b_3 – толщина футеровки,

h_1 – высота индуктора,

$K_S = 1 + \frac{\alpha_1}{3,5}(1 + \frac{\pi \cdot h_1 \cdot \alpha_1}{3 \cdot b_S})$ – коэффициент, зависящий от отношения высот индуктора и канала для печи с одним каналом.

Здесь $\alpha_1 = \frac{h_1 - h_2}{h_1}$; h_2 – высота канала.

Для печи с двумя каналами на один сердечник:

$$K_S = 1 + \frac{\alpha_2}{4,5}(1 + \frac{\pi \cdot h_1 \cdot \alpha_2}{4 \cdot b_S};$$

$$\alpha_2 = \frac{h_1 - 2 \cdot h_2}{h_1}.$$

b_S – ширина площади рассеивания, равная

$$b_S = \frac{b_1}{3} + \frac{b_2}{3} + b_3;$$

$$F_S = \Pi \cdot D_{ср} \cdot b_S,$$

$D_{ср}$ – средний диаметр кольцевой площади рассеивания (определяется по эскизу).

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧИ

Коэффициент мощности печи

$$\cos \varphi = r/z,$$

где r – активное сопротивление печи, равное

$$r = r_1 + r_2,$$

где r_1 – активное сопротивление индуктора;

r_2 – активное сопротивление канала.

Полное сопротивление равно

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

Электрический КПД печи равен

$$\eta_Э = \frac{P_2}{P_2 + P_{эп}}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов А.В. Электротехнологические установки. – М.: Высш. шк., 1988. – 271 с.

2. Электротехнологические промышленные установки / Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергия, 1982. – 400 с.

3. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Электротехнологичесике установки» / Сост. А.Г. Сидоров. – Смоленск, СФ МЭИ, 2007. – 28 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение..... 3

Рабочее задание..... 4

1. Определение активной и полной мощности..... 4

2. Расчет сердечника магнитопровода 6

3. Расчет индуктора..... 7

4. Расчет канала..... 9

5. Расчет индуктивного сопротивления печи..... 12

6. Определение энергетических характеристик печи..... 13

Литература..... 14

ЦЕНА
21 р. 82 коп.

Учебное издание

Методические указания к выполнению
расчетно-графической работы по дисциплине
«Электротехнологические установки»

Составитель
Сидоров Анатолий Григорьевич

Технический редактор М.А. Андреев
Корректор Л.И. Чурлина

Темплан издания ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2017 г., метод.
Подписано в печать 28.04.2017 г.
Формат 60×84 1/16. Тираж 30 экз. Печ. л. 1,0. Усл. печ. л. 0,93.

Издательский сектор филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

БУ

Библиотека
СФ МЭИ