

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учреждение образования

**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра электротехнологии

**РАСЧЕТ И ВЫБОР
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

*Методические указания к курсовому проекту
для студентов специальности 1 - 74 06 05 – «Энергетическое обеспечение
сельскохозяйственного производства»*

Минск

2007

УДК 621.371: 621.31 (07)

ББК 31.292 - 5я7

Р 24

Составители: д.т.н., проф. Заяц Евгений Михайлович;
к.т.н., доц. Дубодел Иннеса Борисовна

Рецензент: д.т.н., профессор Кузмич Василий Васильевич
РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»

Методические указания к курсовому проекту для студентов специальности 1- 74 06 05 – «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» / Заяц Е.М., Дубодел И.Б.– Мн.: БГАТУ, 2007. – 53 с.:19 ил.

ISBN

Изложены основные методические положения расчета и выбора электрокалориферных, индукционных и аэроионизационных установок. Методические указания к курсовому проекту по «Электротехнологии» для студентов специальности 1 – 74 06 05 – «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» рассмотрены на заседании методической комиссии агроэнергетического факультета и рекомендованы к изданию в БГАТУ (протокол № 6 от 13.02.2007).

УДК 631.371: 621.31 (07)

ББК 31.292 – 5я7

ISBN

Заяц Е.М.;

Дубодел И.Б.;

(Ответственный за выпуск Пашинский В.А., ответственный за набор, верстку, оформление Дубодел И.Б.)

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ.....	5
1.1 Расчет мощности электрокалориферной установки.....	5
1.2 Расчет трубчатых электронагревателей (ТЭН).....	8
1.3 Выбор электродвигателя для привода вентилятора.....	14
1.4 Проверочный расчет ЭКУ.....	15
1.5 Разработка принципиальной электрической схемы управления ЭКУ.....	18
2 РАСЧЕТ ИНДУКТОРА И ВЫБОР ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ.....	19
2.1 Выбор частоты.....	19
2.2 Определение мощности и размеров индукторов.....	21
2.3 Электрический расчет индуктора.....	22
2.4 Проектирование индукционной установки.....	32
2.5 Выбор индукционной установки.....	34
3 РАСЧЕТ УСТАНОВКИ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА.....	36
3.1 Расчет разрядного устройства.....	38
3.2 Разработка источника питания.....	42
3.3 Разработка схемы управления.....	45
ЛИТЕРАТУРА.....	46
Приложение 1 Титульный лист пояснительной записки.....	48
Приложение 2 Задание на выполнение курсового проекта.....	49
Приложение 3 Исходные данные к курсовому проекту.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Электротехнология» является самостоятельной квалификационной работой студента.

Цель проекта – обобщить и закрепить знания и умения студента, полученные при изучении дисциплины и предшествующих предметов.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и рабочих чертежей.

Пояснительную записку (ПЗ) в объеме 20–25 страниц выполняют в соответствии с требованиями стандарта предприятия [14].

Пояснительная записка включает:

- задание на проектирование;
- аннотацию;
- содержание;
- собственно расчетно-пояснительную часть;
- литературу;
- приложения.

Задание оформляют на бланке установленного образца (приложение 2). Номер варианта задания принимают по последней цифре зачетной книжки. Исходные данные для каждого варианта приведены в приложении 3.

Графическую часть проекта выполняют на листах чертежной бумаги. Форматы листов принимают в соответствии с рекомендациями настоящих методических указаний. Объем материала графической части определяется темой курсового проекта и не превышает 2 листов формата А1.

1 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

1.1 Расчет мощности электрокалориферной установки

Расчетную мощность электрокалориферной установки (ЭКУ) для отопительно-вентиляционных систем определяют из уравнения теплового баланса помещения [1]. Для животноводческих и птицеводческих помещений мощность, необходимая для отопления и вентиляции равна

$$P = P_{от} + P_{в} - P_{ж}, \quad (1.1)$$

где $P_{от}$ – мощность или тепловой поток, теряемый через ограждения, Вт;

$P_{в}$ – мощность или тепловой поток на подогрев воздуха при вентиляции помещений, Вт;

$P_{ж}$ – мощность или тепловой поток, выделяемый животными или птицей, Вт.

Мощность, теряемая через ограждения

$$P_{от} = q_{от} V(t_{в} - t_{н}), \quad (1.2)$$

где $q_{от}$ – удельная отопительная характеристика помещений, Вт/(м³·°С) (таблица П 1.2 [2]);

$V = v_0 N$ – объем помещения, м³;

N – количество животных или птицы, гол.;

v_0 – удельный объем помещения, м³/гол (таблица П.1.2[2]);

$t_{в}, t_{н}$ – расчетная температура внутреннего и наружного воздуха, °С.

Температуру наружного воздуха принимают в зависимости от климатического района, в котором расположено данное помещение. Для Беларуси $t_{н} = -21$ °С. Температура внутреннего воздуха приведена в таблице П.1.2 [2].

Мощность на подогрев воздуха при вентиляции помещения

$$P_{в} = q_{в} V(t_{в} - t_{н}), \quad (1.3)$$

где $q_{в}$ – удельная вентиляционная характеристика помещения, Вт/(м³·°С) (таблица П.1.2 [2]).

Тепловой поток, выделяемый животными или птицей

$$P_{\text{ж}} = q_{\text{ж}}N, \quad (1.4)$$

где $q_{\text{ж}}$ – удельный тепловой поток, выделяемый одним животным или птицей, Вт/гол. (таблица П.1.7 [2]).

Мощность на подогрев воздуха при сушке материала

$$P = \rho_{\text{в}}L(h_{\text{в}}-h_{\text{н}}), \quad (1.5)$$

где $\rho_{\text{в}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при $20 \text{ }^\circ\text{C}$;

$h_{\text{н}}, h_{\text{в}}$ – энтальпия входящего и выходящего воздуха, Дж/кг (рисунк 1.1 [13]);

L – подача воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

Мощность на обогрев теплиц и парников

$$P = k_0A_0\varphi_0, \quad (1.6)$$

где $k_0 = 1,25$ – коэффициент ограждения;

$A_0 = \frac{A_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}}$ – инвентарная площадь теплицы, м^2 ;

$A_{\text{п}}$ – полезная площадь теплицы, м^2 ;

$\eta_{\text{п}} = 0,85-0,9$ – коэффициент полезного использования инвентарной площади;

φ_0 – теплопотери через ограждение.

$$\varphi_0 = \alpha_{\text{т}}k_{\text{инф}}(t_{\text{в}}-t_{\text{н}}), \quad (1.7)$$

где $\alpha_{\text{т}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопередачи;

$k_{\text{инф}} = 1,25-1,4$ – коэффициент инфильтрации в теплицах.

Мощность на обогрев теплиц и парников делят между почвенным и воздушным обогревом в отношении 1:2. Дальнейший расчет ведут отдельно для воздушного и почвенного обогрева.

Подача воздуха при вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений равна

$$L = 0,8l_{\text{в}}N, \quad (1.8)$$

где $l_{\text{в}}$ – минимальный воздухообмен для животноводческого или птицеводческого помещения, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{гол.})$, (таблица П.1.7 [2]).

Подача воздуха при сушке материалов

$$L = \frac{m_{\text{аэ}} \cdot 10^3}{\rho_{\text{а}}(d_{\text{а}} - d_{\text{и}})}, \quad (1.9)$$

где $m_{\text{аэ}}$ – масса влаги, удаляемая при сушке, кг/с;

$d_{\text{и}}, d_{\text{а}}$ – влагосодержание подаваемого (наружного) и удаляемого воздуха, г/кг (рисунок 1.1 [13]).

Масса влаги, которую необходимо удалить

$$m_{\text{аэ}} = \frac{m_{\tau}(\omega_1 - \omega_2)}{100 - \omega_2}, \quad (1.10)$$

где m_{τ} – производительность установки по сырому материалу, кг/с;

ω_1, ω_2 – начальная и конечная влажность материала, %.

Расчетная мощность электрокалориферных установок

$$P_{\text{ЭКУ}} = \frac{\hat{\epsilon}_{\zeta} P}{\eta}, \quad (1.11)$$

где $\hat{\epsilon}_{\zeta} = 1,05-1,1$ – коэффициент запаса;

$\eta = 0,85-0,9$ – КПД установки.

Руководствуясь типоразмерным рядом номинальных мощностей (5;10; 16;25;40;60;100 кВт и т.д.), выбирают количество $n_{\text{ЭКУ}}$ и мощность ЭКУ. Для отопительно-вентиляционных систем мощностью 25 кВт и более их число должно быть не менее двух. Определяют мощность одной ЭКУ $P_{1\text{ЭКУ}}$. Обычно, по расчетной мощности $P_{1\text{ЭКУ}}$ и подаче воздуха, которые необходимы на отопление, вентиляцию, сушку или другой технологический процесс, выбирают ЭКУ из числа выпускаемых промышленностью (таблицы П.4.1; П.4.2). Однако, принимая во внимание учебную направленность курсового проекта, выполним проектирование отдельных узлов и ЭКУ, опираясь на уже известные технические решения (например, электрокалориферы СФО и установки СФОЦ), в последовательности, изложенной в следующих подразделах.

1.2 Расчет трубчатых электронагревателей (ТЭН)

Задача расчета состоит в определении геометрических размеров ТЭНа, при которых его температура не превышает допустимую величину, а мощность соответствует расчетной.

Разрез ТЭНа с оребрением и его характеристики приведены на рисунках 1.1, 1.2 и в таблице 1.2.

Исходные данные для расчета:

- мощность одного ТЭНа P_1 ;
- напряжение питания U ;
- развернутая длина ТЭНа L ;
- длина питающих стержней в заделке L_k ;
- материал оболочки, спирали и наполнителя;
- наружный диаметр оболочки $d_{\text{тр.нар}}$;
- толщина стенки оболочки δ .

Принимают мощность одного ТЭНа P_1 . В промышленных электрокалориферах мощностью до 16 кВт используют ТЭНы 1,6 кВт, при большей мощности – 2,5 кВт.

Рассчитывают количество ТЭНов в одном электрокалорифере по формуле:

$$z = \frac{P_{\text{уѐо}}}{P_1} \quad (1.12)$$

Величина z должна быть кратна трем. При ступенчатом регулировании мощности ТЭНы соединяют в секции (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Количество секций ТЭНов в электрокалориферах СФО

Мощность электрокалорифера, кВт	5	10–16	25–100
Количество трехфазных секций, шт.	1	2	3

Напряжение питания 220 В. Материал оболочки – углеродистая сталь. В качестве наполнителя используют периклаз MgO (плавленный оксид магния). Материал спирали – никельхромовый сплав (нихром) X20H80-H или X 15H60-H [3].

Температуру спирали $t_{сп}$ принимают исходя из условий теплоотдачи нагревательного элемента.

Для ТЭНов

$$t_{сп} \leq 0,8 t_{доп}, \quad (1.13)$$

где $t_{доп}$ – допустимая температура нихрома, °С (таблица П.2.3 [2]).

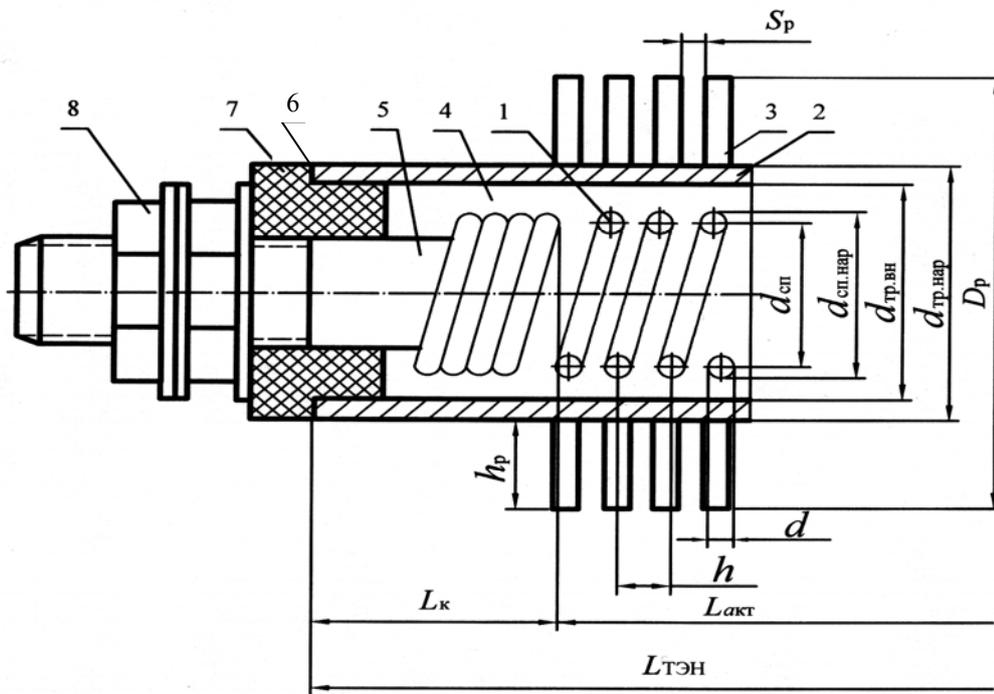


Рисунок 1.1 – Разрез ТЭНа с оребрением:

1 – нагревательная спираль; 2 – оболочка; 3 – алюминиевые ребра; 4 – наполнитель; 5 – контактный стержень; 6 – герметик; 7 – изолятор; 8 – контактная часть; d – диаметр проволоки; $d_{сп}$ – диаметр спирали; $d_{сп.нар}$ – наружный диаметр спирали; $d_{тр.нар}$ – наружный диаметр оболочки; $d_{тр.вн}$ – внутренний диаметр оболочки; $D_р$ – наружный диаметр оребрения; h – шаг спирали; $h_р$ – высота ребра; $S_р$ – шаг оребрения; $L_к$ – длина контактного стержня в заделке; $L_{акт}$ – длина активной (греющей) части; $L_{тэн}$ – развернутая длина

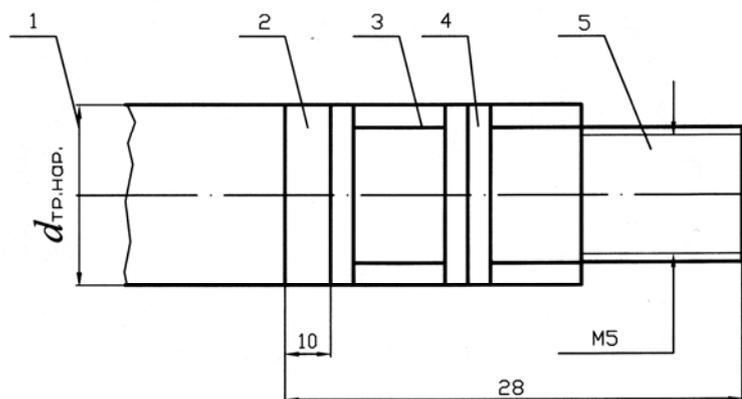


Рисунок 1.2 – Контактная часть ТЭНа:

1 – трубка; 2 – керамический изолятор; 3 – чайки; 4 – гайки; 5 – стержень

Таблица 1.2 – Техническая характеристика ТЭНов электрокалорифера СФО

P_1 , кВт	$d_{\text{тр.нар.}}$, 10^{-3} м	D_p , 10^{-3} м	S_p , 10^{-3} м	L_k , 10^{-3} м	A_1 , м ²	h_p , 10^{-3} м
1,6	13	40	3,5	40	0,26	11
2,5	16	40	3,5	40	0,30	14

Температуру оболочки $t_{\text{тр}}$ ТЭНов, установленных в животноводческих помещениях, принимают не более 180 °С, а работающих в теплицах и сушке материалов – 350 °С.

Расчет выполняют методом удельной поверхностной мощности в следующей последовательности.

1. Задают 4–5 значений диаметра проволоки d в пределах 0,2–1,6 мм.

2. Принимают толщину стенки оболочки $\delta = 0,1 d_{\text{тр.нар.}}$.

3. Определяют:

– внутренний диаметр трубки

$$d_{\text{тр.вн}} = d_{\text{тр.нар}} - 0,2 d_{\text{тр.нар}}; \quad (1.14)$$

– наружный диаметр спирали

$$d_{\text{спр.нар}} = 0,33 \dots 0,835 d_{\text{тр.вн}}; \quad (1.15)$$

– диаметр спирали

$$d_{\text{сп}} = d_{\text{спр.нар}} - d. \quad (1.16)$$

4. Рассчитывают термическое сопротивление теплопередачи, м²·°С/Вт:

– наполнителя

$$R_n = \frac{d_{\text{y1}}}{2 \lambda_1} \ln \frac{d_{\text{од.âí}}}{d_{\text{ñí}}}, \quad (1.17)$$

где $\lambda_1 = 1,5$ Вт/(м·°С) – теплопроводность наполнителя (периклаза);

$d_{\text{y1}} = \sqrt{d_{\text{сп}} d_{\text{тр.вн}}}$ – эквивалентный диаметр наполнителя, м;

– трубки

$$R_{\text{тр}} = \frac{d_{\text{y2}}}{2 \lambda_{\text{од}}} \ln \frac{d_{\text{од.í àð}}}{d_{\text{од.âí}}}, \quad (1.18)$$

где $\lambda_{\text{од}} = 15$ Вт/(м·°С) – теплопроводность трубки;

$d_{\text{y2}} = \sqrt{d_{\text{од.í àð}} d_{\text{од.âí}}}$ – эквивалентный диаметр трубки, м;

– суммарное (от спирали к поверхности трубки)

$$R_T = R_H + R_{тр}. \quad (1.19)$$

5. Определяют удельную поверхностную мощность, Вт/м²:

– выделяемую в спирали

$$\varphi_1 = \frac{4 \rho P_1^2}{U^2 \pi^2 d^3}, \quad (1.20)$$

где $\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha(t_{сп} - 20)]$ – удельное электрическое сопротивление материала спирали при температуре $t_{сп}$ (формула 1.12), Ом·м;

$\rho_{20} = 1,1 \times 10^{-6}$ Ом·м – удельное электрическое сопротивление нихрома при 20 °С;

$\alpha = 1,6 \times 10^{-5}$ °С⁻¹ – температурный коэффициент сопротивления нихрома;

– отдаваемую спиралью

$$\varphi_2 = \frac{t_{\infty} - t_n}{R_{\delta}}, \quad (1.21)$$

где t_n – температура нагреваемой среды, °С.

Для отопительно-вентиляционных систем (животноводческие помещения, теплицы) за t_n принимают температуру воздуха внутри помещения, при сушке материалов – температуру наружного воздуха.

Результаты расчета сводят в таблицу 1.3

Таблица 1.3 – Результаты расчета ТЭНа

d 10 ⁻³ м	$d_{тр.нар.}$ 10 ⁻³ м	$d_{тр.вн.}$ 10 ⁻³ м	$d_{сн.нар.}$ 10 ⁻³ м	$d_{сп.}$ 10 ⁻³ м	R_{H_2} , 10 ⁻³ м ² ·°С/Вт	R_{T_2} , 10 ⁻³ м ² ·°С/Вт	R_{T_1} , 10 ⁻³ м ² ·°С/Вт	φ_1 , Вт/м ²	φ_2 , Вт/м ²
---------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	---	---	---	------------------------------------	------------------------------------

По данным таблицы 1.3 на графике строят зависимости $\varphi_1(d)$ и $\varphi_2(d)$. Точка их пересечения ($\varphi_1 = \varphi_2$) дает искомый диаметр проволоки d , который округляют до ближайшего большего стандартного значения и принимают для дальнейших расчетов. Уточняют $d_{сп}$, $d_{тр.вн.}$ и $d_{тр.нар.}$

Длина проволоки $l = \frac{U^2 \pi d^2}{4 \rho P_1} \quad (1.22)$

В процессе изготовления ТЭНа сопротивление спирали изменяется. При опрессовке ТЭНа проволока деформируется, и ее сопротивление снижается на 20–24%. Кроме того, в процессе работы материал проволоки подвергается отжигу, который повышает электрическое сопротивление никрома на 3–5%. Эти изменения следует учесть путем увеличения длины проволоки, рассчитанной по формуле (1.22) на 26%. Окончательно длина проволоки рассчитывается:

$$l = 1,26l' . \quad (1.23)$$

Расстояние между соседними витками спирали (шаг спирали)

$$h = (2-6)d . \quad (1.24)$$

Количество витков спирали

$$n = \frac{l}{\sqrt{(\pi d_{\text{м}})^2 + h^2}} . \quad (1.25)$$

Длина спирали

$$L_{\text{акт}} = nh . \quad (1.26)$$

Величина $L_{\text{акт}}$ должна быть равна 0,48 м, так как ТЭНы устанавливаются в каркас серийно выпускаемого электрокалорифера (рисунок 1.3). Допустимое отклонение (только в меньшую сторону) не более 3 %. В противном случае расчет необходимо повторить, приняв новые значения d .

Результаты расчета ТЭНа сводят таблицу 1.4

Таблица 1.4 – Расчетные размеры ТЭНа

d 10^{-3} м	$d_{\text{сп.}}$ 10^{-3} м	$d_{\text{тр.вн.}}$ 10^{-3} м	$d_{\text{тр.нар.}}$ 10^{-3} м	l м	h 10^{-3} м	n	L м
--------------------	---------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	----------	--------------------	-----	----------

По данным таблицы 1.4 проектируют ТЭН, конструкцию которого чертят в масштабе на листе формата А3 графической части проекта.

ТЭНы размещают в электрокалорифере (рисунок 1.3). ТЭНы устанавливают горизонтально, в шахматном порядке, вертикальными рядами (число рядов может быть от 1 до 4). Диаметр ТЭНа с оребрением приведен в таблице 1.2, расстояние между ТЭНами $(5-10) \times 10^{-3}$ м. Конструктивную схему электрокалорифера вычерчивают в масштабе на листе формата А3 графической части проекта. Электрическая схема соединения ТЭНов в электрокалорифере – «звезда».

Таблица 1.5 – Основные размеры электрокалориферов СФО (рисунок 1.3)

Тип электрокалорифера	Размеры, мм					
	Н	Н ₁	С	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	В
СФО-5/1Т-И1 СФО-10/1Т-И1 СФО-16/1Т-И1	140	220	184	125	90	185
СФО-25/1Т-И1	170	250	215	125	90	244
СФО-40/1Т-И1	305	385	350	250	180	
СФО-60/1Т-И1	440	520	484	575	270	
СФО-100/1Т-И1	575	655	620	600	450	

1.3 Выбор электродвигателя для привода вентилятора

Для привода вентилятора используют трехфазный асинхронный электродвигатель серии АИР.

Электродвигатель для привода вентилятора электрокалориферной установки выбирают по мощности $P_{дв}$ и подаче $L_{в}$.

Подача вентилятора

$$L_{в} = k_1 L_1, \quad (1.27)$$

где $k_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий потери и подсос воздуха в воздуховодах;

L_1 – подача воздуха одной ЭКУ, м³/с.

Мощность электродвигателя

$$P_{дв} = k_{зdv} L_{в} \Delta p / (\eta_{в} \eta_{п}), \quad (1.28)$$

где $k_{зdv}$ – коэффициент запаса, зависящий от мощности (таблица 1.6);

Δp – напор вентилятора, Па;

$\eta_{в}, \eta_{п}$ – КПД вентилятора и передачи.

Таблица 1.6 – Зависимость коэффициента запаса от мощности двигателя вентилятора

$P_{дв}$, кВт	до 0,5	0,5–1,0	1,0–2,0	2,0–3,0	3,0 и более
$k_{зdv}$	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1

В ЭКУ типа СФОЦ используют центробежные вентиляторы типа В.Ц-4-75, технические характеристики которых приведены в [13].

КПД вентилятора определяют в зависимости от напора Δp и подачи L_B (рисунки 8.13–8.19 [13]). Так как частота вращения вентилятора и электродвигателя совпадает, то $\eta_{\text{п}} = 1$.

1.4 Проверочный расчет ЭКУ

Задача проверочного расчета ЭКУ состоит в определении температуры поверхности оболочки ТЭНа $t_{\text{тр}}$, температуры спирали $t_{\text{сп}}$, температуры воздуха, выходящего из калорифера t_2 .

Температура поверхности оболочки

$$t_{\text{тр}} = t_{\text{в}} + P_{\text{1ЭКУ}} / (\alpha_1 A_{\text{н}}), \quad (1.29)$$

где $t_{\text{в}} = 0,5(t_1 + t_2)$ – средняя температура воздуха в электрокалорифере, °С;

t_1, t_2 – температура воздуха на входе и выходе из электрокалорифера, °С;

$$t_2 = t_1 + P_{\text{1ЭКУ}} \eta / (\kappa_3 L_I \rho_{\text{в}} C_{\text{в}}), \quad (1.30)$$

где $C_{\text{в}} = 1 \times 10^3$ Дж/(кг·°С) – удельная теплоемкость воздуха;

$A_{\text{н}} = A_1 z$ – общая активная (теплоотдающая) площадь поверхности ТЭНов, м²;

A_1 – активная площадь поверхности ТЭНа, м² (таблица 1.2);

z – количество ТЭНов, шт;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНа к воздуху, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоотдачи находят по номограмме (рисунок 1.4). Для этого определяют скорость воздуха в калорифере по формуле:

$$v = L_I / [0,48(H - z_1 \cdot d_{\text{тр.нар}})], \quad (1.31)$$

где 0,48 – ширина входного отверстия калорифера, м;

H – высота входного отверстия (окна) калорифера, м, (таблица 1.3);

z_1 – число ТЭНов в одном вертикальном ряду.

Температура $t_{тр}$:

– не должна превышать допустимую для выбранного материала трубки (для углеродистых сталей не более 350 °С);

– должна соответствовать технологическим требованиям на нагрев.

Для ЭКУ отопительно-вентиляционных систем животноводческих помещений $t_{тр} \leq 180$ °С.

Температура воздуха на выходе из электрокалорифера отопительно-вентиляционных систем животноводческих помещений

$$t_2 \leq 50 \text{ °С};$$

при сушке материалов

$$t_2 \leq 40 \text{ °С}.$$

Температура спирали

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{в}} + \frac{P_{\text{в}}}{2\pi \lambda L_{\text{сп}}} \ln \frac{d_{\text{в}}}{K_{\text{сп}} d_{\text{сп}}}, \quad (1.32)$$

где λ – теплопроводность наполнителя (1.17);

$K_{\text{сп}}$ – коэффициент, учитывающий различие условий теплообмена на модели и в реальном нагревателе

$$\hat{\epsilon}_{\text{сп}} = 1 - 0,215 \frac{d}{d_{\text{сп}}} \left(\frac{h_{\text{сп}}}{d} - 0,6 \right) \left(1 + 2 \frac{d}{d_{\text{в}}} \right). \quad (1.33)$$

Температура $t_{\text{сп}}$ не должна превышать допустимую для материала проволоки.

При удовлетворительных результатах проверочного расчета проектирование ЭКУ завершают вычерчиванием ее эскиза на формате А3 и приступают к разработке принципиальной электрической схемы управления.

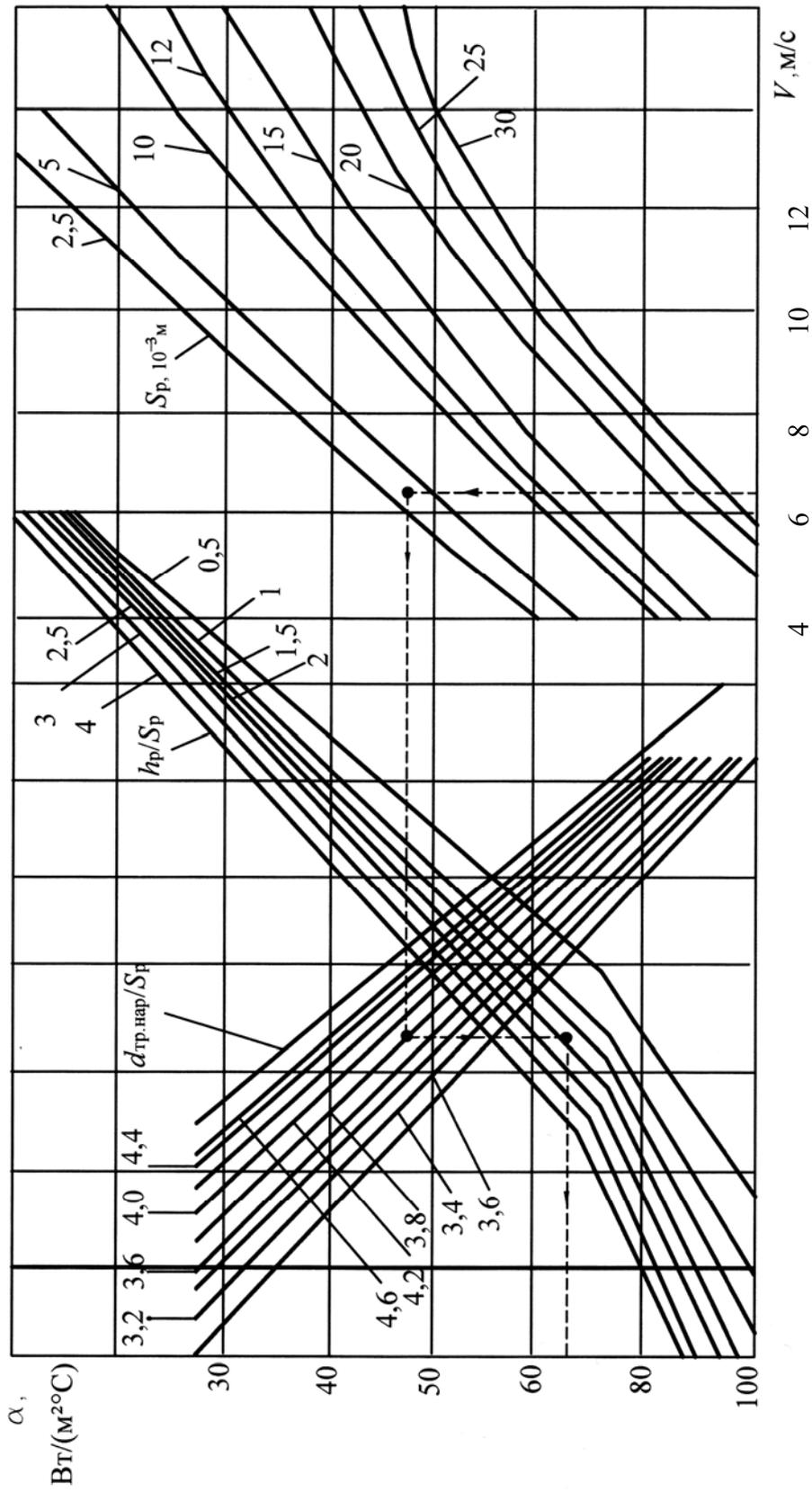


Рисунок 1.4 – Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи от оребренных трубчатых электронагревателей, обтекаемых поперечным потоком воздуха

1.5 Разработка принципиальной электрической схемы управления ЭКУ

Принципиальная электрическая схема управления ЭКУ должна обеспечивать:

- защиту от токов короткого замыкания и перегрузок;
- защиту ТЭНов от перегрева;
- регулирование мощности ЭКУ;
- регулирование температуры входящего воздуха;
- возможность ручного и автоматического управления;
- световую сигнализацию о включении электрокалорифера, электродвигателя в аварийных режимах.

Аппараты коммутации, защиты и управления ЭКУ выбирают по [4].

ТЭНы защищают от перегрева блокировкой возможности их включения при отсутствии подачи воздуха и температурным реле, ограничивающим их температуру.

Мощность регулируют ступенчато, количеством включенных ТЭНов, или плавно, напряжением, подаваемым на ТЭНы.

В расчетно-пояснительной записке необходимо составить и описать работу принципиальной электрической схемы управления ЭКУ, выбрать ее основные элементы (аппараты коммутации, защиты, сигнализации, регулирования и т.д). В графической части проекта начертить принципиальную электрическую схему с перечнем ее элементов.

2 РАСЧЕТ ИНДУКТОРА И ВЫБОР ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

2.1 Выбор частоты

Диапазон частот для нагрева углеродистых сталей можно рассчитать по следующим формулам.

Сплошной цилиндр радиусом R_2 :

$$0,75/R_2^2 \leq f \leq 3/R_2^2 \quad . \quad (2.1)$$

Полый цилиндр с наружным радиусом R_2 толщиной стенки δ_2 :

$$2,5 \times 10^5 \rho_2 / (R_2 \delta_2) \leq f \leq 10 \times 10^5 \rho_2 / (R_2 \delta_2), \quad (2.2)$$

где ρ_2 – удельное сопротивление стали в горячем режиме (температура более 750°C), Ом·м (таблица 2.3).

Детали прямоугольного сечения

$$f = 8,1 \times 10^{12} \rho_2 h_2, \quad (2.3)$$

где h_2 – толщина детали, м.

При нагреве деталей всех форм в коротких индукторах ($l_1 < 4R_1$) частоту, рассчитанную по формулам (2.1)–(2.3), следует увеличить в 1,25–1,5 раза, где l_1 и R_1 – длина и радиус индуктора (рисунок 2.1), которые определяются по формуле (2.12).

Диапазон частот при закалке углеродистых сталей:

$$3 \times 10^{-2} / X_k^2 \leq f \leq 25 \times 10^{-2} / X_k^2, \quad (2.4)$$

где X_k – глубина закаленного слоя, м.

По расчетной величине выбирают ближайшую большую, на которую выпускают высокочастотные преобразователи (таблица 2.10, 2.11).

Условием правильного выбора частоты при нагреве различных материалов является:

$$D_2 / (\sqrt{2} Z_a) = 2,2 - 2,5, \quad (2.5)$$

где D_2 – диаметр заготовки, м;

Z_a – глубина проникновения тока в металл, м.

$$Z_a = 503 \sqrt{\rho_2 / (\mu f)}, \quad (2.6)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость металла. Для стали в расчетах принять $\mu = 1$.

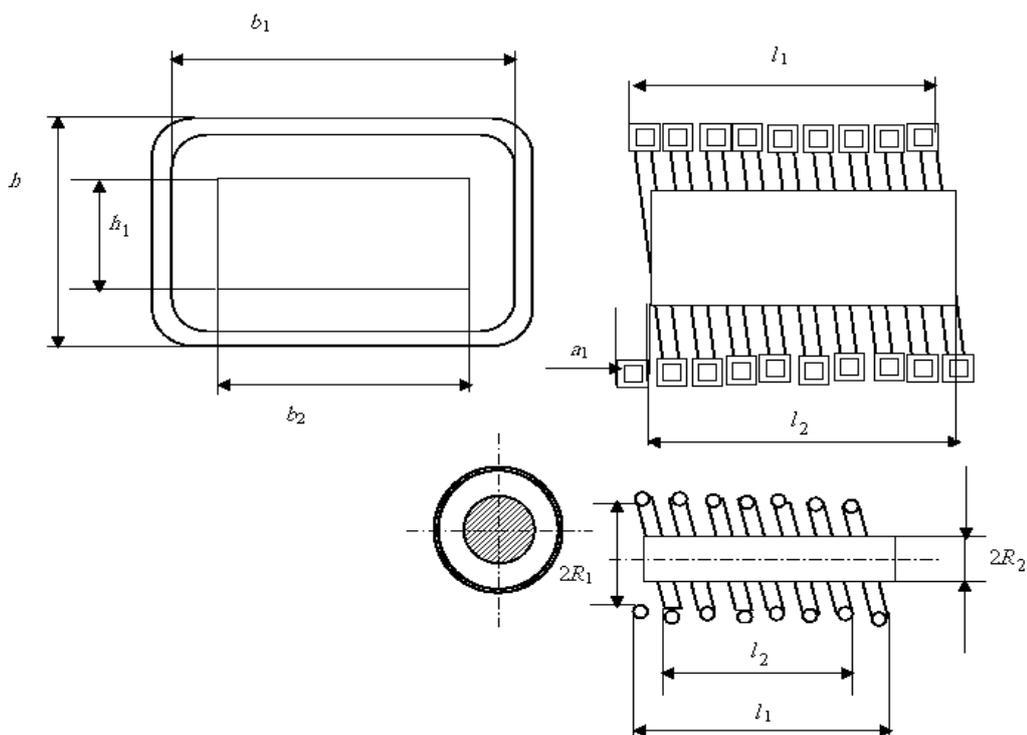


Рисунок 2.1 – Геометрические размеры системы индуктор-деталь

Таблица 2.1 – Рекомендуемая частота тока при нагреве стальных заготовок

Диаметр, 10^{-3} , м	250 и более	80–250	55–80	35–55	20–35	5–20
Частота, кГц	0,05	0,5	1,0	2,4	8,0	66,0

Таблица 2.2 – Глубина закалки стальных заготовок

Глубина закаленного слоя, 10^{-3} м	Частота, кГц			
	8,0	2,5	1,0	0,05
Наименьшая	1,3	2,4	3,6	17
Наибольшая	5,5	10,0	16,0	70
Оптимальная	2,7	5,0	8,0	34

Таблица 2.3 – Усредненное значение удельного сопротивления углеродистых сталей

t , °C	20	100	200	400	600	800	1000	1200	1300
ρ_2 , 10^{-6} Ом·м	0,2	0,25	0,33	0,52	0,79	1,18	1,22	1,26	1,3

2.2 Определение мощности и размеров индуктора

Средняя полезная мощность (Вт) за время нагрева заготовки определяется по формуле:

$$P_n = mC(t_2 - t_1)/\tau_k, \quad (2.7)$$

где $m = V\rho'_{ст}$ – масса заготовки, кг;

$C=668$ Дж/(кг·°С)- средняя удельная теплоемкость углеродистых сталей;

t_1, t_2 – начальная и конечная температура нагрева, °С;

τ_k – время нагрева до конечной температуры при нормируемом теплоперепаде, с;

$\rho'_{ст} = 7860$ кг/м³ – средняя (за время нагрева) плотность стали;

$V = \frac{\pi D_2^2}{4} l_2$ – объем заготовки, м³.

Время нагрева τ_k при теплоперепаде Δt между поверхностью и центром заготовки:

$$\Delta t = 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \tau_k \approx 5,9 \times 10^4 D_2'^2, \quad (2.8)$$

$$\Delta t = 150 \text{ } ^\circ\text{C}, \tau_k \approx 3,7 \times 10^4 D_2'^2, \quad (2.9)$$

где $D_2' = D_2 - Z_{ак}$ расчетный диаметр заготовки, м.

Глубина проникновения тока в заготовку в конце нагрева (м) для углеродистых сталей:

$$Z_{ак} = 0,5/\sqrt{f}. \quad (2.10)$$

Удельная полезная мощность на поверхности заготовки, Вт/м²:

$$P_o = P_n / S, \quad (2.11)$$

где S – площадь поверхности заготовки без учета торцов, м².

Воздушный зазор между индуктором и нагреваемой заготовкой Δh принимают в пределах 2–5 мм, если диаметр D_2 меньше 50 мм, и 5–10 мм при $D_2 \geq 50$ мм. Увеличение зазора снижает КПД и $\cos\phi$ индуктора. Длину индуктора l_1 принимают примерно равной длине заготовки.

$$D_1 = D_2 + \Delta h, \quad h_1 = h_2 + \Delta h, \quad l_1 \approx l_2. \quad (2.12)$$

Толщина стенки трубки индуктирующего провода при частотах до 10^4 Гц

$$\delta_1 \approx 1,6Z_{a1}, \quad (2.13)$$

где Z_{a1} – глубина проникновения тока в медь (2.14), м.

При частоте более 10^4 Гц $\delta_1 > 0,5$ мм по механической прочности.

Индуктор изготавливают из медной трубки круглого или прямоугольного сечения. Используют электротехническую медь марок М0 или М1, обладающих минимальным удельным сопротивлением. Удельное сопротивление меди можно считать $(0,018-0,02) \times 10^{-6}$ Ом·м.

2.3 Электрический расчет индуктора

Задача расчета – определить напряжение на индукторе U_n , ток индуктора I_n , число витков индуктора W , коэффициент мощности $\cos\varphi_n$, коэффициент полезного действия η_n , мощность, подводимую к индуктору P_n .

Расчет выполняют на примере условного одновиткового индуктора. В конце расчета определяют количество витков W и пересчитывают параметры индуктора на это количество витков.

Глубина проникновения тока:

– в медь индуктора, м:

$$Z_{a1} = 0,7 / \sqrt{f}; \quad (2.14)$$

– в заготовку в горячем режиме:

$$Z_{a2} = 503 / \sqrt{\rho_2 / f}, \quad (2.15)$$

где ρ_2 – удельное сопротивление заготовки в горячем режиме (таблица 2.3), Ом·м, при относительной магнитной проницаемости μ равной относительной магнитной проницаемости на поверхности заготовки μ_e .

$$Z_{aa} = f(\rho_2, f, H_a^2 \sqrt{\mu_a}). \quad (2.16)$$

Величину Z_{ac} находят из таблицы 2.4. Для этого необходимо определить величину:

$$H_e^2 \sqrt{\mu_e} = 3,67 \times 10^2 P_0 / \sqrt{\rho_2 f}, \quad (2.17)$$

Если $\rho_2 > 0,18 \times 10^{-6}$ Ом·м, то полученное значение Z_{ac} нужно увеличить в $\sqrt{\rho_2 / 0,18 \times 10^{-6}}$ раз.

По формулам таблицы 2.5 рассчитывают r_2 , x_{2M} для холодного, промежуточного и горячего режимов нагрева, а также x_s и x_0 . Температуру промежуточного режима принять 750–800 °С.

Коэффициент приведения параметров, характеризующий соотношение размеров индуктора и заготовки:

$$C = \frac{x_0^2}{r_2^2 + (1 + x_s + x_{2M})^2}. \quad (2.18)$$

Активное сопротивление пустого индуктора, Ом:

– цилиндрического

$$r_i = \frac{2\pi \rho_l (R_1 + 0,5Z_{al}) W^2 k_{r1}}{Z_{al} l_1}, \quad (2.19)$$

– прямоугольного

$$r_i = \frac{2 \times 10^{-8} \rho_l (b_1 + h_1) W^2 k_{r1}}{Z_{al} l_1}, \quad (2.20)$$

В формулах (2.19) и (2.20) принять $W = 1$, $k_{r1} = 1,3$ – характеризует отношение δ_1 / Z_{al} .

Сопротивление нагруженного индуктора:

– активное

$$r_H = r_1 + r_2 C W^2; \quad (2.21)$$

– индуктивное

$$x_H = C [x_s + x_{2M} + (r_2^2 + [x_s + x_{2M}]^2) / x_0] W^2; \quad (2.22)$$

– полное

$$z_i = \sqrt{r_i^2 + x_i^2}. \quad (2.23)$$

В формулах (2.21), (2.22) так же принять $W = 1$.

Ток в одновитковом индукторе:

$$I'_n = \sqrt{P_n / (r_2 C)} \quad (2.24)$$

Напряжение на индуктирующем проводе одновиткового индуктора:

$$U'_n = I'_n z_n. \quad (2.25)$$

Число витков индуктора:

$$W = U_n / U'_n, \quad (2.26)$$

где U_n – напряжение фактическое, подводимое к индуктору, В.

Напряжение, подводимое от преобразователя частоты к индуктору можно регулировать в пределах от нескольких до 800–1600 В.

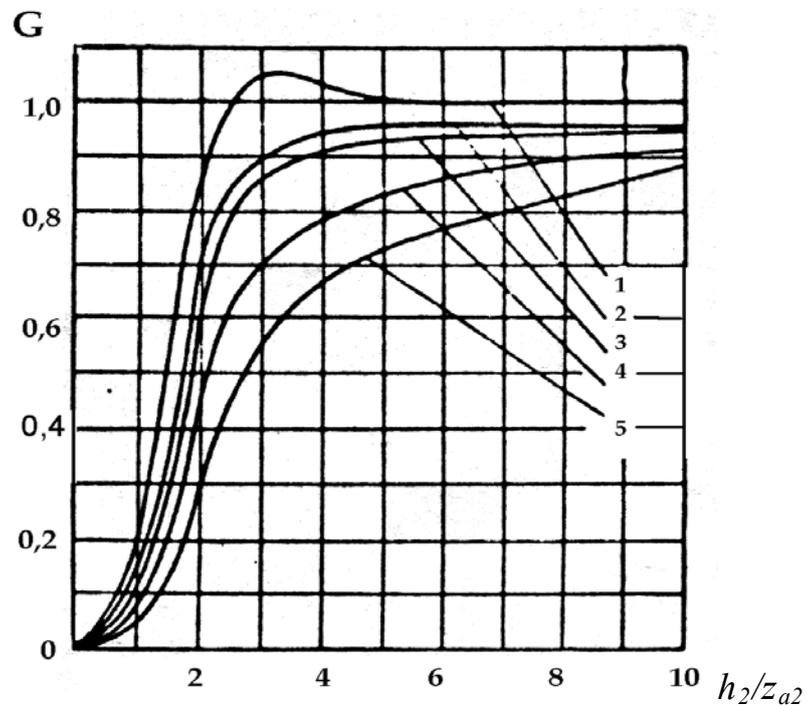


Рисунок 2.2 – Функция G:
 1 – $b_2/h_2 = \infty$; 2 – $b_2/h_2 = 4$;
 3 – $b_2/h_2 = 10$; 4 – $b_2/h_2 = 2$; 5 – $b_2/h_2 = 1$

Таблица 2.4 – Значения Z_{ae} для углеродистой стали при $\rho = 0,18 \times 10^{-6}$ Ом·м

$H_e, 10^4$ А·м ⁻¹	μ_e	$H_e^2 \sqrt{\mu_e}$	Глубина проникновения $Z_{ae}, 10^2$ м								
			50	500	1000	2500	4000	8000	10 кГц	70 кГц	440 кГц
1	128	$11,6 \times 10^8$	0,27	0,084	0,059	0,037	0,0296	0,021	0,0189	$0,71 \times 10^{-2}$	$0,28 \times 10^{-2}$
2	67	$32,6 \times 10^8$	0,37	0,12	0,083	0,052	0,0410	0,029	0,0261	$0,99 \times 10^{-2}$	$0,394 \times 10^{-2}$
4	35,2	95×10^8	0,51	0,16	0,11	0,072	0,0565	0,04	0,0360	$1,4 \times 10^{-2}$	$0,544 \times 10^{-2}$
6	24,2	176×10^8	0,61	0,19	0,14	0,087	0,0680	0,049	0,0435	$1,63 \times 10^{-2}$	0,655
8	18,4	274×10^8	0,70	0,22	0,16	0,1	0,0780	0,056	0,0500	$1,87 \times 10^{-2}$	0,753
10	15,0	386×10^8	0,78	0,25	0,17	0,11	0,0865	0,062	0,0550	$2,1 \times 10^{-2}$	0,833
12	12,7	512×10^8	0,85	0,27	0,19	0,12	0,0940	0,067	0,0650	$2,26 \times 10^{-2}$	0,906
14	11,0	650×10^8	0,91	0,29	0,2	0,128	0,101	0,072	0,0645	$2,4 \times 10^{-2}$	0,975
16	9,67	793×10^8	0,97	0,31	0,22	0,137	0,107	0,077	0,0687	$2,6 \times 10^{-2}$	1,04
18	8,65	953×10^8	1,02	0,32	0,23	0,144	0,114	0,081	0,0727	$2,72 \times 10^{-2}$	1,10
20	7,9	$11,2 \times 10^{10}$	1,07	0,34	0,24	0,151	0,119	0,085	0,0760	$2,87 \times 10^{-2}$	1,15
24	6,63	$14,8 \times 10^{10}$	1,17	0,37	0,26	0,165	0,129	0,092	0,0830	$3,14 \times 10^{-2}$	1,25
28	5,75	$18,8 \times 10^{10}$	1,25	0,40	0,28	0,177	0,139	0,099	0,0893	$3,35 \times 10^{-2}$	1,35
32	5,08	$23,8 \times 10^{10}$	1,34	0,42	0,3	0,19	0,148	0,106	0,0950	$3,6 \times 10^{-2}$	1,43
36	4,55	$27,7 \times 10^{10}$	1,41	0,45	0,315	0,2	0,156	0,112	0,1000	$3,78 \times 10^{-2}$	1,51
40	4,53	36×10^{10}	1,42	0,46	0,32	0,205	0,157	0,115	0,100	$3,8 \times 10^{-2}$	1,52

Таблица 2.5 – Формулы для определения активных и реактивных сопротивлений нагреваемых тел различной формы

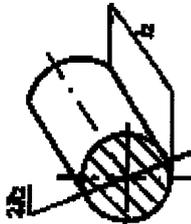
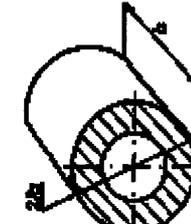
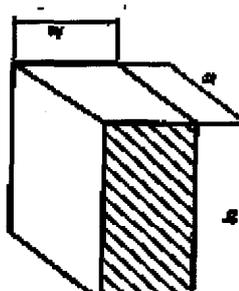
Сопротивление	Режимы				Коэффициенты
Активное r_2 , Ом	Холодный	$\frac{8,6\rho_2 R_2}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{8,6\rho_2 R_2}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2,74\rho_2 (b_2 + h_2)}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$Z_{\text{ак}}$ в таблице 2.4
	Промежуточный	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2\rho_2 (b_2 + h_2)}{Z_{\text{ак}} l_2}$	Φ в таблице 2.6
	Горячий режим или немагнитные материалы	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{6,28\rho_2 R_2 M}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2\rho_2 (b_2 + h_2) G}{Z_{\text{ак}} l_2}$	Φ в таблице 2.7 M из рисунка 2.3 G из рисунка 2.2
Индуктивное сопротивление потоку внутри заготовки, $x_{2\text{л}}$, Ом	Холодный	$\frac{6,28\rho_2 R_2}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{6,28\rho_2 R_2}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2\rho_2 (b_2 + h_2)}{Z_{\text{ак}} l_2}$	Φ в таблице 2.6
	Промежуточный	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2\rho_2 (b_2 + h_2) \Phi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	Ψ в таблице 2.9
	Горячий режим или немагнитные материалы	$\frac{6,28\rho_2 R_2 \Psi}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{6,28\rho_2 R_2 N}{Z_{\text{ак}} l_2}$	$\frac{2\rho_2 (b_2 + h_2) Q}{Z_{\text{ак}} l_2}$	N из рисунка 2.4 Q из рисунка 2.5
Индуктивное сопротивление в зазоре между индуктором и заготовкой x_2 , Ом		$\frac{24,8 \times 10^{-6} f (R_1^2 - R_2^2)}{l_2}$		$\frac{7,9 \times 10^{-6} f (b_1 h_1 - b_2 h_2)}{l_2}$	-
Индуктивное сопротивление обратного замыкания x_Q , Ом		$\frac{24,8 \times 10^{-6} f R_1^2 k_{x1}}{l_1 - l_2 k_{x1}}$		$\frac{7,9 \times 10^{-6} f b_1 h_1 k_{x1}}{l_1 - l_2 k_{x1}}$	k_{x1} из рисунка 2.6

Таблица 2.6 – Значение функции Φ

He $10^4,$ A_{M}	X_w/Z_{a2}										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1	-	-	-	2,185	1,815	1,560	1,386	1,242	1,14	1,067	
2	-	3,405	2,575	2,08	1,75	1,516	1,345	1,225	1,13	1,06	
4	4,06	2,98	2,355	1,946	1,662	1,458	1,310	1,199	1,115	1,052	
8	3,21	2,546	2,100	1,81	1,557	1,386	1,260	1,170	1,083	1,04	
12	2,783	2,30	1,974	1,68	1,486	1,337	1,226	1,144	1,08	1,083	
16	2,505	2,115	1,819	1,60	1,43	1,298	1,201	1,130	-	-	
20	2,30	1,98	1,727	1,535	1,385	1,272	-	-	-	-	
24	2,14	1,87	1,650	1,48	-	-	-	-	-	-	
28	2,01	1,777	1,585	-	-	-	-	-	-	-	
32	1,91	1,700	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 2.7 – Значение Φ и Ψ

m	Φ	Ψ	m	Φ	Ψ
0	0	0	3,2	0,785	1,05
1	0,086	0,69	3,4	0,8	1,03
1,2	0,144	0,815	3,6	0,81	1,02
1,4	0,218	0,92	3,8	0,82	1,01
1,6	0,305	1,0	4,0	0,825	1,0
1,8	0,4	1,06	5,0	0,855	1,0
2,0	0,49	1,09	6,0	0,88	1,0
2,2	0,57	1,1	7,0	0,895	1,0
2,4	0,64	1,11	8,0	0,91	1,0
2,6	0,69	1,09	9,0	0,92	1,0
2,8	0,735	1,07	10,0	0,93	1,0
3,0	0,765	1,06		1,0	1,0

В таблице 2.9 $m = \sqrt{2R_2/Z_{a2}}$ – относительный радиус.

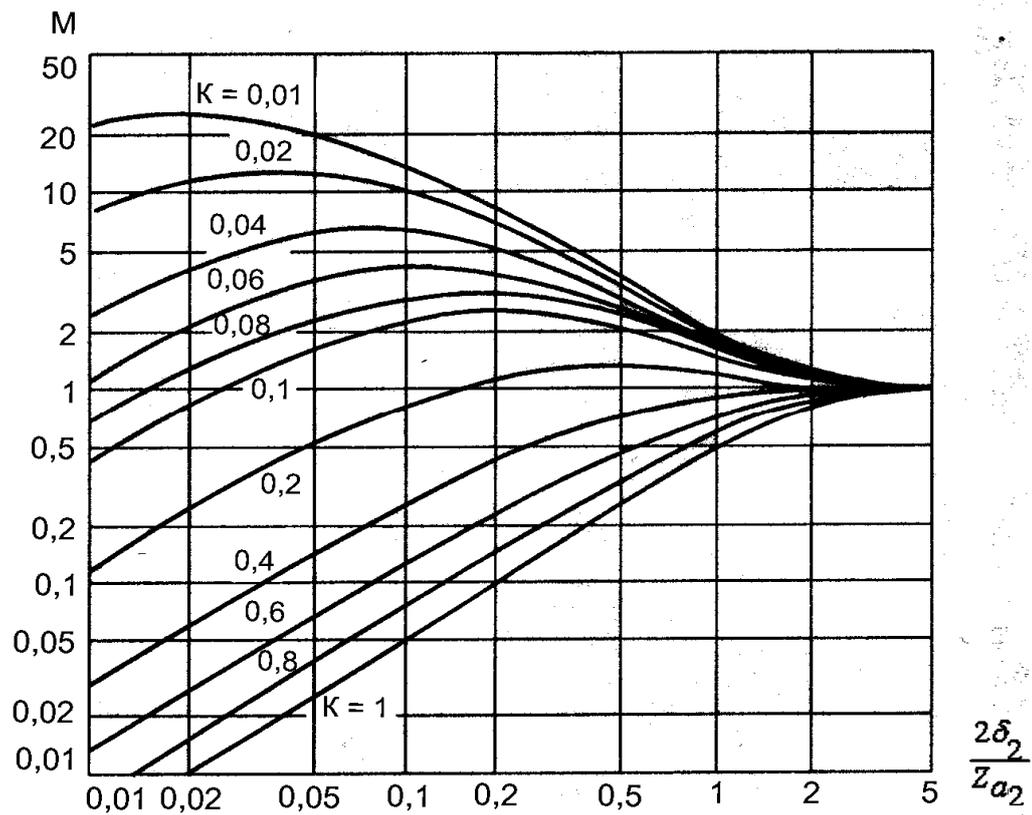


Рисунок 2.3 – Функция M при $K = Z_{a2}/(R_2 - \delta_2)$

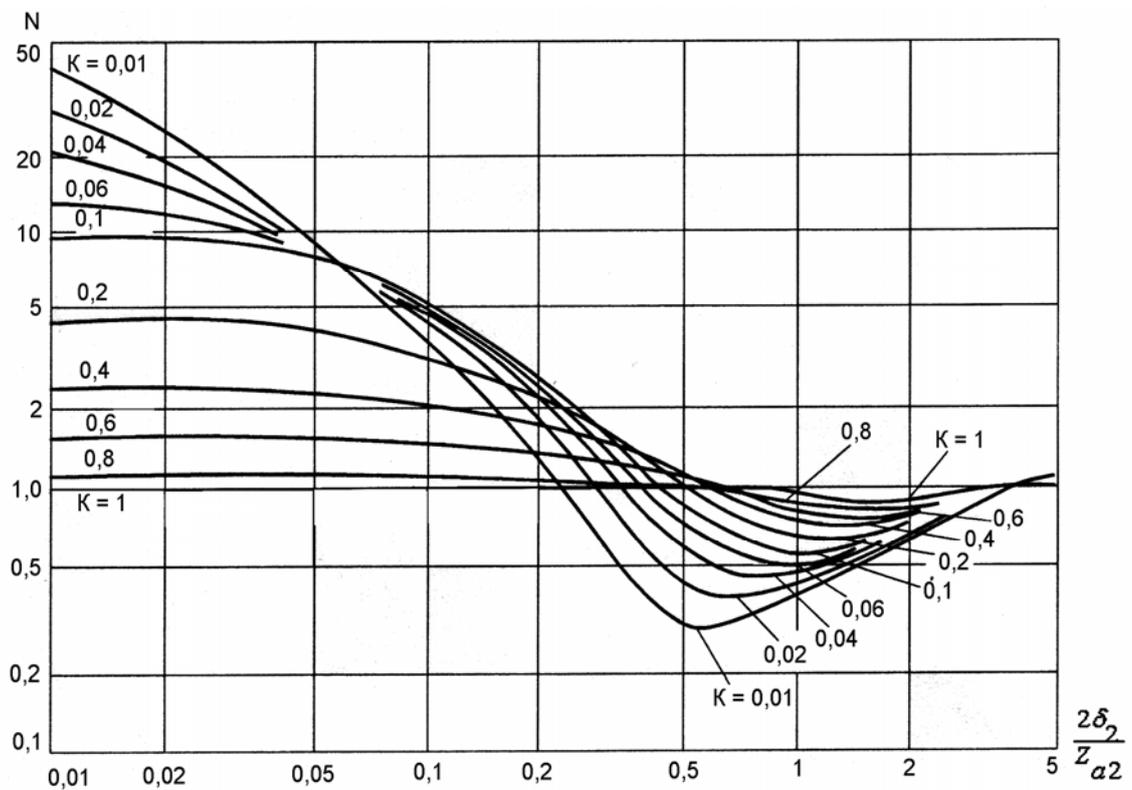


Рисунок 2.4 – Функция N при $K = Z_{a2}/(R_2 - \delta_2)$

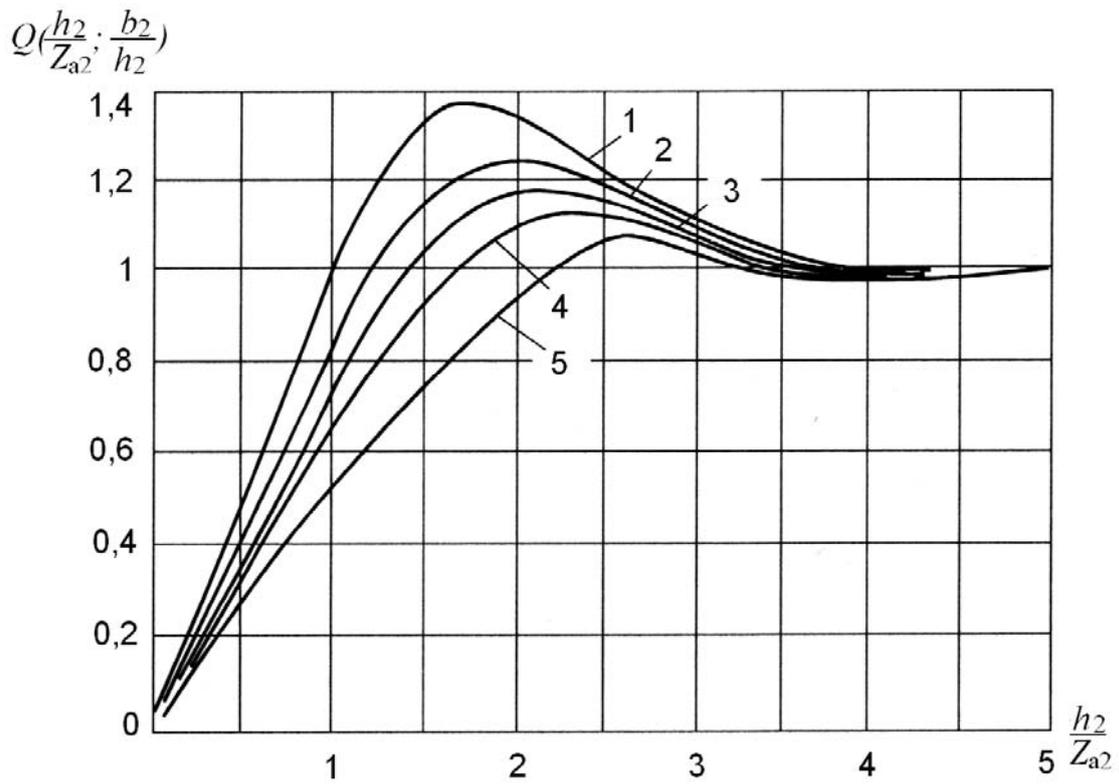


Рисунок 2.5 – Функция Q при отношении b_2/h_2 равном:
 1– ∞ ; 2–10; 3–4; 4–2; 5–1

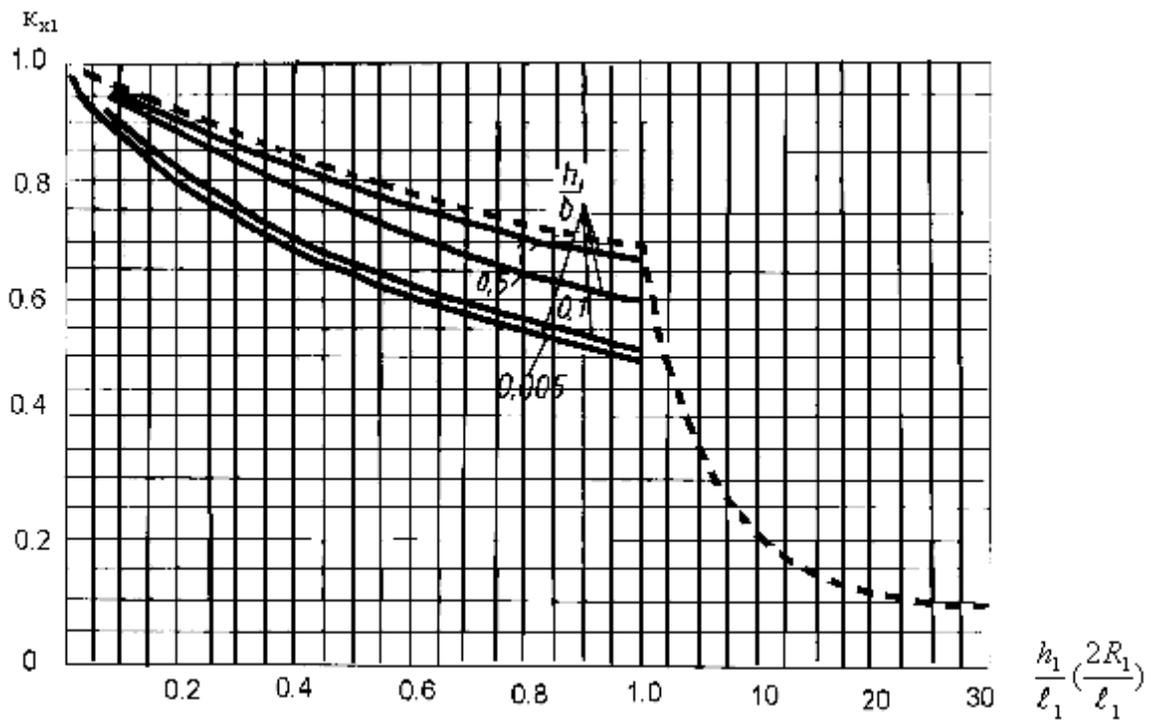


Рисунок 2.6 – Значение k_{x1} :
 --- для цилиндров, — для индукторов прямоугольного сечения

Ширина (диаметр) индуктирующего провода без учета зазора между витками:

$$a_1 = l_1/W . \quad (2.27)$$

По ширине (диаметру) выбирают медную трубку для изготовления индуктора.

Параметры индуктора, пересчитанные на реальное число витков, находят по формулам (2.19)–(2.22), подставив в них принятое число витков, а также ток индуктора, А:

$$I_{\text{и}} = I'_{\text{и}}/W . \quad (2.28)$$

Электрический КПД индуктора, о.е.:

$$\eta_{\text{и}} = (r_{\text{н}} - r_1)/r_{\text{н}} . \quad (2.29)$$

Коэффициент мощности, о.е.:

$$\cos\varphi_{\text{и}} = r_{\text{н}}/z_{\text{н}} . \quad (2.30)$$

Мощность, подводимая к индуктору:

$$P_{\text{и}} = P_{\text{п}}/\eta_{\text{и}} . \quad (2.31)$$

Напряжение на индукторе:

$$U_{\text{и}} = I_{\text{и}}z_{\text{ни}} , \quad (2.32)$$

где $z_{\text{ни}}$ – полное сопротивление индуктора с числом витков W .

Реактивная мощность конденсаторной батареи:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{и}}\text{tg}\varphi_{\text{и}} . \quad (2.33)$$

Коэффициент мощности индукционной установки в номинальном режиме должен составлять 0,98–0,99 и иметь емкостной характер.

2.4 Проектирование индукционной установки

Ознакомиться с примерами конструктивного исполнения индукторов и рекомендациями по их конструированию [9–12] и рисункам 2.7, 2.8.

Выбрать конструктивную схему индуктора, наиболее близкую к заданию. Вычертить общий вид индуктора согласно расчетным размерам.

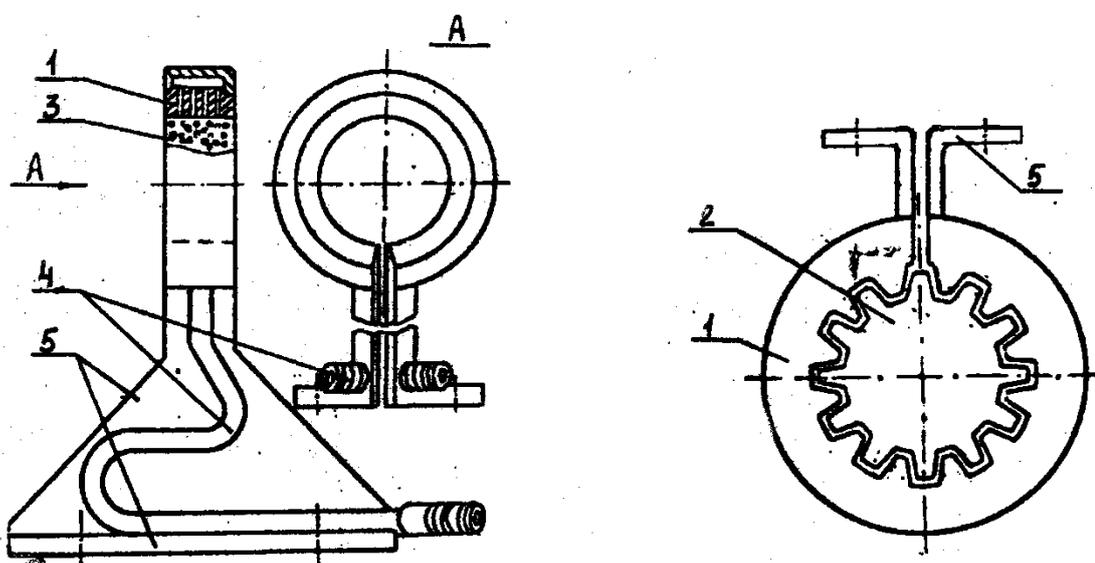
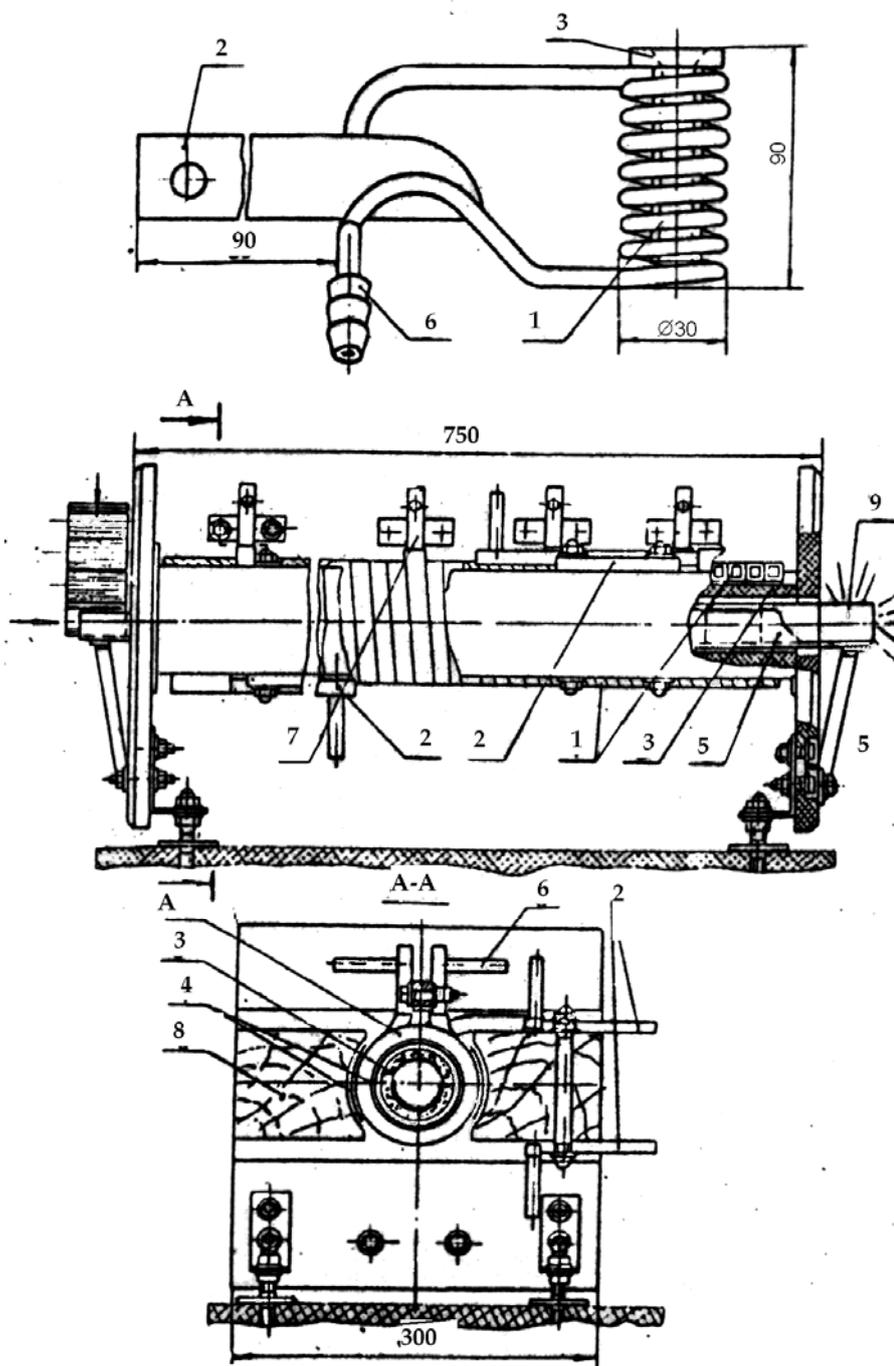


Рисунок 2.7 – Индукторы закалочные:

1 – индуктирующий провод; 2 – заготовка (изделие); 3 – отверстие для подачи воды при закалке; 4 – трубки охлаждения индуктора; 5 – токоподводящие шины



a

б

Рисунок 2.8 – Индукторы нагревательные периодического (*a*) и методического (*б*) действия: 1 – индуктирующий провод; 2 – токоподводящие шины; 3 – керамические втулки (тепловая изоляция); 4 – асбестовая прокладка; 5 – металлическая направляющая для перемещения заготовок; 6 – трубки водоохлаждения; 7 – узел соединения секций индуктора; 8 – бруски крепления индуктора; 9 – заготовка

2.5 Выбор индукционной установки

Индукционные установки выбирают по технологическому назначению (нагревательные, закалочные, плавильные и др.), частоте и мощности генератора. Состав оборудования высокочастотных установок с машинным генератором показан на рисунке 2.9.

Мощность генератора:

$$P_{\Gamma} = P_{и} / \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{л}}, \quad (2.34)$$

где $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ – КПД понижающего трансформатора, о.е.;

$\eta_{\text{л}} = 0,95$ – КПД линии, соединяющей генератор с индуктором, о.е.

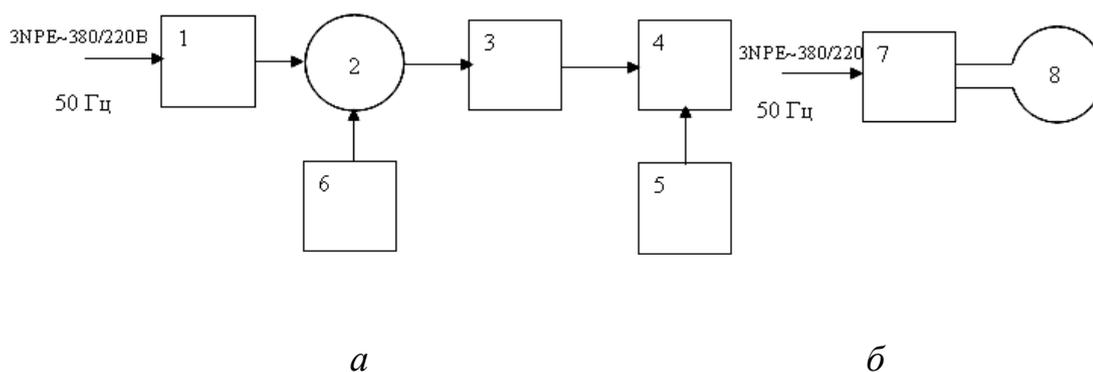


Рисунок 2.9 – Блок-схема индукционной закалочной установки типа ИЗ (а) и высокочастотного лампового генератора типа ВЧИ (б): 1 – шкаф управления электродвигателем генератора частоты; 2, 3 – шкаф контакторный; 4- нагревательный блок с индуктором; 5 – шкаф управления нагревательным блоком; 6 – шкаф регулирования напряжения на выходе генератора; 7 – ламповый преобразователь частоты; 8 – индуктор

Применительно к разовому и небольшому серийному производству ремонтных предприятий наибольший интерес представляют универсальные индукционные заколоченные установки типа ИЗ с машинными преобразователями и ламповые высокочастотные генераторы типа ВЧИ, которые можно использовать для сквозного нагрева и закалки, заменяя лишь индукторы. В работе не рассматриваются другие типы (машинные и тиристорные преобразователи), обладающие излишне большой мощностью, чтобы их широко использовать на сельскохозяйственных предприятиях.

По мощности и частоте необходимо выбрать тип индукционной установки, изучить ее устройство и принцип работы, вычертить принципиальную электрическую схему.

Таблица 2.10 – Индукционные закалочные установки с машинными преобразователями

Характеристики	ИЗ1-30/8	ИЗ3-100/2.4	ИЗ4-100/8	ИЗ3-200/2.4	ИЗ4-200/8
Тип преобразователя	ВПЧ-30/8	ВПЧ-100/2.4	ВПЧ-100/8	ВПЧ-100/2.4	ВПЧ-100/8
Количество преобразователей	1	1	1	2	2
Мощность электродвигателя, кВт	50	140	140	2×140	2×140
Мощность на высокой частоте, кВт	30	100	100	2×100	2×100
Частота тока, Гц	8000	2400	8000	2400	8000
Напряжение, В	400	800	800	800	800
Поверхность одновременного нагрева, м ²	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04
Глубина закаленного слоя, мм	1,3–5	2,5–10	1,3–5	2,5–10	1,3–5

Таблица 2.11 Индукционные установки с ламповыми генераторами

Характеристики	ВЧИ-10/0,44	ВЧИ-25/0,44	ВЧИ-63/0,44	ВЧИ2-100/0,066	ВЧИ3-100/0,066
Мощность, потребляемая из сети, кВт	14	37	90	140	200
Мощность на высокой частоте, кВт	10	25	63	100	160
Частота тока, кГц	440	440	400	66	66
Вторичное напряжение анодного трансформатора, кВ	6,0	8,4	8,4	8,4	8,4

3 РАСЧЕТ УСТАНОВКИ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

3.1 Расчет разрядного устройства

По виду и возрасту животных определяют концентрацию аэроионов в помещении (таблица 3.1). Согласно задания принимают конструктивное исполнение разрядного устройства и расчетную схему (таблица 3.2).

Определяют напряжение зажигания короны U_3 (таблица 3.2). Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации аэроионов:

$$U_p = U_3 + \frac{ne}{4\epsilon_0} R^2 \quad \text{или} \quad U_p = U_3 + \frac{ne}{4\epsilon_0} h^2 \quad (3.1)$$

где n – концентрация аэроионов в помещении, ион/м³ (таблица 3.1);

$e=1,6 \times 10^{-19}$, Кл – заряд аэроиона, принят равным заряду электрона;

$\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Ток (i , I) разрядного устройства, А/м или А (таблица 3.2.). Ток на единицу длины провода в 100–150 раз больше тока ворсинки (для разрядного устройства, выполненного из провода ПБД1х2).

Поток аэроионов, ион/м·с или ион/с:

$$N_i = i/e; \quad N_I = I/e. \quad (3.2)$$

Длина разрядной линии l_i или количество разрядных игл k_u , приняв среднюю продолжительность жизни аэроиона $\tau=10$ с [5], равна

$$l_i = nV/N_i\tau, \quad k_u = nV/N_I\tau, \quad (3.3)$$

где V – объем помещения, м³.

Ток разрядной линии I_{pi} или разрядных игл I_{pl} :

$$I_{pi} = il_i, \quad I_{pl} = k_u I. \quad (3.4)$$

Мощность разрядной линии:

$$P_p = k_3 I_{pi} U_p, \quad P_p = k_3 I_{pl} U_p, \quad (3.5)$$

где $k_3 = 1,1–1,2$ – коэффициент, учитывающий понижение напряжения в сети.

Мощность источника питания

$$P_u = P_p / \eta, \quad (3.6)$$

где $\eta = 0,1-0,2$ – КПД источника питания и линии, соединяющей источник с разрядным устройством.

Таблица 3.1 – Зоотехнические рекомендации по дозам и режимам ионизации воздуха в помещении

Вариант задания	Вид животных, птицы	Концентрация отрицательных аэроионов, 10^{11} ион/м ³	Режим аэроионизации в течении суток
-	Телята до 1 мес.	2,0	Ежедневно по 6...8 ч.
0; 1	Коровы	2,5	В течении 15–20 дней по 5–8 ч, перерыв на 15–20 дней, повтор
2	Быки-производители	3,0	В течении 2 мес. по 8–10 ч перерыв на 20–30 дней, повтор
3	Поросята	4,0	В течении 3–4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор
4	Свиньи	5,0	В течении 3–4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор
5	Цыплята	0,25	Возраст 3–20 дней – 1–2 ч, 20–40 дней – 3 ч, 40–60 дней – 4 ч.
6	Птица	0,3–1,6	Возраст 60–80 сут. От 0,5 до 4 ч, 80–100 дней от 5 до 10 ч. Чередование: 5 дней – ионизация, 5 дней – перерыв
7	Бройлеры	0,65	3–18 суток – 0,5 ч, 11–40 суток – 2 ч, 40–65 суток – 3 ч. Три дня ионизация, три дня – пауза
8	Куры-несушки	1,5–2,5	Увеличение от 4 до 12 ч. Чередование 1 мес. ионизация, 1 мес. перерыв
9	Инкубаторы	0,13	Круглосуточно 19 дней

Таблица 3.2 – Схемы и формулы к расчету разрядных устройств аэроионизаторов

Схема расположения коронирующих электродов	1. Коаксиальные цилиндры	2. Провод–плоскость	3. Провод между плоскостями	4. Игла–плоскость
Напряжение зажигания короны, В, при атмосферном давлении $1,013 \times 10^5$ ПА и $t = 20^\circ\text{C}$	$U_3 = 30,3 \times 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{R}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \times 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{2h}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \times 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{4h}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \times 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r_3 \ln\left(\frac{h}{r_3}\right)$
Ток короны	$i = \frac{8\pi\epsilon_0\hat{e}U_p(U_p - U_\varphi)}{R^2 \ln(R/r)}, \text{А/и}$	$i = \frac{\pi^2\epsilon_0\hat{e}U_p(U_p - U_\varphi)}{h^2 \ln(2h/r)}, \text{А/и}$	$i = \frac{4\pi\epsilon_0\hat{e}U_p(U_p - U_\varphi)}{2h^2 \ln(4h/\pi r)}, \text{А/и}$	$i = \frac{1,5\hat{e}\epsilon_0(1 + 0,042/h)U_\delta(U_\delta - U_\varphi)}{h(1 - 1,5 \cdot 10^{-2}r_\varphi)}, \text{А}$

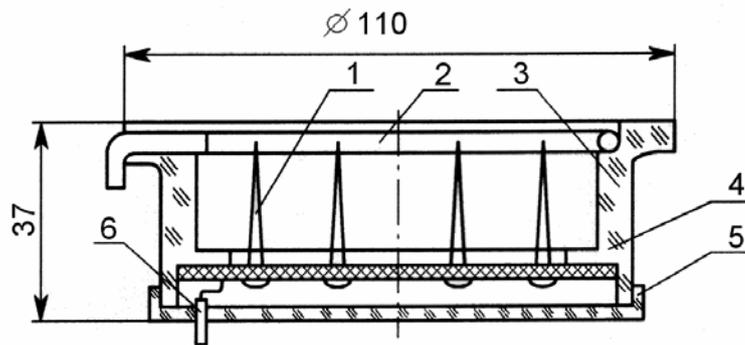


Рисунок 3.1 – Игольчатый электроразрядник:

1 – игла швейная №3; 2 – провод экранирующий; 3 – корпус; 4 – основание для крепления игл; 5 – крышка изоляционная; 6 – провод токоподводящий

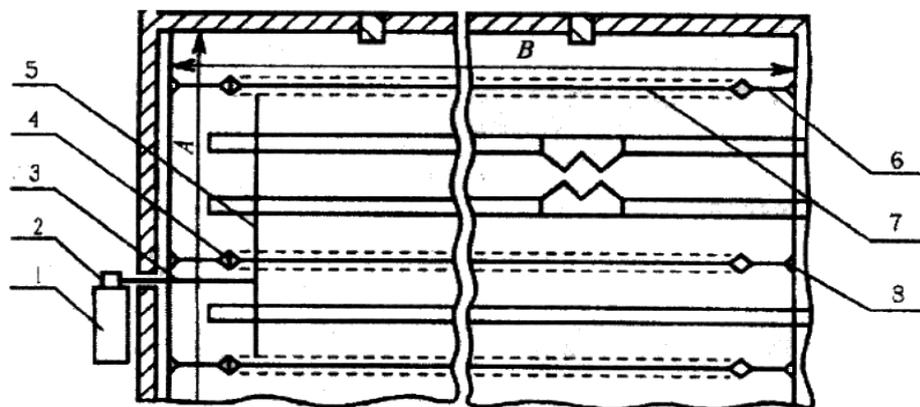


Рисунок 3.2 – Схема размещения аэроионизационной установки в животноводческом помещении: 1 – щит силовой; 2 – блок питания аэроионизатора; 3,5 – кабель РК-75-17-21, соединяющий блок питания с разрядной линией; 4 – изоляторы; 6 – трос; 7 – линия разрядная (провод ПБД1х2); 8 – устройство натяжное

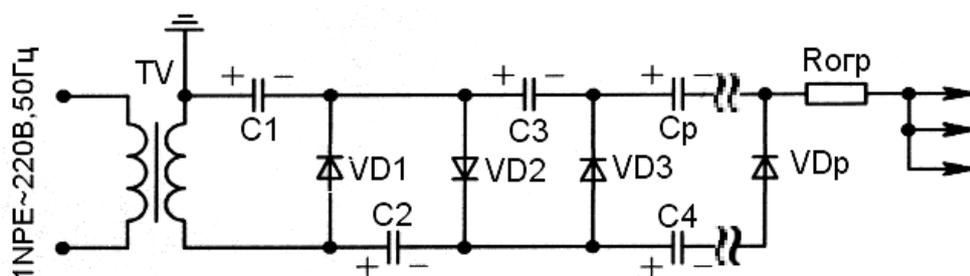


Рисунок 3.3 – Схема выпрямления и умножения напряжения

Пример 3.1 Рассчитать разрядное устройство аэроионизатора для помещения, в котором содержат телят в возрасте до 1 месяца. Размеры помещения и схема размещения животных показаны на рисунке 3.4. Расчетная высота 4 м.

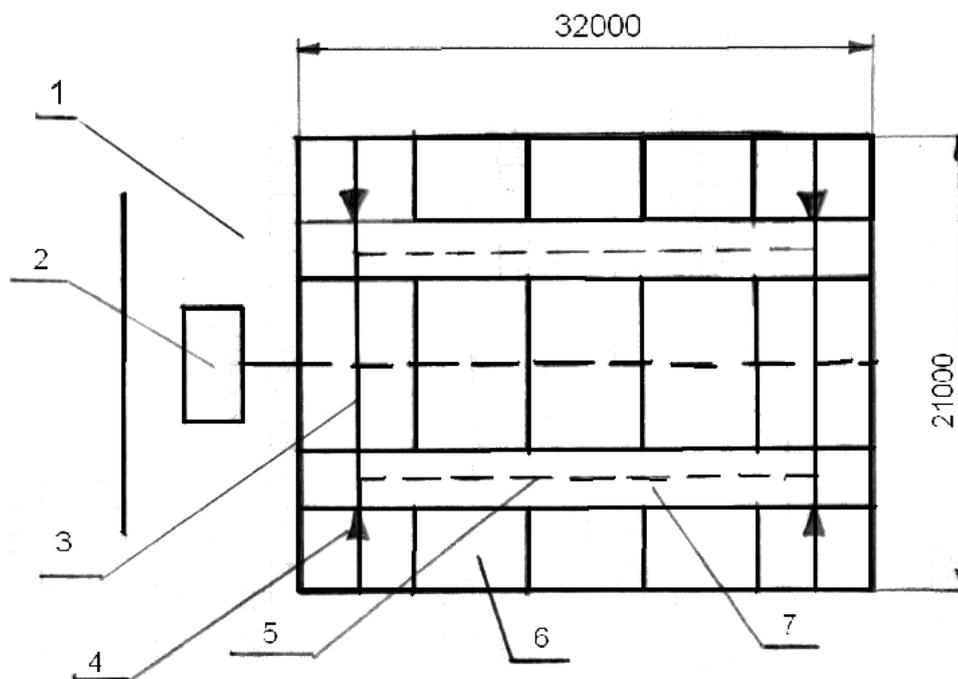


Рисунок 3.4 – План помещения с оборудованием для ионизации воздуха:

1 – тамбур; 2 – блок питания и управления; 3 – токоподводящие кабели; 4 – изоляторы, трос, 5 – провода разрядной линии; 6 – зона содержания телят; 7 – проход

1. Концентрация отрицательных аэроионов для телят возрастом до 1 месяца составляет 2×10^{11} ион/м³ (таблица 3.1). Продолжительность ионизации воздуха 6–8 ч в сутки.

Разрядное устройство выполняем из провода ПБД1х2. Провода натягиваем в помещении на высоте $h \geq 2,5$ м от пола над зоной содержания животных. Расчетная схема расположения коронирующих электродов соответствует позиции 3 в таблице 3.2. Радиус коронирующего электрода равен радиусу ворсинок хлопчатобумажной оплетки провода $r = 3 \times 10^{-5}$ м. Высота h между коронирующим проводом и полом составляет 2,5 м, потолком – 1,5 м. Расчетную высоту принимаем $h = 2,5$ м.

2. Напряжение зажигания короны (таблица 3.2):

$$U_3 = 30,3 \times 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{3 \times 10^{-5}}}\right) 3 \times 10^{-5} \ln \frac{4 \times 2,5}{3 \times 10^{-5}} = 7445 \text{ В.}$$

3. Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации аэроионов (3.1):

$$U_p = 7445 + \frac{2 \times 10^{11} \times 1,6 \times 10^{-19}}{4 \times 8,85 \times 10^{-12}} \times 2,5^2 = 13\,095 \text{ В.}$$

Принимаем $U_p = 13\,100 \text{ В.}$

4. Ток на единицу длины ворсинки хлопчатобумажной оплетки (таблица 3.4):

$$i_1 = \frac{4 \times 3,14 \times 8,85 \times 10^{-12} \times 1,84 \times 10^{-4} \times 13\,100 \times (13\,100 - 7445)}{2 \times 2,5^2 \times \ln \frac{4 \times 2,5}{3,14 \times 3 \times 10^{-5}}} = 1,1 \times 10^{-8} \text{ А/м.}$$

5. Ток на единицу длины провода в 100–150 раз больше тока ворсинки

$$i = 100 \times 1,1 \times 10^{-8} = 1,1 \times 10^{-6} \text{ А/м.}$$

6. Поток аэроионов с единицы длины разрядной линии (2)

$$N_i = 1,1 \times 10^{-6} / 1,6 \times 10^{-19} = 7 \times 10^{12} \text{ ион/м}\cdot\text{с.}$$

7. Длина разрядной линии (3)

$$l_i = 2 \times 10^{11} \times 21 \times 32 \times 4 / 7 \times 10^{12} \times 10 = 7,7 \text{ м.}$$

Разрядное устройство выполняем из трех проводов длиной по 2,6 м.

8. Ток разрядной линии (4)

$$I_{pi} = 1,1 \times 10^{-6} \times 7,8 = 8,6 \times 10^{-6} \text{ А.}$$

9. Мощность разрядной линии (5)

$$P_p = 1,1 \times 8,6 \times 10^{-6} \times 13\,100 = 0,1 \text{ Вт.}$$

10. Мощность источника питания (6)

$$P_n = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ Вт.}$$

3.2 Разработка источника питания

Исходными данными к разработке источника питания являются напряжение U_p и ток I_p разрядной линии, мощность источника питания $P_{и}$ и др.

Высокое напряжение получают в схемах умножения напряжения. Пример одной из таких схем показан на рисунке 3.3.

В первый полупериод напряжение конденсатора $C1$, заряженного до напряжения $U_{c1} = U_{2max}$. Во второй полупериод $C2$ заряжается через $C1$ и вентиль $VD2$ до напряжения $U_{c2} = U_{2max} + U_{c1} = 2U_{2max}$, в третий – $C3$ через $C2$, $VD3$ и $C1$ до $U_{c3} = U_{2max} + U_{c2} - U_{c1} = 2U_{2max}$ и т.д. Каждый конденсатор, за исключением $C1$, заряжается до напряжения $2U_{2max}$. Выходное напряжение схемы умножения на холостом ходу $U_p = pU_{2max}$, где p – число конденсаторов в схеме. Максимальное обратное напряжение на вентиле $U_{обр} = 2U_{2max}$.

Несимметричная схема выпрямления с умножением напряжения (рисунок 3.3) содержит общую точку для трансформатора и нагрузки, которая может быть заземлена. Это важное преимущество этих схем с точки зрения безопасности.

Формулы и последовательность расчета схемы умножения даны в примере 3.2.

Пример 3.2 Рассчитать несимметричный выпрямитель с шестикратным умножением напряжения (рисунок 3.3). Напряжение на разрядной линии $U_p = 13,1$ кВ, ток $I_p = 8,6 \times 10^{-6}$ А. Вторичное сопротивление трансформатора с нагрузкой $R_{2H} = U_p / I_d$, где $I_d \leq 4 \times 10^{-3}$ А – допустимое значение тока по условиям техники безопасности.

Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения $S \leq 0,1$. Частота переменного тока $f = 50$ Гц.

1. Безразмерный параметр

$$A = \frac{\pi p^2 I_p R_{2H}}{2U_p} = \frac{3,14 \times 6^2 \times 8,6 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^6}{2 \times 13,1 \times 10^3} = 0,11.$$

2. По величине A (рисунок 3.5, *a*) определяем $B = 0,91$.
3. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = B \frac{U_p}{p} = 0,91 \frac{13,1 \times 10^3}{6} = 2 \times 10^3 \text{ В.}$$

4. Из рисунка 3.5, *б* по A находим $F = 7,5$.
5. Амплитудное значение вторичного тока на трансформаторе:

$$I_{2\max} = pFI_p = 6 \times 7,5 \times 8,6 \times 10^{-6} = 3,8 \times 10^{-4} \text{ А.}$$

6. Из рисунка 3.6, *a* находим $D = 2,4$.
7. Действующее значение тока на вторичной обмотке трансформатора:

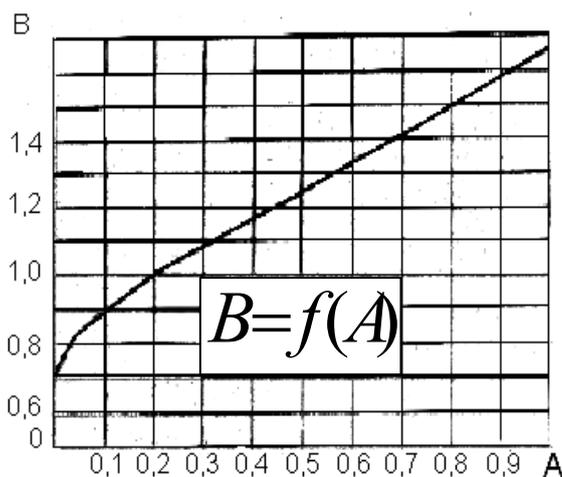
$$I_2 = \frac{pI_p}{\sqrt{2}} D = \frac{6 \times 8,6 \times 10^{-6}}{\sqrt{2}} 2,4 = 8,7 \times 10^{-6} \text{ А.}$$

8. Величина обратного напряжения на вентиле равна:

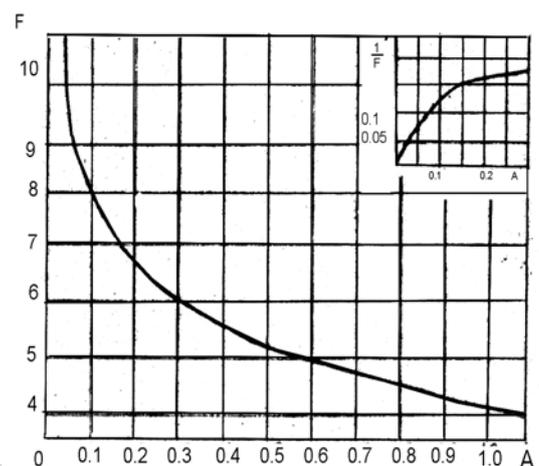
$$U_{\text{обр}} = \frac{2\sqrt{2}}{p} U_p B = \frac{2\sqrt{2}}{6} 13,1 \times 10^3 \times 0,91 = 5,6 \times 10^3 \text{ В.}$$

9. Принимаем конденсаторы с одинаковой величиной емкости:

$$\begin{aligned} C_1 = C_2 = \dots = C_6 &= \frac{I_p}{fU_p} 2(p+2) \times 10^6 = \\ &= \frac{8,6 \times 10^{-6}}{50 \times 13,1 \times 10^3} 2(6+2) \times 10^6 = 2,1 \times 10^{-4} \text{ мкФ.} \end{aligned}$$



a



б

Рисунок 3.5 – Зависимость коэффициента B , F от параметра A

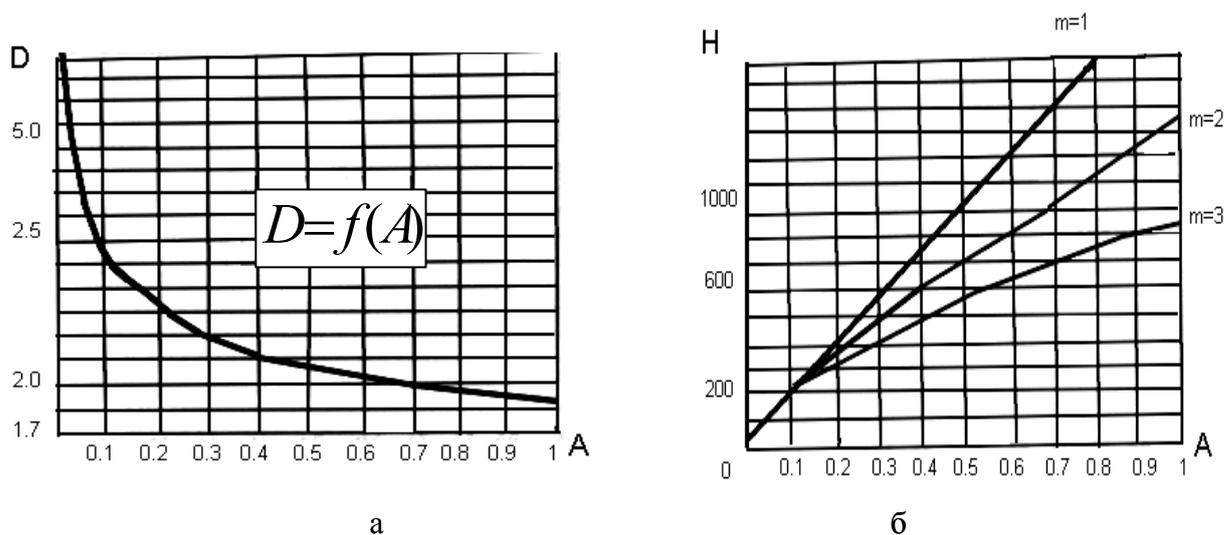


Рисунок 3.6 – Зависимость коэффициента D, H от параметра A

10. По рисунку 3.6, б находим $H = 200$ (при $m = 2$), где m – количество выпрямленных полупериодов напряжения сети.

11. Проверим величину емкости конденсатора по допустимой величине коэффициента пульсации:

– по четной гармонике:

$$C_{(2)} = \frac{50H}{nR_{2H}fS_{(2)}} = \frac{50 \times 200}{2 \times 3 \times 10^6 \times 50 \times 0,1} = 3,3 \times 10^{-4} \text{ мкФ.}$$

– по нечетной гармонике:

$$C_{(1)} = \frac{50H}{2nR_{2H}fS_{(1)}} = \frac{50 \times 200}{2 \times 1 \times 3 \times 10^6 \times 50 \times 0,1} = 3,3 \times 10^{-4} \text{ мкФ.}$$

Принимаем максимальное значение емкости конденсатора $3,3 \cdot 10^{-4}$ мкФ. Выбираем керамические конденсаторы К15-5 с емкостью 0,33 нФ [8].

Величина сопротивления $R_{\text{огр}}$, ограничивающего ток короткого замыкания в цепи разрядной линии:

$$R_{\text{огр}} = \frac{U_p}{I_n} = \frac{13,1 \times 10^3}{5 \times 8,6 \times 10^{-6}} = 3,1 \times 10^8 \text{ Ом.}$$

где $I_n = (5-10)I_p$ – полный ток разрядной линии с учетом утечки через изоляцию, А.

По условиям безопасности ток короткого замыкания линии не должен превышать 4×10^{-3} А, а ограничивающее сопротивление в этом случае должно быть не менее

$$R_{\text{огр.доп}} = \frac{U_p}{I_d} = \frac{13,1 \times 10^3}{4 \times 10^{-3}} = 3,3 \times 10^6 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор МЛТ1 с сопротивлением 330 МОм [8].

Мощность тепловых потерь в ограничивающем резисторе

$$P_T = \frac{U_p^2}{R_{\text{огр}}} = \frac{(13,1 \times 10^3)^2}{3,1 \times 10^8} = 0,6 \text{ Вт.}$$

По расчетным параметрам выбирают конденсаторы, вентили, резисторы, трансформатор схемы умножения, провода, соединяющие источник с разрядным устройством. Вычерчивают схему выпрямления и умножения напряжения.

3.3 Разработка схемы управления

Сформулировать требования к схеме управления, составить и вычертить принципиальную электрическую схему управления, обеспечивающую выполнение режимов ионизации воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление [текст] : справ. пособие / С.С. Кутателадзе. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
2. Заяц, Е.М. Расчеты электротехнологического оборудования [текст] : учеб. пособие/ Е.М. Заяц, В.А. Карасенко, И.Б. Дубодел. – Минск : Техно-принт, 2001. – 203 с.
3. Электротехнология [текст] : учебное пособие / В.А. Карасенко [и др.]. – Москва : Колос, 1992. – 304 с.
4. Проектирование электрооборудования [текст] : метод. указания к курсовому проекту для студентов специальности 1 74 06 05 / сост. А.К. Занберов, Е.И. Лицкевич, А.Г Мамчиц. – Минск : БГАТУ, 2005. – 135 с.
5. Рудаков, В.В. Ионизация воздуха в животноводческих помещениях [текст] / В.В. Рудаков, С.К. Александрова. – Ленинград : АПИ, 1987. – 87 с.
6. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки [текст] / под ред. В.А. Волосатова. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 387 с.
7. Верещагин, И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии [текст] / И.П. Верещагин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
8. Резисторы, конденсаторы, провода, припои, флюсы [текст] : справочное пособие /сост. А.И. Аксенов, А.В. Нефуть. – Москва : Солон-Р, 2000. – 239 с.
9. Слухоцкий, А.Е. Индукторы для индукционного нагрева [текст] / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. – Ленинград : Энергия, 1974. – 382 с.
10. Шамов, А.И. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок [текст] / А.И. Шамов, В.А. Бодажков. – Ленинград : Машиностроение, 1974. – 137 с.
11. Установки индукционного нагрева [текст] / под ред. А.Е. Слухоцкого. – Ленинград : Энергоиздат, 1981. – 504 с.

12. Электротермическое оборудование [текст] : справочник / под общ. ред. А.П. Альтгаузена. – Москва : Энергия, 1980. – 510 с.

13. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства [текст] / под общ. ред. Л.С. Герасимовича.– Минск : Ураджай, 1993 – 368 с.

14. Стандарт предприятия. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) [текст]. – Минск : БГАТУ, 2007. – 143 с.

**Титульный лист пояснительной записки курсового проекта
по электротехнологии**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра электротехнологии

Курсовой проект
по дисциплине: «Электротехнология»
на тему: «Расчет и выбор...»

Студент __ курса __ группы

_____ (Ф.И.О)
Подпись

Руководитель проекта

_____ (Ф.И.О)
Подпись

Минск – 2007

**Задание
на выполнение курсового проекта
по дисциплине «Электротехнология»**

Студент _____ (Ф.И.О) _____, группа _____, шифр _____

Тема проекта «Расчет и выбор _____»

Таблица исходных данных (приложение 3)

Исходные данные к курсовому проекту

Таблица П.3.1 – Номера таблиц исходных данных

Номер варианта (последняя цифра зачетной книжки)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер таблицы исходных данных	таблица П.3.2		таблица П.3.3		таблица П.3.4		таблица П.3.5		таблица П.3.6	

Таблица П.3.2 – Исходные данные для вариантов 0; 1

Тема проекта: Расчет и выбор электрокалориферной установки для отопительно-вентиляционной системы ...					
№ варианта	Тип помещения	Количество животных N , гол.	Живая масса одного животного m_1 , кг	Напор вентилятора, Δp , Па	Способ регулирования мощности
0	Свинарник-откормочник	1200	200	450	ступенчатое
1	Помещение для уток	15000	1,5	600	плавное

Таблица П.3.3 – Исходные данные для вариантов 2; 3

Тема проекта: Расчет и выбор электрокалориферной установки для сушки...										
№ варианта	Культура	Производительность по сырому материалу m_s , кг/с	Влажность продукта		Влажность, %		Температура, °С		Напор вентилятора Δp , Па	Способ регулирования мощности
			нач. ω_1 , %	кон. ω_2 , %	входящего (наружного) воздуха φ_n	выходящего воздуха φ_v	наружного, воздуха t_n ,	выходящего воздуха t_v		
2	Пшеница	0,14	20	14	80	65	20	35	500	плавное
3	Кукуруза	0,07	25	16	80	70	20	30	550	ступенч.

Таблица П.3.4 – Исходные данные для вариантов 4; 5

Тема проекта: Расчет и выбор электрокалориферной установки для отопительно-вентиляционной системы теплицы					
№ варианта	Культура	Температура воздуха внутри теплицы $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Полезная площадь теплицы $A_{пол}, \text{M}^2$	Напор вентилятора, $\Delta p, \text{Па}$	Способ регулирования мощности
4	Огурцы	26	1000	650	плавное
5	Редис	18	1000	400	ступенчатое

Температуру наружного воздуха принимают в зависимости от климатического района.

Для Беларуси $t_{н} = -21 ^\circ\text{C}$.

Таблица П.3.5 – Исходные данные для вариантов 6; 7

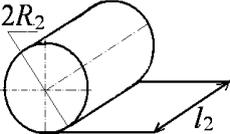
Тема проекта: Расчет индуктора и выбор индукционной установки для термообработки заготовок цилиндрической формы							
№ варианта	Вид термообработки	Форма и характеристика заготовки	Длина $l_2, 10^{-3} \text{ м}$	Радиус $R_2, 10^{-3} \text{ м}$	Темперопрепад $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Конечная температура $t_2, ^\circ\text{C}$	Глубина закаленного слоя $x_k, 10^{-3} \text{ м}$
6	нагрев		50	10	100	1025	-
7	закалка		80	25	150	1100	4

Таблица П.3.6 – Исходные данные для вариантов 8; 9

Тема проекта: Расчет установки ионизации воздуха					
№ варианта	Вид животных, птицы	Вид разрядного устройства	Размеры помещения, м		
			высота	ширина	длина
8	Птица	игольчатый	4,0	16	64
9	Коровы	проволочный	4,0	18	72