

Е. М. Заяц, М. М. Николаенок

*Посвящается
50-летию БИМСХ - БГАТУ*

**МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ
РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
И ОБОРУДОВАНИЯ
НА ЭВМ**

*Издано при поддержке
Общественного объединения
«Белорусская ассоциация
агроинженеров»*

**Минск
УП «Технопринт»
2003**

УДК 621.31.001.24:681.3(075.)8

ББК 31.2я7

3-12

Рецензенты:

Доктор технических наук (институт энергетики АПК) Русан В. И.

Доктор технических наук (БГТУ) Прищепов М. А.

Заяц Е. М., Николаенок М. М.

3-12 Методики и программы расчета электротехнологических процессов и оборудования на ЭВМ. Монография / Е.М. Заяц, М.М. Николаенок. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. –166 с.

В монографии изложены методики определения параметров процессов электрокоагуляции белков растительного и животного происхождения, электротермохимической обработки фуражного зерна, электрического и температурного полей в токопроводящих средах, расположенных между электродами, разделенными мембраной, установок индукционного нагрева, ионизации воздуха, электротельных. Разработаны программы расчета на ЭВМ перечисленных процессов и электрооборудования.

В основу методик расчета положены теоретические и экспериментальные сведения, полученные и апробированные на кафедре электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАУ, теоретическая суть которых состоит в моделях, описывающих процессы взаимодействия электрического тока с обрабатываемой средой, а экспериментальная — в параметрах процессов и электрооборудования.

Монография ориентирована в первую очередь на научных работников, инженеров и студентов, работающих в области электротехнологии сельскохозяйственного производства.

ISBN 985-464-295-X

УДК 621.31.631.3(075.8)

ББК 40.76 я 73

ISBN 985-464-295-X

© Е.М. Заяц, М.М. Николаенок, 2003

© Оформление УП «Технопринт», 2003

Содержание

Введение	4
1. Температурное поле в среде, полуограниченной токоподводящими электродами	5
2. Электрическое и температурное поля в среде, полуограниченной токоподводящими электродами, разделенными мембранной	13
3. Электротермохимическая коагуляция белков растительных соков	24
4. Электротермохимическое изменение свойств фуражного зерна	33
5. Трубочатый электрический нагреватель	42
6. Электрический ионизатор воздуха	56
7. Индуктор индукционной установки	59
Литература	79
Приложения	80

Введение

Расширение использования электроэнергии в технологических процессах производства и переработки сельскохозяйственной продукции, разработка и проектирование электротехнологий требуют выполнения соответствующих инженерных расчетов, что сопряжено с достаточно громоздким и большим объемом вычислений, который может быть интенсифицирован применением средств вычислительной техники. Этому и посвящена настоящая работа.

Электротехнологические процессы включают в себя комплексное использование электрической энергии, обеспечивающее во многих случаях термическое, физическое, химическое, а иногда и биологическое воздействие на предмет труда. Это интенсифицирует процесс, снижает энергетические затраты при одновременном увеличении эффективности использования электроэнергии.

При отборе материала авторы ориентировались на инженерные методики решения задач, наиболее устоявшиеся в литературе и апробированные в научно-педагогических и инженерных коллективах, ряд методик носят оригинальный характер и основаны на результатах научных исследований авторов, а также коллектива кафедры «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» Белорусского государственного аграрного технического университета.

Методики и программы расчетов предназначены в первую очередь для студентов и могут быть применены в курсовом и дипломном проектировании. Их можно также использовать в исследовательской, проектной и конструкторской работе инженеров-электриков.

В монографии использованы результаты научных исследований кандидата технических наук Дубодел И.Б., Зайца А.Е.(раздел 2), Кардашова П.В.(раздел 4), Кривовязенко Д.И.(раздел 3).

Авторы благодарят инженера Николаенка К.М. за помощь в разработке программного обеспечения расчетов.

Замечания и пожелания просим направлять по адресу: 220023, Минск, пр. Ф. Скорины, 99, БГАТУ.

Авторы

1. Температурное поле в среде, полуограниченной токоподводящими электродами

1.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки решения инженерной задачи по расчету температурного поля при электрообработке токопроводящей среды, полуограниченной токоподводящими электродами.

Задачи работы:

- изучить общую методику расчета температурного поля при электрообработке токопроводящей среды, полуограниченной токоподводящими электродами;
- освоить применение вычислительной техники для расчета температурного поля;
- получить расчетные данные.

1.2. Исходные данные

Качественная электрообработка токопроводящей среды требует обеспечения равномерного температурного поля. Для этой цели может быть использована плоско-параллельная или коаксиальная электродные системы (рис. 1.1).

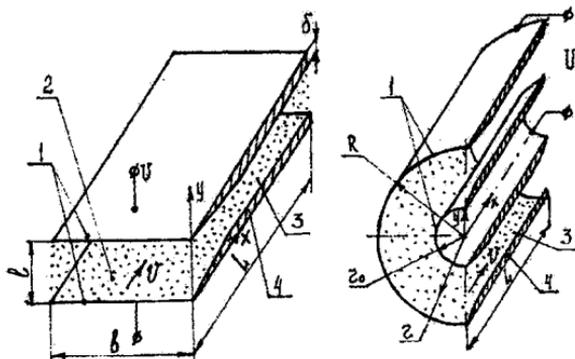


Рис. 1.1. Схемы к расчету температурного поля плоской (а) и коаксиальной (б) электродных систем: 1 – токопроводящие электроды; 2 – кормовая смесь; 3,4 – ядро и погранслой

Электрообработке могут подвергаться солома, зерно, меласса, сок картофеля. При непрерывной обработке материал движется в межэлектродном пространстве со скоростью v . К электродам подведено напряжение питания U .

Наименование и перечень исходных данных к расчету приведены в табл.1.1.

1.1. Исходные данные к расчету

Наименование данных	Обозначение		Ед. измерен.	Материалы			
	в тексте	на ЭВМ		солома	зерно	меласса	сок картофеля
1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность материала	ρ_c	ρl	$\frac{кг}{м^3}$	600	400	1400	1028
Проводимость материала при 20 °C	γ_{20}	Ga_{20}	$См \cdot м^{-1}$	0,25	0,13	0,025	1,08
Удельная теплоемкость материала	C_c	C	$\frac{Дж}{кг \cdot град}$	3250	2150	2510	3140
Теплопроводность материала	λ	$Lambda$	$\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	0,29	0,31	0,32	0,58
Динамическая вязкость материала	μ	mu	$Па \cdot с$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Скорость перемещения материала	v	V	$\frac{м}{с}$	0,001 0,002 0,003	0,001 0,002 0,003	0,001 0,002 0,003	0,001 0,002 0,003
Температура окружающего воздуха	t_c	T_c	°C	10	10	10	10
Начальная температура материала	t_0	T_0	°C	12	12	12	12
Конечная температура материала		T_{end}	°C	100,5	79,9	59,7	40,0

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Температурный коэффициент проводимости	α_t		$\frac{1}{град}$	0,037	0,061	0,053	0,028
Коэффициент теплообмена с внешней средой	α		$\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	10	10	10	10
Напряженность эл. поля	E	E	$\frac{В}{м}$	700	1400	4000	200

1.3. Общие сведения

Поток движущейся среды в межэлектродной зоне разделен на две области [1]: ядро – составляющее основную часть материала, в котором отсутствует зависимость $t(y)$ и скорость v частиц постоянна, и пристенную – так называемый погранслой, для которого характерны прилипание отдельных частиц корма к электродам и наличие зависимости $v(y)$ и $t(y)$. В основе расчетов лежит уравнение теплопроводности, которое для плоских электродов имеет вид:

$$\frac{\partial t(x, y)}{\partial x} = \frac{a}{v} \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c v}, \quad (1.1)$$

где t – текущая температура обрабатываемого материала, $^\circ C$; a – температуропроводность, $м^3/с$; γ_{tc} – удельная электрическая проводимость материала при температуре t , $См/м$; v – скорость перемещения материала, $м/с$; E – напряженность электрического поля, $В/м$.

Граничные условия при этом:

$$t(0, x) = t_0; \quad \lambda \nabla t_{(y=0, y=1)} = \alpha(t - t_c), \quad (1.2)$$

где t_0 – начальная температура материала, $^\circ C$; t_c – температура окружающей среды (воздуха), $^\circ C$; λ – теплопроводность материала, $Вт/(м \cdot ^\circ C)$.

Пренебрегая членом

$$\frac{a \delta^2 t}{v \delta y^2}$$

в уравнении (1.1), учитывающем влияние на ядро потока теплоты из погранслоя, получим уравнение:

$$\frac{\delta t(x, y)}{\delta x} = \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c v},$$

решение которого

$$t(x) = t_0 + \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c v} \quad (1.3)$$

описывает распределение температуры в материале без учета температуры погранслоя.

Для оценки влияния погранслоя на распределение температуры в ядре по длине электродов введем среднюю по сечению материала температуру

$$\bar{t}(x) = \frac{1}{l} \int_0^l t(x, y) dy. \quad (1.4)$$

Интегрируя (1.4) по $\frac{1}{l} \int_0^l dy$, получим:

$$\frac{\delta \bar{t}(x)}{\delta x} = -\frac{2a(\nabla t_y)}{lv} + \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c v}. \quad (1.5)$$

Множитель 2 возникает из-за влияния теплообмена между двумя электродами и ядром. Знак «минус» означает противоположную направленность ∇t_y и потока теплоты от погранслоя к ядру.

Интегрируя (1.5), получим:

$$\bar{t}(x) = -2a/(lv) \int_0^x [\nabla t_y] dx + \int_0^x [\gamma_{tc} E^2 dx / (\rho_c C_c v)]. \quad (1.6)$$

Для расчета $\bar{t}(x)$ по (1.6) необходимо знать ∇t_y на расстоянии $y = \delta$, так как теплообмен идет на границе погранслоя, толщина которого δ . Уравнение энергии для погранслоя при подвижном материале имеет вид:

$$\frac{v(y) \delta t}{\delta x} = \frac{a \delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c}, \quad (1.7)$$

так как для ядра:

$$\frac{v_x \delta t}{\delta x} = \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c},$$

то

$$\frac{\delta t}{\delta x} = \frac{\gamma_{tc} E^2}{v_x \rho_c C_c}.$$

Из (1.7) имеем

$$\frac{v(y) \gamma_{tc} E^2}{v_x \rho_c C_c} = \frac{a \delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\gamma_{tc} E^2}{\rho_c C_c}. \quad (1.8)$$

Пусть профиль скорости в погранслое определяется по уравнению:

$$v_x(y) = \frac{v_x y}{\delta(x)}, \quad (1.9)$$

где v_x - скорость в ядре, м/с; $\delta(x)$ - толщина погранслоя, м.

Подставив (1.9) в (1.8), получим:

$$\frac{\delta^2 t}{\delta y^2} = -\frac{\gamma_{tc} E^2}{a \rho_c C_c} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right). \quad (1.10)$$

Граничные условия имеют вид:

$$t_{y=\delta} = t(x) = t_n(x) \quad (1.11)$$

$$\left. \frac{\delta t}{\delta y} \right|_{y=0} = \frac{\alpha(t_x - t_c)}{\lambda}, \quad t(x) \approx t_{\text{я}}(x), \quad (1.12)$$

где α - коэффициент теплообмена с внешней средой, Вт/(м²·°С); λ - теплопроводность среды, Вт/(м·°С); t_c - температура внешней среды, °С.

Введя обозначение

$$\frac{\gamma_{tc} E^2}{a \rho_c C_c} = A$$

и интегрируя (1.10) получим общее решение:

$$t(y) = Ay^3/6\delta(x) - Ay^2/2 + C_y + C_1.$$

Используя граничные условия (1.11) и (1.12) окончательно для погранслоя:

$$t(y) = \frac{Ay^3}{6\delta(x)} - \frac{Ay^2}{2} - \xi t_c y + \frac{[t_n(x) + A\delta^2(x)/3 + \xi t_c \delta(x)][\xi y + 1]}{1 + \xi \delta(x)}, \quad (1.13)$$

где $\xi = \frac{a}{\lambda}$.

Профиль температуры в погранслое из (1.13):

$$\left[\nabla t_{y=\delta} \right] = \left[-A\delta(x)/2 - \xi t_c + (t_n(x) + A\delta^2(x)/3 + \xi t_c \delta(x)) \cdot \xi / (1 + \xi \delta(x)) \right]. \quad (1.14)$$

Полагая в первом приближении, что температура в ядре:

$$t_n = t_n + \gamma_{tc} E^2 x / (\rho_c C_c v), \quad (1.15)$$

где t_n - начальная температура материала, °C.

Из (1.14) следует:

$$\left[\nabla t_{y=\delta} \right] = \left[-A\delta/2 + (t_n - t_c + Aax/v + A\delta^2/3) \xi / (1 + \xi \delta(x)) \right]. \quad (1.16)$$

Подставляя (1.16) в (1.6) с учетом $t(0) = t_n$:

$$\bar{t}(x) = t_n - \frac{2ax}{lv} \left[\frac{t_n - t_c + A \frac{ax}{v} + A \frac{\delta^2(x)}{3}}{\xi \delta + 1} \xi - \frac{A\delta(x)}{2} \right] + A \frac{ax}{v}. \quad (1.17)$$

Для коаксиальных электродов уравнение энергии имеет вид (рис.1.1,б):

$$t(r, x) = t_n + \frac{\gamma_{tc} U^2}{r l_n^2 (R/r_0)} x / (\rho_c C_c v). \quad (1.18)$$

Средняя температура по сечению коаксиальной электродной системы:

$$\bar{t} = 1 / \left[\pi (R^2 - r_0^2) \right] \int_{r_0}^R 2\pi(r, x) r dr. \quad (1.19)$$

Таким образом, формулы (1.13), (1.17) и (1.19) позволяют рассчитать температуру кормосмеси в зоне, граничащей с поверхностью электрода и между плоскими и цилиндрическими коаксиальными электродами.

Температурная характеристика удельной электрической проводимости материала

$$\gamma_{tc} = \gamma_{20} [1 + \alpha_t (t - 20)], \quad (1.20)$$

где γ_{20} - удельная электрическая проводимость материала при темпера-

туре 20°C , $\text{См}/\text{м}$; α_1 - температурный коэффициент проводимости материала, $1/^{\circ}\text{C}$.

Толщина погранслоя может быть определена по формуле:

$$\delta(x) > 3,7x\text{Re}^{-0,5}, \quad (1.21)$$

где Re - число Рейнольдса.

Число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\rho_c v x}{\mu}, \quad (1.22)$$

где μ - динамическая вязкость материала, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

1.4. Методика расчета температурного поля на ЭВМ

Пример исходных данных и их численное значение приведены в табл.1.1.

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета. Программа основывается на общей методике расчета с решением соответствующих уравнений (1.13), (1.17) и (1.19). Результат расчета выводится машиной в виде таблиц (табл.1.2...1.5)

1.2. Длина плоскопараллельной электродной системы

Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Напряженность эл. поля, $\text{В}/\text{м}$	Скорость перемещения, $\text{м}/\text{с}$	Длина электрода, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$	
				ядра	погранслоя

1.3. Распределение температуры по длине электрода

Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Напряженность эл. поля, $\text{В}/\text{м}$	Скорость перемещения, $\text{м}/\text{с}$	Длина электрода, м	T_a , $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{погр}}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_a - T_{\text{погр}}$, $^{\circ}\text{C}$

1.4. Длина коаксиальной электродной системы

Плотность $\text{кг}/\text{м}^3$	Напряженность эл. поля, $\text{В}/\text{м}$	Скорость перемещения, $\text{м}/\text{с}$	Внешний радиус, м	Длина, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$		
					средняя	внутр. слоя	внеш. слоя

1.5. Распределение температуры по длине электрода

Плотность $кг/м^3$	Напряжен- ность эл. по- ля, $V/м$	Ско- рость, $м/с$	Вн. ради- ус, $м$	Длина, $м$	$T_{ср.взв.}$ $^{\circ}C$	$T_{вн.}$ $^{\circ}C$	$T_{нар.}$ $^{\circ}C$	$T_{вн.} - T_{нар.}$ $^{\circ}C$
-----------------------	---	-------------------------	----------------------------	---------------	------------------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------------------------

Программы расчета приведены в приложении (табл. П.1.1, П.1.2)

2. Электрическое и температурное поля в среде, полуограниченной токоподводящими электродами, разделенными мембраной

2.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки решения инженерной задачи по расчету электрического и температурного полей при электрообработке токопроводящей среды, движущейся в анодной и катодной зонах пространства, полуограниченного токоподводящими электродами, разделенными мембраной

Задачи работы:

- изучить общую методику расчета электрического и температурного полей при электрообработке токопроводящей среды в анодной и катодной зонах пространства, полуограниченного токоподводящими электродами, разделенными мембраной;
- освоить применение вычислительной техники для расчета электрического и температурного полей;
- получить расчетные данные.

2.2. Исходные данные

При электрообработке токопроводящую среду помещают в униполярную плоско-параллельную электродную систему, разделенную мембраной (рис.2.1).

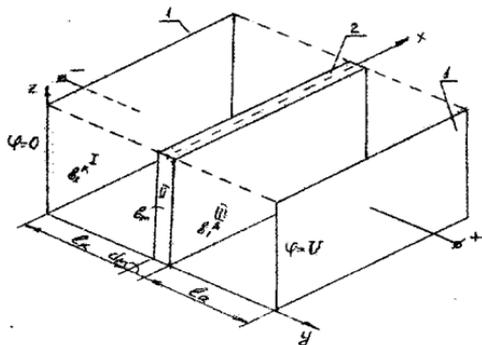


Рис.2.1. Схема к расчету электрических и температурных полей плоско-параллельной электродной системы с разделительной мембраной: 1 – токоподводящие электроды; 2 – мембрана

Наименование и перечень исходных данных к расчету приведены в табл.2.1.

2.1. Исходные данные к расчету

Наименование данных	Обозначение	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3	4
1. Параметры электродной системы			
1.1. Напряжение питания	U	B	220
1.2. Расстояние от анода до мембраны	l_a	m	0,07
1.3. Расстояние от катода до мембраны	l_k	m	0,08
1.4. Толщина мембраны	d_m	m	0,00015
1.5. Теплоемкость мембраны	C_m	$\frac{Дж}{кг \cdot град}$	1500
1.6. Плотность мембраны	ρ_m	$кг/м^3$	1300
1.7. Диэлектрическая проницаемость мембраны	ϵ_m		6
1.8. Начальная температура мембраны	T_0^m	K	293
2. Параметры обрабатываемой среды			
2.1. Начальная температура среды в анодной зоне	T_0^a	K	293
2.2. Начальная температура среды в катодной зоне	T_0^k	K	293
2.3. Температура окружающего воздуха	T_v	K	293
2.4. Плотность среды в анодной зоне	ρ_a	$кг/м^3$	1000
2.5. Плотность среды в катодной зоне	ρ_k	$кг/м^3$	1000
2.6. Диэлектрическая проницаемость среды в анодной зоне	ϵ_1^a		64
2.7. Диэлектрическая проницаемость среды в катодной зоне	ϵ_1^k		64

Продолжение табл. 2.1.

1	2	3	4
2.8. Удельная теплоемкость среды в анодной зоне	C_a	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	4190
2.9. Удельная теплоемкость среды в катодной зоне	C_k	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	4190
3. Условия теплоотдачи и теплопроводности нагреваемого материала и мембраны			
3.1. Коэффициент теплоотдачи от нагреваемого материала к окружающей среде в анодной зоне	α_1^a	$\text{м}^2/\text{с}$	0,02
3.2. Коэффициент теплоотдачи от нагреваемого материала к окружающей среде в катодной зоне	α_1^k	$\text{м}^2/\text{с}$	0,02
3.3. Коэффициент теплоотдачи нагреваемого материала к мембране в анодной зоне	α_{2a}^M	$\text{м}^2/\text{с}$	0,04
3.4. Коэффициент теплоотдачи нагреваемого материала к мембране в катодной зоне	α_{2k}^M	$\text{м}^2/\text{с}$	0,04
3.5. Теплопроводность нагреваемого материала в анодной зоне	λ_a	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$	0,60
3.6. Теплопроводность нагреваемого материала в катодной зоне	λ_k	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$	0,60
3.7. Теплопроводность мембраны	λ_m	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$	0,17
4. Характеристика удельной электрической проводимости материалов			
4.1. Проводимость мембраны при 293K	γ_0^M	$\text{См} \cdot \text{м}$	$10,5 \cdot 10^{-3}$
4.2. Проводимость материала при 293K в анодной зоне	γ_0^a	$\text{См} \cdot \text{м}$	0,48
4.3. Проводимость материала при 293K в катодной зоне	γ_0^k	$\text{См} \cdot \text{м}$	0,48

Продолжение табл. 2.1.

1	2	3	4
4.4. Температурный коэффициент проводимости мембраны	A_M	$\frac{См \cdot м}{°C}$	0
4.5. Температурный коэффициент проводимости материала в анодной зоне	A_2	$\frac{См \cdot м}{°C}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
4.6. Температурный коэффициент проводимости материала в катодной зоне	A_1	$\frac{См \cdot м}{°C}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
5. Начальное значение pH в катодной зоне	$pH_{нач}^k$		7
6. Начальное значение pH в анодной зоне	$pH_{нач}^a$		7
7. Подвижность катионов H^+	λ_{H^+}	$\frac{См \cdot м^2}{гмол}$	$31,26 \cdot 10^{13}$
8. Подвижность анионов OH^-	λ_{OH^-}	$\frac{См \cdot м^2}{гмол}$	$17,17 \cdot 10^{13}$

2.3. Распределение электрического потенциала и напряженности электрического поля

Для определения распределения потенциала $\varphi(y)$ решаем уравнение Пуассона:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\delta^2 \varphi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (2.1)$$

где ρ - плотность электрических зарядов в межэлектродном пространстве; ϵ_0 - относительная диэлектрическая проницаемость материала.

Считая, что плотность электрических зарядов в межэлектродном пространстве невелика, полагаем $\rho \approx 0$ и из (2.1) получим уравнение Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\delta^2 \varphi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta z^2} = 0. \quad (2.2)$$

Для одномерного случая:

$$\frac{\delta^2 \varphi}{\delta y^2} = 0. \quad (2.3)$$

Запишем уравнение (2.3) для каждой из образовавшихся областей:

$$\left. \begin{array}{l} \text{область I} \quad \varphi(I) = C_1 y + C_2 \\ \text{область II} \quad \varphi(II) = C_3 y + C_4 \\ \text{область III} \quad \varphi(III) = C_5 y + C_6 \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

Для определения постоянных C_1, C_2, \dots, C_6 используем граничные условия:

$$\left. \begin{array}{l} y = 0; \varphi = 0 \\ y = l_k; \varphi_I = \varphi_{II} \\ y = l_k + d_m; \varphi_{II} = \varphi_{III} \\ y = l_a + l_k + d_m; \varphi = U \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

Кроме того, на границе областей должны выполняться условия: границы I и II:

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_1^k \frac{d\varphi_1}{dy} = \varepsilon_m \frac{d\varphi_2}{dy}; \text{ или } \varepsilon_1^k C_1 = \varepsilon_m C_3 \\ \text{границы II и III:} \\ \varepsilon_m \frac{d\varphi_2}{dy} = \varepsilon_1^a \frac{d\varphi_3}{dy}; \text{ или } \varepsilon_m C_3 = \varepsilon_1^a C_5 \end{array} \right\} \quad (2.6)$$

Из (2.5) следует:

$$\left. \begin{array}{l} C_2 = 0 \\ C_1 l_k = C_3 l_k + C_4 \\ C_3 (l_k + d_m) + C_4 = C_5 (l_k + d_m) + C_6 \\ C_5 (l_k + l_a + d_m) + C_6 = U \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

Из (2.6) следует:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1^a}{\varepsilon_1^k} C_5; \text{ и } \varepsilon_1^k C_1 = \varepsilon_m C_3.$$

То есть мы получим:

$$C_3 = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} C_1$$

$$C_1 l_k = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} C_1 l_k + C_4.$$

Откуда следует:

$$C_4 = C_1 l_k \left(1 - \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} \right) \text{ и } C_5 = C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a};$$

$$C_6 = U - C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} (l_a + l_k + d_m).$$

Из третьего уравнения системы (2.7) определяем C_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} C_1 (l_k + d_m) + C_1 l_k \left(1 - \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} \right) &= C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} (l_k + d_m) + U - \\ - C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} (l_a + l_k + d_m) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Откуда получим

$$C_1 = \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_k} d_m}. \quad (2.9)$$

Так как напряженность электрического поля в области I:

$$E = -\frac{d\varphi}{dy}, \text{ то } E_I = C_1. \quad (2.10)$$

т.е.

$$E_I = \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_k} d_m}. \quad (2.11)$$

Так как $C_3 = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} C_1$, то с учетом (2.10) получим:

$$C_3 = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} d_m}. \quad (2.12)$$

Так как

$$E_{II} = \frac{d\varphi_2}{dy} = C_3, \text{ то с учетом (2.12) получим напряженность элек-}$$

трического поля в области II:

$$E_{II} = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} d_m}. \quad (2.13)$$

Так как $C_5 = C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a}$, то

$$E_{III} = \frac{d\varphi_3}{dy} = C_5 = C_1 \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} d_m}. \quad (2.14)$$

Таким образом, помещение мембраны между электродами меняет электрическое поле внутри системы.

2.4. Распределение температурного поля системы

Рассмотрим температурное поле системы при наличии внутренних источников теплоты с учетом зависимости параметров среды от температуры и концентрации активных ионов.

Примем с некоторыми допущениями, что в исследуемом диапазоне плотность, теплоемкость и теплопроводность материала не зависят от температуры.

Температурная характеристика проводимости мембраны имеет вид:

$$\gamma^M = \gamma_0^M + A_M (T^M - 293), \quad (2.15)$$

где T^M - текущее значение температуры мембраны, K .

При электролизе дисперсной гидросистемы в двухкамерном электролизере происходит изменение концентрации катионов и анионов в катодной и анодной зонах. Если гидросистема содержит a различных катионов и b анионов, то предположим, что в начальный момент времени в катодном пространстве концентрация i -го катиона $C_{k_i}^{A_0}$, j -го аниона - $C_{a_j}^{A_0}$.

Введем следующие допущения:

- коэффициенты активности ионов равны единице и не изменяются в процессе электролиза;
- при электролизе происходит только разложение воды с образованием O_2 и H_2 с выходом по току, равным единице;

- мгновенная концентрация ионов в анолите и католите не зависит от координат точки электродного пространства.

Для простоты примем также, что изменение концентрации происходит только лишь за счет переноса ионов по истечении времени τ .

Тогда будем иметь начальную концентрацию катионов H^+ в катодной зоне:

$$C_{H^+}^{K_0} = 10^{3-pH_{нач}^K}, \quad (2.16)$$

в анодной зоне:

$$C_{H^+}^{A_0} = 10^{3-pH_{нач}^a}. \quad (2.17)$$

Начальная концентрация анионов OH^-

в катодной зоне:

$$C_{OH^-}^{K_0} = \frac{10^{-14}}{10^{-pH_{нач}^K}} \cdot 10^3, \quad (2.18)$$

в анодной зоне:

$$C_{OH^-}^{A_0} = \frac{10^{-14}}{10^{-pH_{нач}^a}} \cdot 10^3. \quad (2.19)$$

Изменение концентрации вещества dC за бесконечно малое время $d\tau$:

$$dC_{i,j} = \frac{I}{V_p F} \int_0^\tau n_{i,j} d\tau, \quad (2.20)$$

где I - сила тока, протекающего через раствор, A ; V_p - объем обрабатываемого раствора, $м^3$; F - число Фарадея, $\frac{Кл}{г \cdot ион}$; $n_{i,j}$ - мгновенное число переноса i -го катиона, j -го аниона в момент времени $d\tau$.

Пользуясь формулой (2.20) можем записать изменение концентрации катионов H^+

в катодной зоне:

$$dC_{H^+}^K = \frac{E_I}{l_k F} \int_0^\tau \gamma_\tau^K n_{H^+} d\tau, \quad (2.21)$$

в анодной зоне:

$$dC_{H^+}^a = \frac{E_{III}}{l_a F} \int_0^\tau \gamma_\tau^a n_{H^+} d\tau. \quad (2.22)$$

Соответственно, изменение концентрации анионов OH^- в катодной зоне:

$$dC_{OH^-}^K = \frac{E_I}{l_k F} \int_0^\tau \gamma_\tau^K n_{OH^-} d\tau, \quad (2.23)$$

в анодной зоне:

$$dC_{OH^-}^a = \frac{E_{III}}{l_a F} \int_0^\tau \gamma_\tau^a n_{OH^-} d\tau. \quad (2.24)$$

В формулах (2.21 - 2.24) принято γ_τ^a , γ_τ^K - мгновенное значение проводимости гидросистемы соответственно в анодной и катодной зоне.

Концентрация вещества в анодной и катодной зонах за счет переноса ионов по истечении времени электролиза τ

в катодной зоне:

$$C_{H^+}^K = C_{H^+}^{K_0} + dC_{H^+}^K, \quad (2.25)$$

$$C_{OH^-}^K = C_{OH^-}^{K_0} - dC_{OH^-}^K, \quad (2.26)$$

в анодной зоне:

$$C_{H^+}^A = C_{H^+}^{A_0} - dC_{H^+}^A, \quad (2.27)$$

$$C_{OH^-}^A = C_{OH^-}^{A_0} + dC_{OH^-}^A. \quad (2.28)$$

Числа переноса ионов мембраной определим по формулам:

$$n_{H^+} = \frac{C_{H^+}^A \lambda_{H^+}}{C_{H^+}^A \lambda_{H^+} + C_{OH^-}^K \lambda_{OH^-}}, \quad (2.29)$$

$$n_{OH^-} = \frac{C_{OH^-}^K \lambda_{OH^-}}{C_{OH^-}^K \lambda_{OH^-} + C_{H^+}^A \lambda_{H^+}} \quad (2.30)$$

Тогда с учетом изменения концентрации температурная характеристика проводимости материала

в катодной зоне:

$$\gamma^K = \left[\gamma_0^K + A_1 (T^K - 293) \right] \left(\frac{C_{H^+}^A}{C_{H^+}^{A_0}} \right), \quad (2.31)$$

в анодной зоне:

$$\gamma^a = \left[\gamma_0^a + A_2 (T^a - 293) \right] \left(\frac{C^{K_{OH^-}}}{C^{K_0_{OH^-}}} \right). \quad (2.32)$$

Температурное поле в процессе обработки описывается известным уравнением [2]:

$$\frac{\delta T}{\delta \tau} = \frac{\lambda(y)}{\rho(y)C(y)} \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\gamma(T, y)(E(y))^2}{\rho(y)C(y)}, \quad (2.33)$$

с начальными условиями

$$T^a|_{\tau=0} = T_0^a; T^K|_{\tau=0} = T_0^K; T^M|_{\tau=0} = T_0^M, \quad (2.34)$$

и граничными условиями

область I:

$$\begin{aligned} \text{при } y = 0, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_1^K (T_b - T|_y); \\ \text{при } y = l_K, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_{2K}^M (T^M|_y - T|_y) \end{aligned} \quad (2.35)$$

область II:

$$\begin{aligned} \text{при } y = l_K, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_{2K}^M (T^K|_y - T|_y); \\ \text{при } y = l_K + d_m, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_{2K}^M (T^a|_y - T|_y) \end{aligned} \quad (2.36)$$

область III:

$$\begin{aligned} \text{при } y = l_K + d_m, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_{2a}^M (T^M|_y - T|_y); \\ \text{при } y = l_K + d_m + l_a, \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_1^a (T_b - T|_y). \end{aligned} \quad (2.37)$$

где $\lambda(y)$, $C(y)$, $\rho(y)$ - теплопроводность, теплоемкость, плотность материала; $\alpha_1^{K(a)}$, α_2^M - коэффициенты теплоотдачи от среды к воздуху и к мембране; T - текущая температура; T_b - температура окружающего воздуха; T^K , T^a , T^M - температура на границе катодной, анодной зоны, мембраны; T_0^a , T_0^K , T_0^M - начальная температура анодной, катодной зоны, мембраны; $\gamma(T, y)$ - удельная электрическая проводимость материала соответствующей зоны; $E(y)$ - напряженность электрического поля соответствующей зоны.

Черта подстановки $\Big|_y$ означает, что имеется в виду значение соответствующей величины в точке границы y .

Решение уравнения (2.33) получим численным интегрированием с использованием известной методики [3,4].

2.5. Методика расчета температурного поля на ЭВМ

В соответствии с табл.2.1 вводят численные значения исходных данных.

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета.

Программа основывается на общей методике расчета с решением дифференциальных уравнений в конечных разностях.

Результат расчета выдается в виде табл.2.2.

2.2. Результат расчета кинетики нагрева среды

Время обработки τ_i, c	Распределение температуры в зоне обработки $T(i, j), K$, где j - шаг разностной сетки					Среднее значение температуры $T_{кон}, K$
	0	100j	200j	300j	и т.д.	
0						
30						
и т.д.						

Также можно получить графическую зависимость средней температуры от времени обработки $T_{кон} = f(\tau)$.

Соответствующая программа расчета приведена в приложении (табл.П.2).

3. Электротермохимическая коагуляция белков растительных соков

3.1. Цель и задачи работы

Цель работы:

Получить навыки решения инженерной задачи по применению электротермохимической коагуляции белков из их водных растворов.

Развить навыки использования вычислительной техники для решения задач производства.

Задачи работы:

– изучить общую методику расчета процесса электротермохимической коагуляции белков;

– освоить применение вычислительной техники для расчета кинетических закономерностей процесса электротермохимической коагуляции белков;

– получить расчетные данные.

3.2. Общие сведения о процессе

Электротермохимическая коагуляция белка из его водного раствора может быть осуществлена в электролизере с униполярными электродами, разделенными мембраной (рис.3.1). К электродам подводят напряжение питания U_n , толщина мембраны l_m , расстояние от мембраны до анода - l_a , до катода - l_k . Одним из путей извлечения белков из водных растворов является их коагуляция. Белки, имеющие в своем составе функциональные группы COO^- и NH_3^+ и гидрофобный углеводородный радикал R , способны к мицеллообразованию. В зависимости от pH среды молекулы белка образуют либо положительный (в кислой среде за счет групп NH_3^+), либо отрицательный (в щелочной среде за счет групп COO^-) заряды. Существует также и такое состояние белка, при котором число ионизированных кислотных групп равно числу ионизированных щелочных групп. В этом случае потенциал плоскости скольжения на поверхности молекулы белка - ξ -потенциал равен нулю, что соответствует изоэлектрической точке (ИЭТ). В ИЭТ белки сворачиваются в клубки. Если же молекулярный вес недостаточен, то возможно образование более

крупных агрегатов при столкновении молекул белка друг с другом и их слипание за счет сил притяжения.

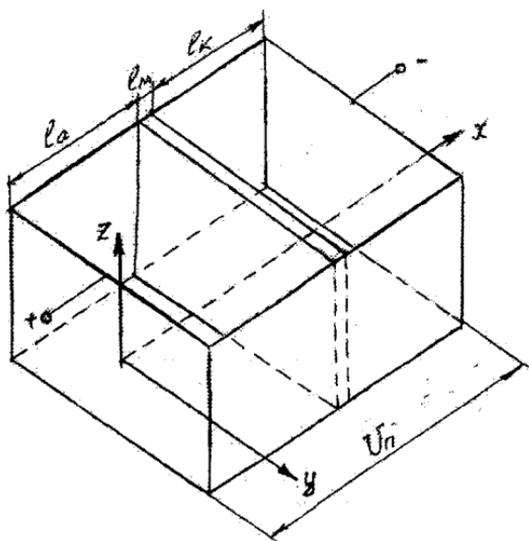


Рис.3.1. Расчетная схема электролизера для коагуляции белков

3.3 Электрохимические процессы в водных белоксодержащих растворах

Процесс протекания электрического тока в электролизере, разделенном ионоселективной мембраной приводит к электрохимическому изменению pH анодной и катодной зоны:

в анодной зоне:

$$pH_A = -\lg(K_H + 10^{-pH_H}), \quad (3.1)$$

в катодной зоне:

$$pH_K = 14 + \lg(K_H + 10^{-pH_H}), \quad (3.2)$$

где K_H - накопление кислотности в анолите или эквивалентное ей накопление щелочности в католите, z - экв/л.

$$K_H = \frac{10^{-3} D_\tau}{F} \int_0^{D_\tau} n_H dD_\tau^{A(K)}, \quad (3.3)$$

где F - число Фарадея; D_τ - количество электричества, протекающее в анодной (катодной) зоне.

$$D_\tau^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^A(K)}, \quad (3.4)$$

где I - ток, A ; τ - продолжительность протекания тока, с; V_p^A - объем обрабатываемого раствора в анодной (катодной) зоне, m^3 .

n_{H^+} - мгновенное число переноса ионов мембраной.

$$n_{H^+} = \frac{\left(C_{H^+}^A - n_{H^+} \frac{D_\tau^A}{F} \right) \lambda_{H^+}}{\left(C_{H^+}^A - n_{H^+} \frac{D_\tau^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_\tau^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}; \quad (3.5)$$

$$n_{OH^-} = \frac{\left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_\tau^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}{\left(C_{H^+}^A - n_{H^+} \frac{D_\tau^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_\tau^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}, \quad (3.6)$$

где $C_{H^+}^A$, $C_{OH^-}^K$ - концентрация катионов H^+ и анионов OH^- в анодной и катодной зонах, моль/л; n_{OH^-} - мгновенное число переноса ионов OH^- мембраной; λ_{H^+} , λ_{OH^-} - подвижности ионов, $cm \cdot m^2$.

Зависимость ξ - потенциала от pH среды может быть получена экспериментально в виде:

$$\xi = ApH + B, \quad (3.7)$$

где A , B - эмпирические коэффициенты.

Согласно теории Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) поведение коллоидных систем определяется соотношением сил взаимного притяжения и отталкивания частиц. При этом энергия взаимодействия W состоит из энергии электростатического отталкивания W_m и энергии диполь-дипольного взаимодействия W_g :

$$W = W_g + W_m - W_g. \quad (3.8)$$

В уравнении (3.8) принимают энергию отталкивания положительной, а энергию притяжения отрицательной. Коагуляция возможна если сумма всех энергий отрицательна.

Энергия электростатического отталкивания:

$$W_3 = 16\varepsilon_0\varepsilon_c \left(\frac{RT}{F}\right)^2 th^2 \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{4kT}\right) \frac{a}{S} \exp[-\chi a(S-2)], \quad (3.9)$$

где ε_0 - диэлектрическая постоянная, $\Phi/м$; ε_c - относительная диэлектрическая проницаемость среды; R - газовая постоянная, $Дж/моль \cdot К$; φ_0 - полный потенциал на поверхности иона, $В$; z_i - валентность i -го иона; e - заряд электрона, $Кл$; k - постоянная Больцмана, $Дж/К$; a - размер частицы, $м$; $S = h/2 + 2$; h - расстояние между частицами, $м$;

$$\chi = \sqrt{\frac{8\pi a^2 \sum_{i=1}^N n_i z_i}{\varepsilon_0 \varepsilon_c kT}} - \text{параметр Дебая-Гюккеля, } м^{-1}; n_i - \text{число ионов } i\text{-го}$$

вида в единицах объема, $м^{-3}$; N - количество видов ионов.

Энергия межмолекулярного притяжения:

$$W_m = -\frac{A}{6} \left(\frac{2}{S^2 - 4} + \frac{2}{S^2} + \ln \frac{S^2 - 4}{S^2} \right), \quad (3.10)$$

где $A = \beta \pi^2 n^2$ - постоянная Гамакера, $Дж$; $\beta = \frac{3\pi}{2} h \nu_0 \alpha_0^2$ - постоянная Лондона; h - постоянная Планка, $Дж/с$; ν_0 - частота колебаний атома,

$с^{-1}$; $\alpha_0 = \frac{3}{2\pi N_a} \frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} \frac{M}{\rho}$ - поляризуемость атома; n_0 - коэффициент преломления; N_a - число Авогадро, $1/моль$; M - молекулярная масса вещества; ρ - плотность вещества.

Энергия диполь-дипольного взаимодействия:

$$W_g = -4\varepsilon_0\varepsilon_c \left[0,5 - 3 \frac{ch \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) - 1}{4ch \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) + \chi a} \right]^2 \left(\frac{a}{S} \right)^2 E^2, \quad (3.11)$$

где E - напряженность внешнего электрического поля, $В/м$.

3.4. Электрическое и температурное поле при электролизе водных белоксодержащих растворов

Кинетика изменения температуры для одномерного случая описывается известным уравнением:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\lambda(T, x)}{\rho(x)C(x)} \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\gamma(T, x) \left(\frac{U_n}{l_a + l_k} \right)^2}{\rho(x)C(x)}, \quad (3.12)$$

с начальными условиями:

$$T|_{\tau=0} = T_0 \quad (3.13)$$

и граничными условиями

при $x = 0$ и $x = l_a + l_k$

$$\lambda(T, x) \frac{dT}{dx} = \alpha(\tilde{T} - T|_x), \quad (3.14)$$

где $\lambda(T, x)$, $C(x)$, $\rho(x)$ - теплопроводность, теплоемкость, плотность нагреваемого материала; α - коэффициент теплоотдачи; \tilde{T} - температура окружающей среды; T - температура; $\gamma(T, x)$ - удельная электрическая проводимость нагреваемого материала; τ - время нагрева; U_n - напряжение, подводимое к электродам; l_a , l_k - размеры зоны нагрева.

В уравнении (3.12) при $\alpha = l_a$ проводимость $\gamma(T, x) = \gamma_m$, где γ_m - удельная электрическая проводимость мембраны.

3.5. Кинетика процесса электротермохимической коагуляции белков

Уравнение скорости процесса коагуляции:

$$-\frac{d\sum n_i}{d\tau} = K(\sum n_i)^2, \quad (3.15)$$

где $\sum n_i$ - сумма концентраций коагулируемых частиц i -ой кратности; K - коэффициент скорости процесса;

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right), \quad (3.16)$$

где k_0 - константа скорости; W_a - энергия активации процесса коагуляции.

Константа скорости:

$$k_0 = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right), \quad (3.17)$$

где D - коэффициент диффузии частиц

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}, \quad (3.18)$$

где k - постоянная Больцмана; η - вязкость среды; $r = \frac{a}{2}$ - радиус частицы.

Энергию активации процесса в нашем случае можно уподобить энергии электростатического отталкивания:

$$W_a = 16\varepsilon_0\varepsilon_c \left(\frac{RT^2}{F} \right) th^2 \left[\frac{(ApH + B)z_i e}{4kT} \right] \frac{a}{S} \exp[-3\chi_a(s-2)]. \quad (3.19)$$

Записав уравнение (3.19) для степени коагуляции (глубины процесса) η_δ , получим:

$$\frac{d(1-\eta_\delta)}{d\tau} = -Kn_0(1-\eta_\delta)^2, \quad (3.20)$$

где n_0 - исходная (начальная концентрация частиц).

Тогда кинетическое уравнение процесса коагуляции получим в виде:

$$\frac{d\eta_\delta}{d\tau} = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right) \exp \left\{ -16\varepsilon_0\varepsilon_c \frac{RT}{F^2} th^2 \left[\frac{(ApH + B)z_i e}{4kT} \right] \frac{a}{S} \cdot \exp[-\chi_a(s-2)] \right\} n_0 (1-\eta)^2. \quad (3.21)$$

3.5. Методика расчета электротермохимической коагуляции белков на ЭВМ

Пример исходных данных приведен в табл. 3.1.

3.1. Численные значения исходных данных для расчета кинетики и температурного поля при электротермохимической коагуляции белков

Наименование данных	Условное обозначение		Численное значение
	в тексте	на ЭВМ	
1	2	3	4
Температура окружающей среды, К	T_0	T_0	293
Начальное значение кислотности в католите	$pH^{K_{нач}}$	$pHnk$	4,5

Продолжение табл.3.1

1	2	3	4
Начальное значение кислотности в анолите	$pH^{A_{нач}}$	$pHnA$	9,8
Число Фарадея	F	F	96484
Постоянная Больцмана	k	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$
Газовая постоянная	R	R	8,314
Электрическая постоянная	ϵ_0	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$
Относительная диэлектрическая проницаемость коллоидной среды анодной зоны	ϵ_c^a	ϵca	64
Относительная диэлектрическая проницаемость коллоидной среды катодной зоны	ϵ_c^k	ϵck	80
Заряд электрона	e	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Размер частицы	a	a	10^{-7}
Подвижность иона H^+	λ_{H^+}	λ_{H^+}	$31,26 \cdot 10^{13}$
Подвижность иона OH^-	λ_{OH^-}	λ_{OH^-}	$17,17 \cdot 10^{13}$
Проводимость мембраны	γ_m	γ_{mem}	$10,455 \cdot 10^{-3}$
Проводимость среды при 293 K в катодной зоне	γ_0^k	γ_{0ck}	0,48
Проводимость среды при 293 K в анодной зоне	γ_0^a	γ_{0ca}	0,3
Температурный коэффициент проводимости среды в катодной зоне	α^k	α_{ck}	$1,18 \cdot 10^{-2}$
Температурный коэффициент проводимости среды в анодной зоне	α^a	α_{ca}	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Напряжение питания	U	U	40
Межэлектродное расстояние	l_3	l_e	0,05
Отношение объема катодной зоны к анодной	ΔV	dV	1,9
Удельная теплоемкость среды в катодной зоне	C_c^k	C_{ck}	3890
Удельная теплоемкость среды в анодной зоне	C_c^a	C_{ca}	4000

Продолжение табл.3.1

1	2	3	4
Плотность среды в катодной зоне	ρ_c^k	<i>rock</i>	1010
Плотность среды в анодной зоне	ρ_c^a	<i>roca</i>	1000
Удельная теплоемкость мембраны	C_m	<i>Cm</i>	1500
Плотность мембраны	ρ_m	<i>rom</i>	1300
Теплопроводность среды в катодной зоне	λ_c^k	<i>lambdack</i>	0,60
Теплопроводность среды в анодной зоне	λ_c^a	<i>lambdaca</i>	0,61
Теплопроводность мембраны	λ_m	<i>lambdam</i>	0,17
Коэффициент теплоотдачи от среды к воздуху в катодной зоне	α_1^k	<i>alfa1k</i>	0,02
Коэффициент теплоотдачи от среды к воздуху в анодной зоне	α_1^a	<i>alfa1a</i>	0,02
Толщина мембраны	l_m	<i>lm</i>	$15 \cdot 10^{-5}$
Шаг по времени	$\Delta\tau$	<i>dT</i>	1
Шаг разностной сетки	h_x	<i>hx</i>	$5 \cdot 10^{-5}$
Относительная диэлектрическая проницаемость мембраны	ϵ_m	<i>em</i>	6
Начальная концентрация частиц белка	n_0	<i>no</i>	10^9
Валентность иона	z	<i>z</i>	1
Эмпирический коэффициент	A_1	<i>A1</i>	0,035
Эмпирический коэффициент	B_1	<i>B1</i>	-0,185
Вязкость среды	η	<i>nu</i>	10^{-3}
Конечное значение кислотности в католите	$pH^{K_{кон}}$	<i>pHkk</i>	9,8

3.3.2. Краткое описание программы расчета

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета.

Программа основывается на общей методике расчета с решением дифференциальных уравнений в конечных разностях.

Результат расчета выдается в виде табл. 3.2.

3.2. Результат расчета процесса коагуляции белка

Время обработки τ_i, c	Распределение температуры в зоне обработки $T(i, j), K$, где j - шаг разностной сетки				Количество электричества $D_m(i), \frac{A \cdot c}{M^3}$	Кислотность в катодной зоне $pH^k(i)$	Глубина обработки $\eta_\delta(i)$
	0	100j	200j	и т.д.			
0							
30							
60							
и т.д.							

Также можно получить графическую зависимость глубины обработки от времени:

$$\eta_\delta = f(\tau). \quad (3.25)$$

Соответствующая программа расчета приведена в приложении (табл.П.3).

4. Электротермохимическое изменение свойств фуражного зерна

4.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки решения инженерной задачи повышения переваримости фуражного зерна путем его электротермохимической обработки в униполярной электродной системе, разделенной мембраной.

Задачи работы:

- изучить общую методику инженерного расчета повышения переваримости фуражного зерна при его электротермохимической обработке;
- освоить применение вычислительной техники для проведения инженерного расчета;
- получить расчетные данные.

4.2. Исходные данные

Наименование и перечень исходных данных к расчету приведены в табл. 4.1.

4.1. Перечень исходных данных к расчету.

Наименование данных	Ед. измерения	Обозначение	Значение параметра
1	2	3	4
1. Температура окружающая	град.	T_0	293
2. Начальная влажность зерна	%	ω	13
3. Масса зерна	кг	m_z	1
4. Напряжение питания	В	U	220
5. Теплоемкость зерна	Дж / кг град	C_z	$2,15 \cdot 10^3$
6. Теплоемкость раствора	Дж / кг град	C_p	$4,19 \cdot 10^3$
7. Теплоемкость мембраны	Дж / кг град	C_m	$3 \cdot 10^3$
8. Насыпная плотность зерна	кг / м ³	ρ_z	525
9. Пикнометрическая плотность зерна	кг / м ³	ρ_m	1000
10. Плотность раствора	кг / м ³	ρ_p	1000
11. Плотность мембраны	кг / м ³	ρ_m	950
12. Теплопроводность зерновой массы	Вт / м град	λ_c	0,31

Продолжение табл.4.1

1	2	3	4
13. Теплопроводность мембраны	Вт / м град	λ_m	0,30
14. Теплопроводность раствора	Вт / м град	λ_p	0,60
15. Коэффициент теплоотдачи от зерновой массы к воздуху	Вт / м град	α_1	0,02
16. Проводимость мембраны	См / м	γ_m^*	$5 \cdot 10^{-5}$
17. Модуль увлажнения	—	W	1,4
18. Толщина мембраны	м	l_m	$2 \cdot 10^{-4}$
19. Шаг разностной сетки	м	h_x	$5 \cdot 10^{-5}$
20. Массовая концентрация вносимого в зерно химреагента	%	m_{xp}	1
21. Число Фарадея	Кл / моль	F	96484
22. Межэлектродное расстояние	м	l	0,275
23. Подвижность ионов Cl^-	См м ² /Г-ЭКВ	λ_{Cl^-}	$4,45 \cdot 10^{13}$
24. Подвижность ионов OH^-	См м ² /Г-ЭКВ	λ_{OH^-}	$17,17 \cdot 10^{13}$
25. Начальная концентрация ионов Cl^-	Г-ион/м ³	C_{Cl}	143,5
26. Начальная концентрация ионов OH^-	Г-ион/м ³	C_{OH}	10^{-4}
27. Начальное значение щелочности в зерновой массе	—	$pH_x^{нач}$	7
28. Начальное значение коэффициента переваримости зерна	%	$K_{перн}$	55
29. Установившееся значение коэффициента переваримости зерна	%	$K_{перу}$	90

4.3. Общие сведения по методике расчета

Повышение питательной ценности фуражного зерна происходит в результате интенсификации гетерогенной химической реакции ионного обмена между растительной тканью зерна и водным раствором химреагента, путем изменения концентрации активных ионов H^+ (H_3O^+), OH^- ,

или, в общем случае, pH – показателя среды и катализации этой реакции температурой.

Концентрация активных ионов может быть увеличена путем помещения зерновой массы в межэлектродное пространство с униполярными электродами, разделенными мембраной и пропускающая определенного количества электричества. В этом случае в прианодной зоне накапливаются ионы H^+ (H_3O^+), в прикатодной – OH^- . Мембрана препятствует рекомбинации ионов. Далее эти ионы переносятся из приэлектродных областей в зерновую массу и вступают в реакцию ионного замещения с растительной тканью. Поток ионов, доставляемых к поверхности растительной ткани, образует электрический ток, часть которого протекает через жидкостные каналы микропор растительной ткани не вступая во взаимодействие, другая часть вступает в реакцию ионного обмена с веществом растительной ткани, образуя фарадеевский ток, определяющий скорость этой реакции, а ее глубина, по закону Фарадея, пропорциональна количеству электричества, прошедшему через зерновую систему.

Предположим, что в начальный момент времени в анодном пространстве концентрация i -го катиона составляет C_{Ri}^{Ao} , j -го аниона – C_{Aj}^{Ao} , в катодном, соответственно, C_{Ki}^{Ko} и C_{Aj}^{Ko} .

Концентрация вещества в анодной и катодной зонах за счет переноса ионов по истечении времени τ :

в анолите

в католите

$$C_{Ki}^K = C_{Ki}^{Ko} + \Delta C_{Ki}^{Kn}, \quad C_{Ki}^A = C_{Ki}^{Ao} - \Delta C_{Ki}^{An}, \quad (4.1)$$

$$C_{Aj}^A = C_{Aj}^{Ao} + \Delta C_{Aj}^{An}, \quad C_{Aj}^K = C_{Aj}^{Ko} - \Delta C_{Aj}^{Kn}, \quad (4.2)$$

Учитывая изменение чисел переноса ионов $n_{i,j}$ во времени из – за изменения их концентрации в анодной и катодной зонах, найдем соответствующие изменения концентрации ΔC за счет переноса:

$$\Delta C_{i,j}^{An(Kn)} = \frac{I}{V_p^{A(K)} F} \int_0^\tau n_{i,j} dt, \quad (4.3)$$

где $n_{i,j}$ – мгновенное число переноса i -го катиона или j -го аниона; I – сила тока, проходящего через раствор, А; $V_p^{A(K)}$ – объем раствора в анодной (катодной) зоне, m^3 .

Используя понятие количества электричества, прошедшего через зерновую массу:

$$D_{\tau}^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^{A(K)}} = \frac{\gamma^{A(K)} E^{A(K)} \tau}{l_{a(k)}(1-\nu)} \quad (4.4)$$

из (4.3) получим

$$\Delta C_{i,j}^{An(Kn)} = \frac{1}{F} \int_0^{D_{\tau}^{A(K)}} n_{i,j} dD_{\tau}^{A(K)}, \quad (4.5)$$

где $\gamma^{A(K)}$ – удельная электрическая проводимость массы в анодной (катодной) зоне; $E^{A(K)}$ – напряженность электрического поля в анодной (катодной) зоне, В/м; $l_{a(k)}$ – толщина слоя материала в анодной (катодной) зоне, м; ν – объемная доля твердой фазы.

$$\nu = \frac{\rho_m}{\rho_m + W\rho_p}, \quad (4.6)$$

где ρ_m – пикнометрическая плотность зерна, кг/м³; ρ_p – плотность раствора, кг/м³; W – модуль увлажнения зерна.

Тогда уравнения (4.1) и (4.2) приведем к виду

$$C_{K_i}^{A(K)} = C_{K_i}^{Ao(Ko)} \mp \frac{1}{F} \int_0^{D_{\tau}^{A(K)}} n_{i(j)} dD_{\tau}^{A(K)}, \quad (4.7)$$

$$C_{A_j}^{A(K)} = C_{A_j}^{Ao(Ko)} \mp \frac{1}{F} \int_0^{D_{\tau}^{A(K)}} n_{i(j)} dD_{\tau}^{A(K)}. \quad (4.8)$$

При электролизе водного раствора, содержащего a различных катионов и b анионов, в двухкамерном мембранном электролизере числа переноса i -го катиона и j -го аниона определим по формулам

$$n_{K_i} = \frac{\left(C_{K_i}^A \mp n_{K_i} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{K_i}}{\sum_{i=1}^a \left(C_{K_i}^A \mp n_{K_i} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{K_i} + \sum_{j=1}^b \left(C_{A_j}^K \mp n_{A_j} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{A_j}}; \quad (4.9)$$

$$n_{A_j} = \frac{\left(C_{A_j}^K \pm n_{A_j} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{A_j}}{\sum_{i=1}^a \left(C_{K_i}^A \pm n_{K_i} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{K_i} + \sum_{j=1}^b \left(C_{A_j}^K \pm n_{A_j} \frac{D_{\tau}}{F} \right) \lambda_{A_j}}, \quad (4.10)$$

где C – концентрация ионов, г-экв/м³; λ – подвижность иона, м²/Ом; n – мгновенное число переноса ионов.

Зная числа переноса можно рассчитать для неактивной мембраны накопление щелочности в катодите или кислотности в анолите, г-экв/л:

$$K = \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_r} (n_i + n_j) dD_r \quad (4.11)$$

Далее, зная исходное значение pH раствора (pH_s), определяем pH_A в анодной зоне

$$pH_A = -\lg(K + 10^{-pH_s}) \quad (4.12)$$

и pH_K в катодной зоне

$$pH_K = 14 + \lg(K + 10^{-pH_s}) \quad (4.13)$$

Непосредственное же изменение свойств вещества зерна протекает в результате реакции ионного замещения активными ионами раствора одноименно фиксированных ионов вещества. Этот процесс является активационным (единичный акт перехода возможен лишь при условии, что ион обладает энергией, не меньшей свободной энергии активации G) и обуславливается протеканием фарадеевского тока j_F . В химической технологии скорость гетерогенных химических реакций, моль/(с м³).

$$\vartheta = K_p C^s S_{yo} \exp\left(-\frac{G}{RT}\right), \quad (4.14)$$

где K_p – константа скорости реакции, зависящая от физико-механических свойств реагирующих веществ, с⁻¹; C^s – концентрация химически активных ионов в плотной части двойного слоя у поверхности мембраны, моль(м²); G – свободная энергия активации реакции, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(К моль); T – температура реакционной среды, К; S_{yo} – удельная площадь реакционной поверхности, м²/м³.

Для принятой степени измельчения S_{yo} является постоянной и ее можно объединить с K_p , получив $K^s = K_p S_{yo}$ – константу скорости реакции.

Пользуясь уравнениями (4.7) или (4.8) уравнение (4.14) можно записать в виде:

$$\vartheta = \left(C_{K_j}^{K_0} + \frac{1}{F} \int_0^{D_r} n_j dD_r \right) K^s \exp\left(-\frac{G}{RT}\right). \quad (4.15)$$

Выразим (4.15) в относительных единицах, с⁻¹;

$$\vartheta_{\text{отн}} = \left(1 + \frac{1}{FC_{K_j}^{K_0}} \int_0^{D_r} n_j dD_r \right) K^s \exp\left(-\frac{G}{RT}\right). \quad (4.16)$$

Константу скорости реакции K^s и энергию активации G можно определить экспериментально, исследовав кинетику процесса для двух

изотермических процессов, протекающих при температуре T_1 и T_2 и отсутствии электрического тока.

В этом случае левая часть (4.16) представляет собой $k = 9_{\text{отн}}$ (из уравнения Аррениуса), а правая часть в отсутствии электрического тока будет иметь следующий вид:

$$K = K^s \exp\left(-\frac{G}{RT}\right). \quad (4.17)$$

Пользуясь методом наименьших квадратов, из экспериментальных данных для двух изотермических процессов можно найти соответственно k^I и k^{II} . Тогда энергия активации:

$$G = R \ln \left(\frac{k^{II}}{k^I} \right) \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}. \quad (4.18)$$

В результате можно рассчитать значения предэкспоненциального множителя

$$K^s = \frac{k^I}{\exp\left(-\frac{G}{RT_1}\right)} = \frac{k^{II}}{\exp\left(-\frac{G}{RT_2}\right)}. \quad (4.19)$$

Глубина обработки зерна может быть оценена коэффициентом переваримости $K_{\text{пер}}^s$, %. Обозначим начальное значение коэффициента переваримости $K_{\text{пер}}^{\text{нач}}$, предельное - $K_{\text{пер}}^{\text{кон}}$, %. Максимальное изменение коэффициента переваримости

$$\Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} = K_{\text{пер}}^{\text{кон}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}}. \quad (4.20)$$

Текущее изменение коэффициента переваримости

$$\Delta K_{\text{пер}} = K_{\text{пер}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}}. \quad (4.21)$$

Обозначив правую часть уравнения (4.16) через a и, исходя из закона действующих масс, выразим скорость реакции для коэффициента переваримости

$$\frac{d\Delta K_{\text{пер}}}{d\tau} = a(\Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} - \Delta K_{\text{пер}}). \quad (4.22)$$

Проинтегрируем (4.22) предварительно разделив переменные

$$\ln(\Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} - \Delta K_{\text{пер}}) = -a\tau + \text{const}. \quad (4.23)$$

Для определения постоянной интегрирования предположим, что в начальный момент времени при $\tau = 0$ и $\Delta K_{\text{пер}} = 0$. В этом случае $\text{const} = \Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}}$. После соответствующих преобразований получим

$$\ln \frac{\Delta K_{пер}^{max} - \Delta K_{пер}}{\Delta K_{gth}^{вфч}} = -a\tau. \quad (4.24)$$

После потенцирования уравнения (4.24)

$$\frac{\Delta K_{пер}^{max} - \Delta K_{пер}}{\Delta K_{gth}^{вфч}} = \exp(-a\tau), \quad (4.25)$$

из (4.25)

$$\Delta K_{пер} = \Delta K_{пер}^{max} (1 - e^{-a\tau}). \quad (4.26)$$

Подставив в (4.26) соответствующие значения из (4.20) и (4.21)

получим

$$K = (K_{пер}^{кон} - K_{пер}^{нач}) (1 - e^{-a\tau}) + K_{пер}^{нач}, \quad (4.27)$$

или

$$K_{пер} = (K_{пер}^{кон} - K_{пер}^{нач}) \left\{ 1 - \exp \left[- \left(1 + \frac{1}{FC_{k_1}^{k_0}} \int_0^{D_t} n_j dD_t \right) \tau K^S \exp \left(- \frac{G}{RT} \right) \right] \right\} + K_{пер}^{нач}. \quad (4.28)$$

Таким образом, уравнение (4.28) позволяет рассчитать коэффициент перерабатываемости зерна при его электрохимической обработке.

Так как при электрохимической обработке зерна происходит изменение его температуры, то для описания температурного поля воспользуемся уравнением теплопроводности, которое для одномерного случая имеет вид

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\lambda}{C\rho} \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\gamma_t E^2}{C\rho}, \quad (4.29)$$

с начальными условиями:

$$T|_{\tau=0} = T_0, \quad (4.30)$$

и граничными условиями:

$$\lambda \frac{dT}{dn} \Big|_{x=0} = \alpha_1 (T - T_0), \quad (4.31)$$

где T - текущая температура, К; ρ, C, λ - плотность, кг/м³, удельная теплоемкость Дж/(кг·К), теплопроводность, Вт/(м К), зерновой массы; E - напряженность электрического поля, В/м; τ - время, с; γ_t - температурная характеристика проводимости зерновой массы, См/м.; n - нормаль к границе в точках $x = 0$ и $x = l_a + l_k + l_m$; l_a, l_k, l_m - толщина слоя массы в анодной, катодной зонах, мембраны, м.

В уравнении (4.29) при $l_x \leq x \leq l_x + l_m$ примем:

$$\rho = \rho_v; C = C_v; \lambda = \lambda_v; \gamma_t = \gamma_t^v; E = E_m, \quad (4.32)$$

где $\rho_v, C_v, \lambda_v, \gamma_t^v, E_m$ - соответственно плотность, кг/м³, удельная теплоемкость, Дж/(кг К), теплопроводность, Вт/(м К), удельная проводимость, См/м, напряженность электрического поля в материале мембраны, В/м.

При $0 \leq x \leq l_k$ и $l_k + l_m \leq x \leq l_k + l_m + l_a$ значения соответствующих параметров принимаем исходя из следующего:

$$\rho = \rho_c; C = C_c; \lambda = \lambda_c; \gamma = \gamma_c; E = E_c, \quad (4.33)$$

где $\rho_c, C_c, \lambda_c, \gamma_c, E_c$ - соответственно плотность, кг/м^3 ; удельная теплоемкость, Дж/(кг К) ; теплопроводность, Вт/(м К) ; удельная проводимость, См/м ; напряженность электрического поля в зерновой массе, В/м .

Удельную проводимость зерновой массы определяем из уравнения, См/м :

$$\gamma_T^c = \frac{2 - 2\nu}{2 + \nu} \frac{1,402}{W} [1 + 0,0217(T - 273)] n_j. \quad (4.34)$$

Уравнение (4.29) с начальными (4.30) и граничными (4.31) условиями решаем в конечных разностях с использованием известной методики.

4.4. Методика расчета электротермохимических изменений свойств фуражного зерна на ЭВМ

В соответствии с табл.4.1. вводят численные значения исходных данных.

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета.

Программа основывается на общей методике расчета с решением соответствующих дифференциальных уравнений в конечных разностях. Результат расчета выдается в виде табл.4.2.

4.2. Результат расчета электрохимического изменения свойств фуражного зерна.

Время обработки, с	Распределение температуры в зоне обработки, К, где j – шаг разностной сетки				Количество электричества, D_c , Кл/кг	pH среды	Коэффициент переработки $K_{пер}$, %
	0	100j	200j	и т.д.			
0							
30							
и т.д.							

Программа также позволяет строить графики

$$K_{пер} = f(\tau), pH = f(D_\tau), K_{пер} = f(D_\tau).$$

Соответствующая программа приведена в приложении (табл.П.4).

5. Трубчатый электрический нагреватель

5.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки решения инженерной задачи по расчету трубчатых электрических нагревателей (ТЭН).

Задачи работы:

- изучить общую методику расчета ТЭН;
- освоить применение вычислительной техники для расчета нагревателей;
- получить расчетные данные.

5.2. Исходные данные

Общий вид и основные размеры ТЭН показаны на рис.5.1 и 5.2. Наименование и перечень исходных данных к расчету даны в табл. 5.1. Численные значения исходных данных принимают из табл. 5.2...5.7.

5.1. Исходные данные для расчета ТЭН.

Наименование данных	Обозначение	Ед. измерения	Источник информации
1	2	3	4
1. Мощность одного ТЭН	P	Вт	Предварительно рассчитывают
2. Напряжение на ТЭН	U	В	Принимают
3. Материал спирали	-	-	Табл. 5.2
4. Удельное сопротивление материала спирали	ρ_{20}	Ом м	Табл. 5.2
5. Температурный коэффициент сопротивления	α	$1/^\circ\text{C}$	Табл. 5.2
6. Рабочая температура спирали	T	$^\circ\text{C}$	Табл. 5.2., 5.3, 5.5
7. Коэффициент шага спирали	$K = \frac{h}{d}$	-	Принимают 2...5
8. Начальный расчетный диаметр проволоки спирали	d_n	м	Табл. 5.2
9. Начальный расчетный диаметр витка спирали	D	м	$D = (8...10)d_n$

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4
10. Материал трубки	-	-	Табл. 5.3
11. Наружный диаметр трубки	D_2	м	Табл. 5.3
12. Внутренний диаметр трубки	D_1	м	Табл. 5.3
13. Коэффициент теплопроводности трубки	λ_2	Вт/(м ⁰ С)	Табл. 5.3.
14. Материал наполнителя	-	-	Табл. 5.4.
15. Коэффициент теплопроводности наполнителя	λ_1	Вт/(м ⁰ С)	Табл. 5.4
16. Перепад температур между спиралью и наружной поверхностью трубки	ΔT	°С	Табл. 5.5.
17. Диаметр проволоки, выпускаемой по ГОСТу	d_0	м	Табл. 5.2.

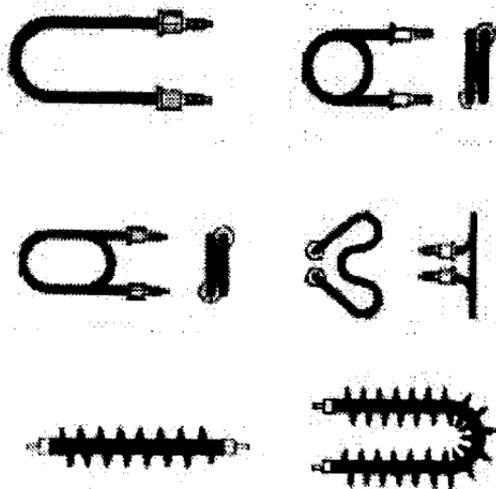


Рис. 5.1. Конструктивное выполнение трубчатых электронагревателей (ТЭНов)

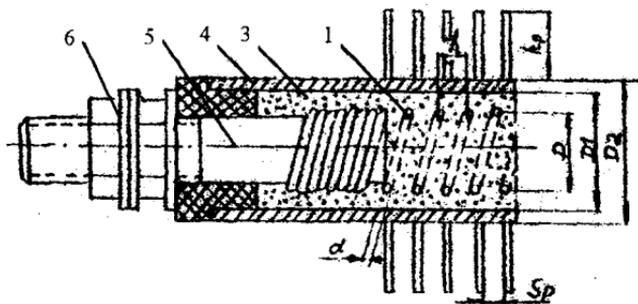


Рис. 5.2. Схема к расчету ТЭН: 1 – спираль; 2 – наполнитель; 3 – металлическая оболочка (трубка); 4 – контактный стержень; 5 – изолятор; 6 – контактное устройство

5.2. Материалы спиралей

Наименование и тип материала	Предельная температура, °С	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом м	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°С	Диаметр проволоки по ГОСТ (выборка), м $\cdot 10^{-3}$
1	2	3	4	5
Нихром Х20Н80Т	1100	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-6}$	0,2; 0,25; ,30; 0,35
Нихром Х20Н80ТЗ	1200	$1,20 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-6}$	0,4; 0,45; 0,55; 0,60
Фехраль Х13104	850	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	0,85; 0,90; 1,00; 1,05; 1,10; 1,15; 1,20; 1,25; 1,30; 1,35; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60

5.3. Материалы трубок

Наименование и тип материала	Предельная температура, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)	Преимущественное применение	Диаметр трубки по ГОСТ (выборка), м · 10 ⁻³	
				наружный	внутренний
1	2	3	4	5	6
Сталь углеродистая Ст.10	400...450	15	Нагревание воздуха	10	9
				11	9
				12	10
				13	11
Сталь нержавеющая X18H10T	600...800	12	Нагревание воздуха, воды, масел, щелочей, металлов	14	12
				15	13
				16	13
Латунь Л62	400	40	Нагревание и испарение воды		
Медь МЗ	250	90	Нагревание и испарение воды		

5.4. Электроизоляционные наполнители

Наполнители	Температура размягчения, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)	Предельная рабочая температура ТЭН, °С
Кварцевый песок	1700	1,0	400
Периклаз	2800	1,5	700
Электрокорунд	3000	1,4	700

5.5. Допустимый теплоперепад между спиралью и поверхностью трубки, °С

Нагреваемый материал				
Вода	Воздух подвижный	Воздух неподвижный	Металлы	Масла, нефть
200...300	150...200	100...120	80...100	40...60

5.6. Допустимые поверхностные мощности ТЭН

Нагреваемая среда	Характер нагрева	Допустимая поверхностная мощность, 10^4 Вт/м^2
Вода	Нагревание	7
Слабые растворы щелочей и кислот	Нагревание	7
	Кипячение	11
Воздух, прочие газы и смеси газов	Нагрев в спокойной среде до 450°C	2,2
	Нагрев в движущейся среде со скоростью менее 6 м/с	5,5
Молоко	Нагрев в неподвижной среде	1,5
Жиры пищевые	Нагрев в неподвижной среде	3,0
Масла минеральные	Нагрев в неподвижной среде	3,0
Литейные формы и пресс-формы	Нагрев в неподвижной среде	8,0

5.7. Основные размеры электрокалориферов, мм

Тип электрокалорифера	B	L	H / H ₁	C	t / t ₁	m	m ₁	l
СФО – 6 / 1Т	240	725	270 / 235	190	1 / 1	125	90	170
СФО – 10 / 1Т	240	725	270 / 235	190	1 / 1	125	90	170
СФО – 16 / 1Т	240	725	270 / 235	190	1 / 1	125	90	170
СФО – 25 / 1Т	240	725	270 / 235	190	1 / 1	125	90	170
СФО – 40 / 1Т	240	725	405 / 370	325	2 / 2	250	180	310
СФО – 60 / 1Т	240	725	540 / 505	460	3 / 3	375	270	440
СФО – 100 / 1Т	240	725	675 / 640	595	4 / 5	500	450	580

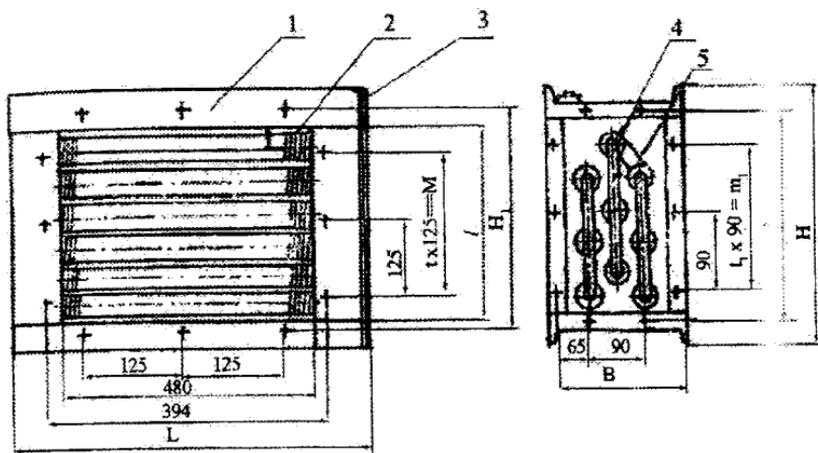


Рис. 5.3. Эскиз электрокалорифера типа СФО: 1 – каркас; 2 – электронагреватель; 3 – лист; 4 – шина; 5 – скоба

5.3. Тепловой расчет

Удельная отдаваемая поверхностная мощность, (Вт / м²)

$$W_o = \frac{T - T_o}{r_t} = \frac{\Delta T}{r_t}, \quad (5.1)$$

где T – температура спирали, °С; T_o – температура на поверхности трубки, °С; r_t – удельное термическое сопротивление ТЭН, м² · °С / Вт.

Значение T принимают (табл. 5.5), величину r_t рассчитывают:

$$r_t = r\pi D_3, \quad (5.2)$$

$$r = r_t + r_n, \quad (5.3)$$

$$D_3 = \exp(D_1 - 2\pi\lambda_n r_n), \quad (5.4)$$

где r_t – термическое сопротивление 1м ТЭН, м · °С / Вт; D_1, D_3 – диаметр эквивалентного цилиндрического стержня, теплоотдача которого равнозначна теплоотдаче спирали, м.

Термическое сопротивление 1м трубки ТЭН:

$$r_t = \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1}. \quad (5.5)$$

Термическое сопротивление 1м наполнителя:

$$r_n = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D K_{cm}}, \quad (5.6)$$

где K_{cm} – коэффициент, зависящий от геометрических размеров спирали:

$$K_{en} = 1 - 0,265 \frac{d}{D} (K - 0,6) \left(1 + 2 \frac{D}{D_1}\right). \quad (5.7)$$

Величину удельной поверхностной мощности W_o рассчитывают для нескольких значений d . Численные величины d принимают произвольно в диапазоне диаметров проволоки, которые применяют в ТЭН $(0,2 \dots 1,6) 10^{-3}$ м.

По формуле (5.1) находят зависимость $W_o(d)$ – (табл. 5.8 и рис.5.4).

5.8. Зависимость $W_o(d)$

d , м	d_1	d_2	d_3	d_{n-1}	d_n
W_o , Вт/м ²	$W_{o(1)}$	$W_{o(2)}$	$W_{o(3)}$		$W_{o(n-1)}$	$W_{o(n)}$

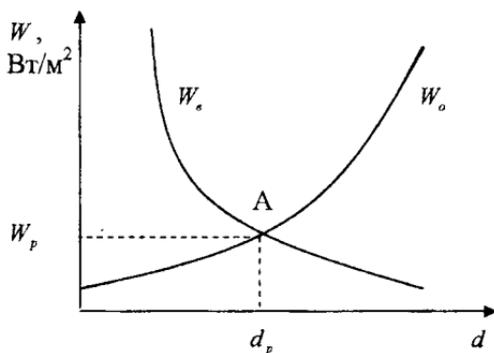


Рис.5.4. Зависимость выделяющейся W_e и отдаваемой W_o удельной мощности от диаметра проволоки спирали

5.4. Электрический расчет

Задача расчета – определить геометрические размеры ТЭН, при которых его мощность будет равна потребной P (табл.5.1), а выделяемая удельная поверхностная мощность W_e равна отдаваемой W_o .

Основные расчетные размеры ТЭН: диаметр d_p и длина l проволоки; диаметр D , шаг h , длина l и количество витков спирали n .

Удельная поверхностная мощность, выделяемая в спирали.

$$W_e = 4\rho_l \frac{P^2}{\pi^2 U^2 d^2}. \quad (5.8)$$

Удельное сопротивление материала спирали при температуре:

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha(T - 20)] \quad (5.9)$$

По формуле (5.8) находят зависимость $W_e(d)$ для тех же значений d (табл. 5.9, рис.5.4).

5.8. Зависимость $W_e(d)$

d , м	d_1	d_2	d_3	d_{n-1}	d_n
W_e , Вт / м ²	$W_{e(1)}$	$W_{e(2)}$	$W_{e(3)}$		$W_{e(n-1)}$	$W_{e(n)}$

Аналитически или графически (рис.5.4) находят диаметр d , при котором $W_e = W_o$.

В дальнейших расчетах принимают W_p и d_p , соответствующие условию $W_e = W_o$ (рис.5.4, точка А). Значение d_p корректируют до ближайшего большего диаметра проволоки, выпускаемой промышленностью (табл.5.2).

Длина проволоки спирали:

$$L = \sqrt[3]{\frac{PU^2}{4\pi\rho_t W_p^2}} \quad (5.10)$$

Диаметр спирали:

$$D_p = 8...10)d_p \quad (5.11)$$

Шаг спирали:

$$h = (2...4)d_p \quad (5.12)$$

Количество витков:

$$n = \frac{L}{\sqrt{(\pi \cdot D_p)^2 - h^2}} \quad (5.13)$$

Длина спирали:

$$l = hm \quad (5.14)$$

Результаты расчета - размеры, по которым изготавливают ТЭН: $D_1, D_2, d_p, L, D_p, h, n, l$.

5.5. Проверка результатов расчета

Результаты расчета ТЭН считаются удовлетворительными, если соблюдаются условия:

- 1) температура поверхности трубки ТЭН T_{mp} не превышает допустимую для данной среды (табл. 5.3);

2) температура спирали ТЭН $T_{\text{сп}}$ не превышает допустимую температуру изолирующего наполнителя (табл. 5.4);

3) удельная поверхностная мощность ТЭН $\phi_{\text{н}}$ не превышает допустимую удельную поверхностную мощность для нагреваемой среды $\phi_{\text{д}}$ (табл. 5.6).

Температура поверхности трубки:

$$T_{\text{мп}} = T_{\text{н}} + \frac{P}{\alpha_{\text{н}} S_1}, \quad (5.15)$$

где $T_{\text{н}}$ – температура нагреваемого материала, °С; S_1 – площадь теплоотдающей поверхности одного ТЭН, м²; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи от ТЭН к нагреваемой среде, Вт / (м² · °С).

При нагревании воздуха в электрокалорифере при шахматном расположении оребренных ТЭН и поперечном оборудовании:

$$\alpha_{\text{н}} = 0,213 \cdot \frac{\lambda_{\text{в}}}{S_p^{0,35}} \cdot P_r^{0,35} \left(\frac{D_2}{S_p} \right)^{-0,54} \left(\frac{h_p}{S_p} \right)^{-0,14} \left(\frac{V_p}{v} \right)^{0,65}, \quad (5.16)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – теплопроводность воздуха, Вт / (м · °С); P_r – число Прандтля; S_p – шаг оребрения, м; h_p – высота ребра, м; v – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м² / с; V_p – скорость воздуха, омывающего ТЭН, м / с.

Площадь теплоотдающей поверхности одного ТЭН в электрокалориферных установках типа СФОЦ $S_1 = 0,3 \text{ м}^2$.

Температура нагреваемого материала $T_{\text{н}}$ принимается равной средней температуре воздуха в электрокалорифере:

$$T_{\text{н}} = 0,5(T_1 + T_2), \quad (5.17)$$

где T_1 и T_2 – температура воздуха на входе и выходе электрокалорифера, °С.

$$T_2 = T_1 + \frac{P_{\text{к}}}{V_1 \rho C}, \quad (5.18)$$

где $P_{\text{к}}$ – мощность электрокалорифера, Вт; V_1 – подача воздуха, м³ / с; ρ – плотность воздуха, кг / м³; C – удельная теплоемкость воздуха, Дж / (кг · °С).

Скорость воздуха в калорифере:

$$v_p = \frac{V_1}{f}, \quad (5.19)$$

где f – площадь поперечного сечения канала калорифера в месте, наиболее заполненном нагревателями (табл. 5.7).

$$f = l(l_{\text{к}} - zD_{\text{а}}), \quad (5.20)$$

где l – активная длина ТЭН, м (рис. 5.1); l_k – высота канала окна калорифера, м (табл. 5.7); z – число ТЭН в одном вертикальном ряду (табл. 5.7).

Температура спирали:

$$T = T_{mp} + \frac{P}{2\pi\lambda_1 l} \ln \frac{D_1}{K_{cn} D}. \quad (5.21)$$

Удельная поверхностная мощность трубчатого нагревателя:

$$\varphi_n = \frac{P}{S_1}. \quad (5.22)$$

5.6. Методика расчета ТЭН на ЭВМ

Пример исходных данных в расчете ТЭН показан в табл. 5.10. Мощность одного нагревателя определена исходя из величины расчетной мощности электронагревательной установки и принятого количества ТЭН.

Величина напряжения, материал спирали и наполнителя, диаметр трубки, температура спирали, теплоперепад, справочные значения коэффициентов берут из табл. 5.2...5.7.

Начальную величину d_n в расчете принять минимально возможной, равной $0,2 \cdot 10^{-3}$ м. Последующие значения диаметра проволоки принять равным $d_1 + n10^{-5}$ (табл. 5.2).

5.10. Численные значения исходных данных для расчета ТЭН и условные обозначения.

Наименование данных	Условные обозначения		Численные значения
	В тексте	В программе	
1	2	3	4
1. Мощность одного ТЭН, Вт	P		1750
2. Материал спирали	-		нихром
3. Удельное сопротивление нихрома, Ом·м	ρ_{20}		$1,1 \cdot 10^{-5}$
4. Температурный коэффициент сопротивления, $1/^\circ\text{C}$	α		$16 \cdot 10^{-4}$
5. Рабочая температура спирали, $^\circ\text{C}$	T		300

Продолжение табл. 5.10

1	2	3	4
6. Начальный диаметр проволоки, м	d_n		$0,2 \cdot 10^{-3}$
7. Материал трубки	—		сталь Ст.10
8. Наружный диаметр трубки, м	D_2		0,013
9. Внутренний диаметр трубки, м	D_1		0,011
10. Коэффициент теплопроводности трубки, Вт / (м · °С)	λ_2		15
11. Материал наполнителя	—		периклаз
12. Коэффициент теплопроводности наполнителя, Вт / (м · °С)	λ_1		1,5
13. Коэффициент шага спирали	K		4
14. Перепад температур, °С	ΔT		100
15. Напряжение на ТЭН, В	U		220
16. Диаметр проволоки, выпускаемой по ГОСТ	d_c		табл. 5.2
17. Длина проволоки спирали, м	L		расчет
18. Шаг спирали, и	h		расчет
19. Число витков спирали, м	n		расчет
20. Диаметр спирали, м	D_p		расчет
21. Длина спирали, м	l		расчет

Пример исходных данных для проверки результатов расчета ТЭН приведен в табл. 5.11. Программа проверки составлена для случая работы ТЭН в электрокалорифере типа СФО – Р/11.

5.11. Численные значения исходных данных для проверки расчета ТЭН и условные обозначения.

Наименование данных	Условные обозначения		Численные значения
	В тексте	В программе	
1	2	3	4
1. Мощность электрокалорифера, Вт	P_k		25000
2. Подача воздуха, м ³ /с	V_i		0,7
3. Высота канала калорифера, м	l_k		0,17
4. Число ТЭНов в одном вертикальном ряду, шт	z		3

Продолжение табл. 5.11

1	2	3	4
4. Мощность одного ТЭН, Вт	P		2500
5. Активная поверхность одного ТЭН, м ²	S_1		0,3
6. Высота оребрения, м	h_p		0,011
7. Шаг оребрения, м	S_p		0,0035
8. Наружный диаметр трубки, м	D_2		0,016
9. Внутренний диаметр трубки, м	D_1		0,014
10. Диаметр спирали, м	D		
11. Длина спирали (активная длина ТЭН), м	l		0,008
12. Коэффициент спирали	K_{cn}		0,48
13. Коэффициент теплопроводности наполнителя, Вт/(м·°С)			расчет
14. Температура входящего в калорифер воздуха, °С	λ_1		1,5
16. Коэффициент теплопроводности воздуха, Вт / (м · °С)	T_1		-21
17. Удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С)	λ_a		0,024
18. Коэффициент кинематической вязкости воздуха, м ² /с	C		1000
15. Число Прандтля	ν		$133 \cdot 10^{-4}$
16. Плотность воздуха, кг/м ³	Pr		0,707
17. Коэффициент теплоотдачи от ТЭН к воздуху, Вт/(м ² ·°С)	ρ		1,2
18. Температура воздуха, выходящего из калорифера, °С	α_x		расчет
19. Температура оребрения ТЭН, °С	T_2		расчет
20. Температура спирали, °С	T_{mp}		расчет
25. Удельная поверхностная мощность ТЭН, Вт/м ²	T_{cn}		расчет
	Φ_y		расчет

Программа основывается на общей методике расчета ТЭН. Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета.

Ключевыми вопросами программы являются:

1. Аналитическое решение равенства $W_o = W_e$, т.е.

$$\frac{\Delta T}{r_t} = \frac{4\rho_1 P^2}{\pi U^2 d^2}, \quad (5.23)$$

относительно d . Решение (5.23) считается удовлетворительным, когда

$$W_o - W_g \leq 1000, \text{Вт/м}^2. \quad (5.24)$$

2. Сравнение с заданной точностью (0,05 мм) диаметра проволоки (d_n), удовлетворяющих условию (5.24) с диаметром проволоки d_c , выпускаемой по ГОСТ:

$$d_c - d_n \leq |5 \cdot 10^{-5}| \text{ м}. \quad (5.25)$$

3. Расчет размеров спирали (5.10...5.14) по исходным данным и значениям W_p и d_p , удовлетворяющим условиям (5.24) и (5.25).

4. Расчет температуры поверхности трубки (5.15), спирали (5.21), удельной поверхностной мощности ТЭН (5.22).

5. Вывод расчетных данных.

Соответствующая программа расчета приведена в приложении (табл.П.5).

6. Электрический ионизатор воздуха

6.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки решения инженерной задачи по проектированию установки ионизации воздуха в помещениях сельскохозяйственного производства.

Задачи работы:

- изучить общую методику проектирования установок ионизации воздуха в животноводческом или птицеводческом помещении;
- освоить применение вычислительной техники для инженерного расчета установок ионизации воздуха;
- получить расчетные данные.

6.2. Исходные данные

Исходные данные к проектируемой установке ионизации воздуха выбирают из табл. 6.1., 6.2.

6.1. Зоотехнические рекомендации по дозам и режимам ионизации воздуха в помещениях.

Вариант	Вид животных, птицы	Концентрация отрицательных аэроионов, $\times 10^{11}$ ион/м ³	Режим аэроионизации в течение суток
1	2	3	4
1	Телята до 1 мес.	2,0	Ежедневно по 6...8 часов.
2	Коровы	2,5	В течение 15...20 дней по 5...8 ч., перерыв на 10...15 дней, повтор

Продолжение табл.6.1

1	2	3	4
3	Быки-производители	3,0	В течение 2-х мес. по 8...10ч., перерыв на 20...30 дней, повтор.
4	Поросята	4,0	В течение 3...4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор.
5	Свиньи	5,0	В течение 3...4 недель по 0,5 ч. 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор.
6	Цыплята	0,25	Возраст 3...20 дней – 1...2 ч., 20...40 дней – 3 ч., 40...60 дней – 4 ч.
7	Птица	0,3...1,6	Возраст 60...80 суток от 0,5 до 4 ч., 80...100 дней от 5 до 10 ч. Чередование: 5 дней ионизация, 5 дней перерыв.
8	Бройлеры	0,65	3...18 суток– 0,5ч., 18...40 суток– 2ч., 40...60 суток– 3ч., три дня ионизации, три дня пауза.
9	Куры-несушки	1,5...2,5	Увеличение от 4 до 12ч., чередование 1 мес. ионизация, 1 мес. перерыв.
10	Инкубаторы	0,13	Круглосуточно 19 дней.

6.3 Расчет разрядного устройства

Установки электрической ионизации воздуха включают источник питания, разрядное устройство, схему управления и защиты. Распростра-

нены следующие разрядные устройства: игольчатые, проволочные, изолированные провода с хлопчатобумажной оплеткой.

Расчет ведут в следующей последовательности:

1. По виду и возрасту животных определяют концентрации аэроионов в помещении (табл.6.1), принимают конструктивное исполнение разрядного устройства и расчетную схему (табл.6.2).

6.2. Схемы и формулы к расчету разрядных устройств аэроионизаторов

Схема расположения коронирующих электродов	Напряжение зажигания короны, В, при атмосферном давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и 20°C	Ток короны
<p>1. Коаксиальные цилиндры</p>	$U_3 = 30,3 - 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}} \right) r \ln \frac{R}{r}$	$i = \frac{8\pi\epsilon_0 k U_P (U_P - U_3)}{R^2 \ln \frac{R}{r}} \text{ А/м}$
<p>2. Провод плоскость</p>	$U_3 = 30,3 - 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}} \right) r \ln \frac{2h}{r}$	$i = \frac{\pi^2 \epsilon_0 k U_P (U_P - U_3)}{h^2 \ln \frac{2h}{r}} \text{ А/м}$
<p>3. Провод между плоскостями</p>	$U_3 = 30,3 - 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}} \right) r \ln \frac{4h}{r}$	$i = \frac{4\pi\epsilon_0 k U_P (U_P - U_3)}{2h^2 \ln \frac{4h}{r}} \text{ А/м}$
<p>4. Игла-плоскость</p>	$U_3 = 30,3 - 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r_3}} \right) r_3 \ln \frac{h}{r_3}$	$i = \frac{1,5k\epsilon_0 \left(1 + \frac{0,042}{h} \right) U_P (U_P - U_3)}{h(1 - 1,510^2 r_3)} \text{ А}$

В табл. 6.2.: r, R – радиусы коронирующего и осадительного электродов, м.; h – расстояние между коронирующим и осадительным электродами (плоскостью); r_3 – радиус закругления иглы, м.; k – подвижность аэроионов, м²/В·с; U_p – напряжение на разрядной линии, В.

2. Вычисляют напряжение зажигания U , короны (формула в табл.6.2).

3. Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации аэроионов:

$$U_p = U_s + \frac{ne}{4\epsilon_0} R^2 \text{ или } U_p = U_s + \frac{ne}{4\epsilon_0} h^2, \quad (6.1)$$

где n – концентрация аэроионов в помещении, ион/м³, (табл.6.1); $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд аэроиона, принят равным заряду электрона; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

4. Определяют ток (i, I) разрядного устройства, А/м, или А по формулам табл.6.2.

5. Поток аэроионов, ион/м с или ион/с:

$$N_i = \frac{i}{e}, N_i = \frac{I}{e}. \quad (6.2)$$

6. Длина разрядной линии (l_i), или количество разрядных игл (K_u), приняв среднюю продолжительность жизни аэроионов $\tau = 10$ с.:

$$l_i = \frac{nV}{N_i \tau}, K_u = \frac{nV}{N_i \tau}, \quad (6.3)$$

где V – объем помещения, м³.

7. Ток разрядной линии (I_{pi}) или разрядных игл (I_{pi}):

$$I_{pi} = i l_i, I_{pi} = K_u I. \quad (6.4)$$

8. Мощность разрядной линии:

$$P_p = k_3 I_{pi} U_p, P_p = k_3 I_{pi} U_p, \quad (6.5)$$

где: $k, = 1, 1 \dots 1, 2$ – коэффициент, учитывающий понижение напряжения в сети.

9. Мощность источника питания

$$P_u = \frac{P_p}{\eta}, \quad (6.6)$$

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

6.4. Разработка источника питания

Исходными данными к разработке источника питания являются напряжение U_p и ток I_p разрядной линии, мощность источника питания P_u и др.

Высокое напряжение получают в схемах умножения напряжения (рис.6.1).

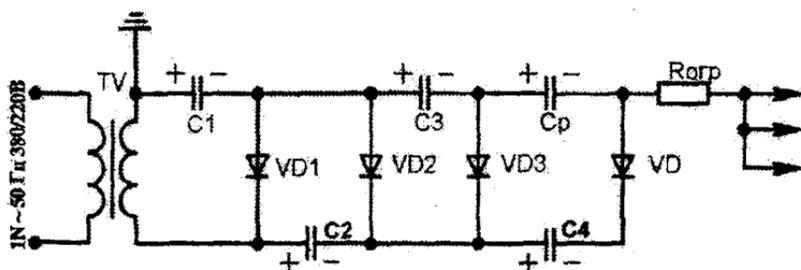


Рис.6.1. Схема выпрямления и умножения напряжения

Каждый конденсатор за исключением $C1$ заряжается до напряжения $2U_{2\max}$. Выходное напряжение схемы умножения на холостом ходу $U_p = pU_{2\max}$, где p – число конденсаторов в схеме. Максимальное обратное напряжение на вентиле $U_{обр} = 2U_{2\max}$.

Несимметричная схема выпрямления с умножением напряжения (рис.6.1) содержит общую точку для трансформатора и нагрузки, которая

может быть заземлена, что обеспечивает более высокую безопасность подобных схем.

Допустимое значение тока по условиям техники безопасности

$$I_{\delta} \leq 4 \cdot 10^{-3} A. \quad (6.7)$$

Вторичное сопротивление трансформатора с нагрузкой

$$R_{2H} = \frac{U_P}{I_{\delta}}. \quad (6.8)$$

Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения:

$$S \leq 0,1. \quad (6.9)$$

Частота переменного тока $f = 50$ Гц.

Далее расчет ведут в следующей последовательности.

1. Безразмерный параметр

$$A = \frac{\pi p^2 I_{\delta} R_{2H}}{2U_P}. \quad (6.10)$$

2. По величине A на рис.6.2,а определяем B .

3. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = R \frac{U_P}{p}. \quad (6.11)$$

4. Из рис.6.2,б по A находим F .

5. Амплитудное значение вторичного тока на трансформаторе

$$I_{2MAX} = pFI_P. \quad (6.12)$$

6. Из рис.6.3,а находим D .

7. Действующее значение тока на вторичной обмотке трансформатора

$$I_2 = \frac{pI_P}{\sqrt{2}} D. \quad (6.13)$$

8. Величина обратного напряжения на вентиле

$$U_{OBR} = \frac{2\sqrt{2}}{p} U_P B. \quad (6.14)$$

9. Принимаем конденсаторы с одинаковой величиной емкости, мкФ.

$$C_1 = C_2 = \dots = C_6 = \frac{I_p}{fU_p} 2(p+2) \cdot 10^6. \quad (6.15)$$

10. По рис.6.3,б находим H (при определенном значении m – количество выпрямленных полупериодов напряжения сети).

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

по четной гармонике

$$C_{(2)} = \frac{50H}{nR_{2H} fS_{(2)}}, \quad (6.16)$$

по нечетной гармонике

$$C_{(1)} = \frac{50H}{2nR_{2H} fS_{(1)}}. \quad (6.17)$$

Принимаем максимальное значение емкости каждого конденсатора.

Величина сопротивления $R_{опр}$, ограничивающего ток короткого замыкания в цепи разрядной линии

$$R_{опр} = \frac{U_p}{I_H}, \quad (6.18)$$

где: $I_H = (5 \dots 10)I_p$ – полный ток разрядной линии с учетом утечки через изоляцию.

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

$$R_{опрдоп} = \frac{U_\phi}{I_\phi}. \quad (6.19)$$

Мощность тепловых потерь в ограничивающем резисторе

$$P_t = \frac{U_p^2}{R_{опр}}. \quad (6.20)$$

По расчетным параметрам выбираем конденсаторы, вентили, резисторы, трансформатор схемы умножения, провода, соединяющие источник питания с разрядным устройством.

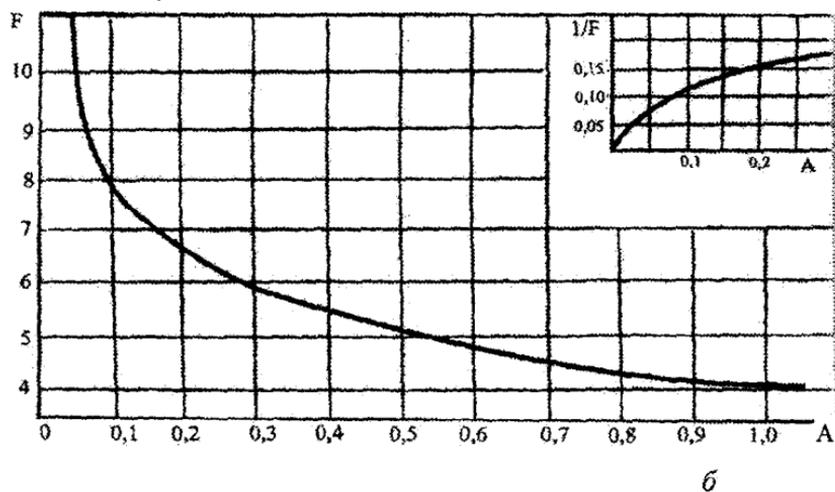
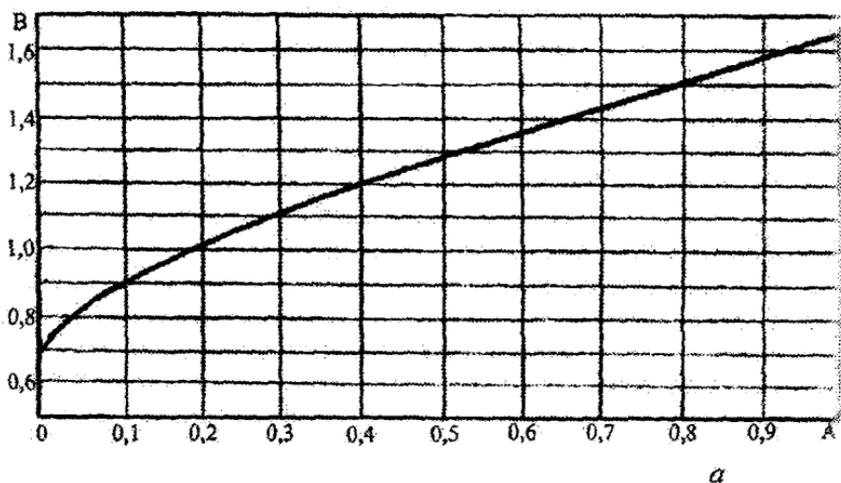


Рис. 6.2. Зависимость коэффициентов B , F от параметра A .

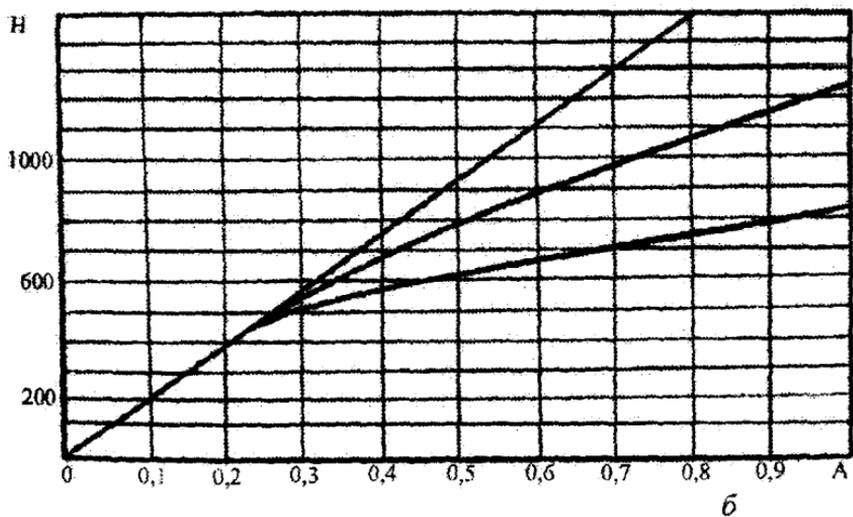
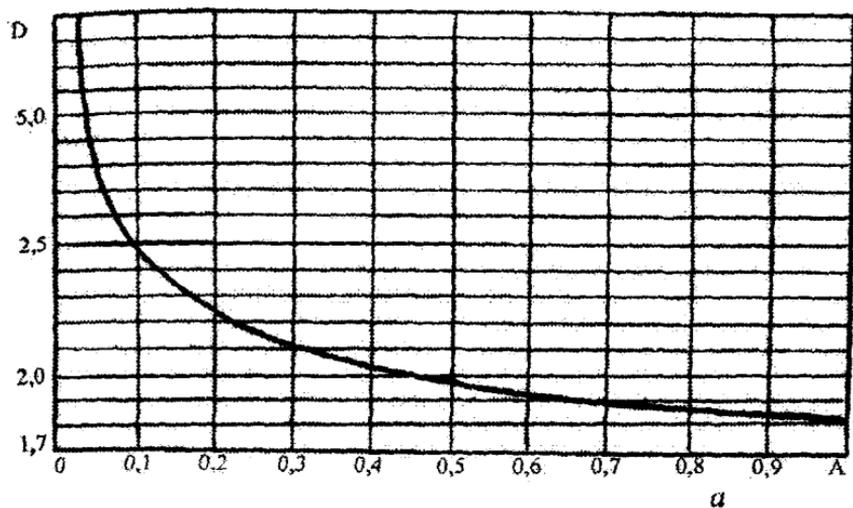


Рис. 6.3. Зависимость коэффициентов D, H от параметра A

6.5. Методика расчета ионизатора воздуха на ЭВМ

Выбор исходных данных для заданного варианта производят по табл. 6.1.

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета. Программа основывается на общей методике расчета приведенной в разделах 6.2...6.4. По окончании расчета результат выводится на экран и печать в следующем виде.

Расчет разрядного устройства

Номер варианта:

Объем помещения V

Радиус коронирующего электрода r

Расстояние h

Напряжение зажигания короны U_2, U_p

Ток разрядного устройства I

Поток аэроионов N_i

Длина разрядной линии l_{pi}

Ток разрядной линии I_{pi}

Мощность разрядной линии P_p

Мощность источника питания P_u

Разработка источника питания

Допустимое значение тока I_0

Число конденсаторов в схеме p

Коэффициент пульсации S

Вторичное сопротивление трансформатора с нагрузкой $R_{2н}$

Безразмерный параметр A, B (рис. 6.2, а)

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_2, F (рис. 6.2, б)

Амплитудное значение вторичного тока на трансформаторе $I_{2max}; D$ (рис. 6.3, а)

Действующее значение тока на вторичной обмотке трансформатора I_2

Величина обратного напряжения на вентиле $U_{обр}$

Величина емкости конденсатора $C; H$ (рис.6.3,б)

Величина емкости конденсатора по допустимой величине коэффициента пульсации C

Принимаем C

Величина сопротивления $R_{опр}$

Допустимое значение $R_{огрдоп}$

Принимаем $R_{опр}$

Мощность тепловых потерь в ограничивающем резисторе P_t

Соответствующая программа расчета приведена в приложении (табл.П.6).

7. Расчет индуктора и выбор индукционной установки

7.1. Цель и задачи работы

Цель работы: получить навыки проектирования индуктора и выбора индукционной установки. Из многих методов расчета индукторов здесь предлагается упрощенный по общему магнитному потоку.

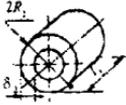
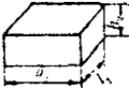
Задачи работы:

- изучить общую методику расчета индуктора и выбора индукционной установки;
- освоить применение вычислительной техники для расчета индуктора;
- получить расчетные данные.

7.2 Исходные данные

Исходные данные принимают из табл. 7.1. По результатам расчетов и проектирования выполнить чертежи общего вида индуктора и принципиальной схемы индукционной установки, полученные при проектировании.

7.1. Исходные данные к проектированию.

Вид термообработки	Вариант задания									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нагрев. Закалка										
Форма и характеристика заготовки										
Длина l_2 , 10^{-3} м	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Продолжение табл. 7.1

Радиус $R_2, 10^{-3} \text{ м}$	10	15	20	25	30	35	40			
Толщина стенки $\delta_2, 10^{-3} \text{ м}$					3	4	5			
Ширина $b_2,$ 10^{-3} м								30	40	50
Высота $h_2,$ 10^{-3} м								10	15	20
Конечная температура $t_2, ^\circ \text{C}$	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1250	1275
Темперопад $\Delta t, ^\circ \text{C}$	100	150	100	150	100	150	100	150	100	150
Удельное сопротивление $\rho_2,$ $10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Глубина зака- ленного слоя $X_K, 10^{-3} \text{ м}$	2	3	4	5	1,5	2	3	2	4	5

7.3. Выбор частоты

Частота (f) влияет на электрический КПД индуктора (η_e), глубину проникновения тока и распределение температуры по сечению детали, вид высокочастотного оборудования.

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

Сплошной цилиндр радиусом R_2 :

$$\frac{0,75}{R_2^2} \leq f \leq \frac{3}{R_2^2}. \quad (7.1)$$

Полый цилиндр с наружным радиусом R_2 и толщиной стенки δ_2 :

$$\frac{2,5 \cdot 10^5 \rho_2}{R_2 \delta_2} \leq f \leq \frac{10 \cdot 10^5 \rho_2}{R_2 \delta_2}, \quad (7.2)$$

где ρ_2 – удельное сопротивление стали в горячем режиме (температура более 750°C), Ом·м (табл.7.4).

Деталь прямоугольного сечения:

$$f = 8,1 \cdot 10^{12} \rho_2 h_2^2, \quad (7.3)$$

где h_2 – толщина детали, м.

При нагреве деталей в коротких индукторах ($l_1 \leq 4R_1$) частоту, рассчитанную по формулам (7.1)...(7.3), следует увеличить в 1,25...1,5 раза. Где l_1 и R_1 – длина и радиус индуктора (рис.7.1).

Диапазон частот для закалки углеродистых сталей:

$$\frac{3 \cdot 10^{-2}}{X_k^2} \leq f \leq \frac{25 \cdot 10^{-2}}{X_k^2}, \quad (7.4)$$

где X_k – глубина закаленного слоя, м.

По расчетной величине частоты выбирают ближайшую большую, на которую выпускают высокочастотные преобразователи (табл.7.9, 7.10)

Условием правильного выбора частоты при нагреве разных материалов является:

$$\frac{D_2}{\sqrt{2} \cdot Z_a} = 2,2 \dots 2,5, \quad (7.5)$$

где D_2 – диаметр заготовки, м; Z_a – глубина проникновения тока в металл, м:

$$Z_a = 503 \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu \cdot f}}, \quad (7.6)$$

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

7.2. Рекомендуемая частота тока при нагреве стальных заготовок.

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

7.3. 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	10,6	16,0	70
Оптимальная	2,7	5,0	8,0	34

7.4. Усредненное значение удельного сопротивления углеродистых сталей.

$t, ^\circ\text{C}$	20	100	200	400	600	800	10000	1200	1300
$\rho_2, 10^{-6}$ Ом·м	0,2	0,25	0,33	0,52	0,79	1,18	1,22	1,26	1,3

7.4. Определение мощности и размеров индуктора

- Средняя полезная мощность, Вт, за время нагрева заготовки:

$$P_n = \frac{m \cdot C(t_2 - t_1)}{\tau_k}, \quad (7.7)$$

где m – масса заготовки, кг; $C = 668 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ – средняя удельная теплоемкость углеродистых сталей; t_1, t_2 – начальная и конечная температура нагрева, $^\circ\text{C}$; τ_k – время нагрева до конечной температуры при нормируемом теплоперепаде, с.

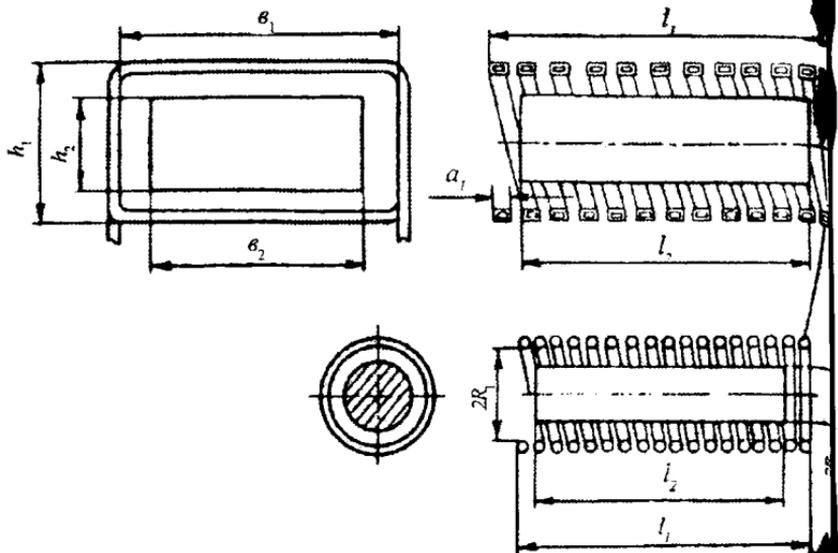


Рис. 7.1. Геометрические размеры системы индуктор - деталь

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

$$\Delta t = 100^\circ \text{C}, \tau_K \approx 5,9 \cdot 10^4 \cdot (D'_2)^2; \quad (7.8)$$

$$\Delta t = 150^\circ \text{C}, \tau_K \approx 3,7 \cdot 10^4 \cdot (D'_2)^2; \quad (7.9)$$

где $D'_2 = D_2 - Z_{ak}$ - расчетный диаметр заготовки, м.

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

$$Z_{ak} = \frac{0,5}{\sqrt{I}}, \quad (7.10)$$

2. Удельная полезная мощность на поверхности заготовки, Вт/м²:

$$P_o = \frac{P_{II}}{S}, \quad (7.11)$$

где S – площадь поверхности заготовки, без учета торцов, м^2 .

3. Внутренние размеры индуктора (рис.7.1).

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

$$D_1 = D_2 + \Delta h; h_1 = h_2 + \Delta h, l_1 \approx l_2. \quad (7.12)$$

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

$$\delta_1 = 1,5 \cdot Z_{a1}, \quad (7.13)$$

где Z_{a1} – глубина проникновения тока в медь, м (см. формулу (7.14)).

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

Индуктор изготавливают из медной трубки круглого или прямоугольного сечения. Используют электротехническую медь марки М0 или М1, обладающих минимальным удельным сопротивлением. Удельное сопротивление меди можно считать $(0,18...0,2) \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

7.5. Электрический расчет индуктора

Задача расчета: определить напряжение на индукторе U_u , ток индуктора I_u , число витков индуктора W , коэффициент мощности $\cos\phi_u$, коэффициент полезного действия η_u , мощность, подводимую к индуктору P_u .

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

1. Глубина проникновения тока, м
в медь индуктора

$$Z_{a1} = \frac{0,7}{\sqrt{t}}; \quad (7.14)$$

- в заготовку в горячем режиме

$$Z_{a2} = 503 \sqrt{\frac{\rho_2}{t}}, \quad (7.15)$$

где ρ_2 – удельное сопротивление заготовки в горячем режиме (табл.7.4), Ом·м; при относительной магнитной проницаемости μ равной относительной магнитной проницаемости на поверхности заготовки μ_s

$$Z_{a2} = f(\rho_2, t, H_s^2 \sqrt{\mu_s}). \quad (7.16)$$

Величину Z_{a2} находят из табл.7.5. Для этого необходимо определить величину:

$$H_s^2 \sqrt{\mu_s} = 3,67 \cdot 10^2 P_0 \sqrt{\rho_2 \cdot t}. \quad (7.17)$$

Если $\rho_2 > 0,18 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, то полученное значение Z_{a2} нужно увеличить в $\sqrt{\frac{\rho_2}{0,18 \cdot 10^{-6}}}$ раз.

2. По формулам табл. 7.6 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.

3. Коэффициент приведения параметров, характеризующий соотношение размеров индуктора заготовки:

$$C = \frac{X_0^2}{r_2^2 + (1 + X_s + X_{2M})^2}, \quad (7.18)$$

4. Активное сопротивление пустого индуктора, Ом:
цилиндрического

$$r_1 = \frac{2\pi\rho_1(R_1 + 0,5Z_{a1})W^2 k_{r1}}{Z_{a1}l_1}, \quad (7.19)$$

прямоугольного

$$r_1 = \frac{2 \cdot 10^{-3} \rho_1 (\theta_1 + h_1) W^2 k_{r1}}{Z_{a1} l_1}, \quad (7.20)$$

В формулах (7.19) и (7.20) принять $W=1$, $k_{r1}=1,3$ – характеризует отношение $\frac{\delta_1}{Z_{a1}}$.

5. Сопротивление нагруженного индуктора:

активное

$$r_u = r_1 + r_2 C W^2, \quad (7.21)$$

индуктивное

$$X_u = C \cdot \left[X_s + X_{2M} + \frac{R_2^2 + (X_s + X_{2M})^2}{X_0} \right] \cdot W^2, \quad (7.22)$$

полное

$$Z_u = \sqrt{r_u^2 + x_u^2}. \quad (7.23)$$

В формулах (7.21) и (7.22) также принять $W = 1$.

6. Ток в одновитковом индукторе:

$$I'_u = \sqrt{\frac{P_u}{R_2}} C. \quad (7.24)$$

7. Напряжение на индуктирующем проводе одновиткового индуктора:

$$U'_u = I'_u \cdot Z_u. \quad (7.25)$$

8. Число витков индуктора:

$$W = \frac{U_u}{U'_u}, \quad (7.26)$$

где U_u – напряжение, фактически подводимое к индуктору, В.

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

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

$$a_1 = \frac{l_1}{W}. \quad (7.27)$$

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

10. Параметры индуктора, пересчитанные на реальное число витков, находят по формулам (7.19)...(7.22), подставив в них принятое число витков, а также ток индуктора, A :

$$I_u = \frac{I'_u}{W}. \quad (7.28)$$

11. Электрический КПД индуктора, о.е.:

$$\eta_u = \frac{(r_u - r_i)}{r_u}. \quad (7.29)$$

12. Коэффициент мощности, о.е.:

$$\cos \varphi_u = \frac{r_u}{Z_u}. \quad (7.30)$$

13. Мощность, подводимая к индуктору:

$$P_u = \frac{P_{II}}{\eta_u}. \quad (7.31)$$

14. Напряжение на индукторе:

$$U_u = I_u Z_{uu}, \quad (7.32)$$

где Z_{uu} – полное сопротивление индуктора с числом витков W .

7.5. Значения Z_{us} , μ_s для углеродистой стали при

$$\rho_2 = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

H_s , H_s , 10^4 А/м	μ_s	$H_s^2 \sqrt{\mu_s}$	Глубина проникновения Z_{us} , 10^{-2} м								
			50 Гц	500 Гц	1000 Гц	2500 Гц	4000 Гц	8000 Гц	10 кГц	70 кГц	440 кГц
1	128	$11,6 \cdot 10^8$	0,27	0,084	0,059	0,037	0,0296	0,021	0,0189	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$0,28 \cdot 10^{-2}$
2	67	$32,6 \cdot 10^8$	0,37	0,12	0,083	0,052	0,0410	0,029	0,0261	$0,99 \cdot 10^{-2}$	$0,394 \cdot 10^{-2}$
4	35,2	$95 \cdot 10^8$	0,51	0,16	0,11	0,072	0,0565	0,04	0,0360	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$0,544 \cdot 10^{-2}$
6	24,2	$176 \cdot 10^8$	0,61	0,19	0,14	0,087	0,0680	0,049	0,0435	$1,63 \cdot 10^{-2}$	$0,655 \cdot 10^{-2}$
8	18,4	$274 \cdot 10^8$	0,70	0,22	0,16	0,1	0,0780	0,056	0,0500	$1,87 \cdot 10^{-2}$	$0,753 \cdot 10^{-2}$
10	15,0	$386 \cdot 10^8$	0,78	0,25	0,17	0,11	0,0865	0,062	0,0550	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$0,835 \cdot 10^{-2}$

Продолжение табл. 7.5

12	12,7	$512 \cdot 10^8$	0,85	0,27	0,19	0,12	0,0940	0,067	0,0650	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$0,906 \cdot 10^{-2}$
14	11,0	$650 \cdot 10^8$	0,91	0,29	0,2	0,128	0,101	0,072	0,0665	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$0,975 \cdot 10^{-2}$
16	9,67	$793 \cdot 10^8$	0,97	0,31	0,22	0,137	0,107	0,077	0,0687	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{-2}$
18	8,65	$953 \cdot 10^8$	1,02	0,32	0,23	0,144	0,114	0,081	0,0727	$2,72 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$
20	7,9	$11,2 \cdot 10^{10}$	1,07	0,34	0,24	0,151	0,119	0,085	0,0760	$2,87 \cdot 10^{-2}$	$1,15 \cdot 10^{-2}$
24	6,53	$14,8 \cdot 10^{10}$	1,17	0,37	0,25	0,165	0,129	0,092	0,0830	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-2}$
28	5,75	$18,8 \cdot 10^{10}$	1,25	0,40	0,28	0,177	0,139	0,099	0,0893	$3,35 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$
32	5,08	$23,8 \cdot 10^{10}$	1,34	0,42	0,3	0,19	0,148	0,106	0,0950	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-2}$
36	4,55	$27,7 \cdot 10^{10}$	1,41	0,45	0,315	0,2	0,156	0,112	0,1000	$3,78 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-2}$
40	4,53	$36 \cdot 10^{10}$	1,42	0,46	0,32	0,205	0,157	0,115	0,100	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$

15. Реактивная мощность конденсаторной батареи:

$$P_K = P_u \operatorname{tg} \varphi_u \quad (7.33)$$

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

7.6. Проектирование индуктора

1. Ознакомиться с примерами индукторов и рекомендациями по их конструированию [2...5] и рис. 7.7 и 7.8.
2. Выбрать конструктивную схему индуктора, наиболее близкую к заданию.
3. Вычертить общий вид индуктора, согласно расчетным параметрам.

7.7. Выбор индукционной установки

Индукционные установки выбирают по техническому назначению (нагревательные, закалочные, плавильные и др.), частоте и мощности генератора. Состав оборудования высокочастотных установок с машинным генератором показан на рис. 7.9.

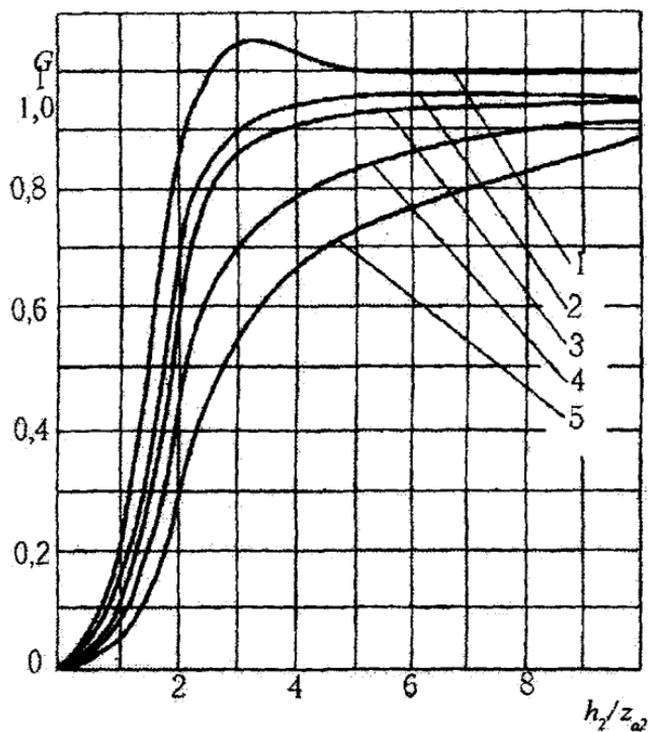


Рис. 7.2. Функция G :

- 1 - $\sigma_2/h_2 = \infty$; 2 - $\sigma_2/h_2 = 10$; 3 - $\sigma_2/h_2 = 4$;
 4 - $\sigma_2/h_2 = 2$; 5 - $\sigma_2/h_2 = 1$.

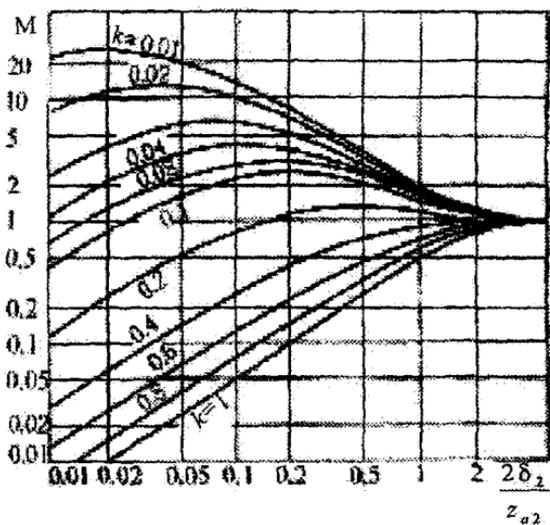


Рис. 7.3. Функция M при $k = \frac{Z_{a2}}{R_2 - \delta_2}$

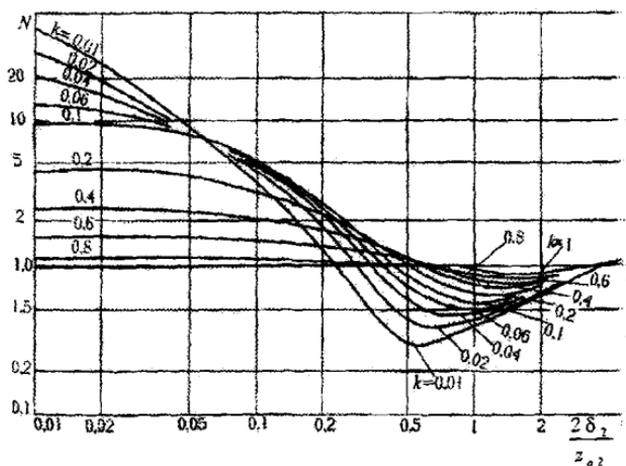


Рис. 7.4. Функция N при $k = \frac{Z_{a2}}{R_2 - \delta_2}$

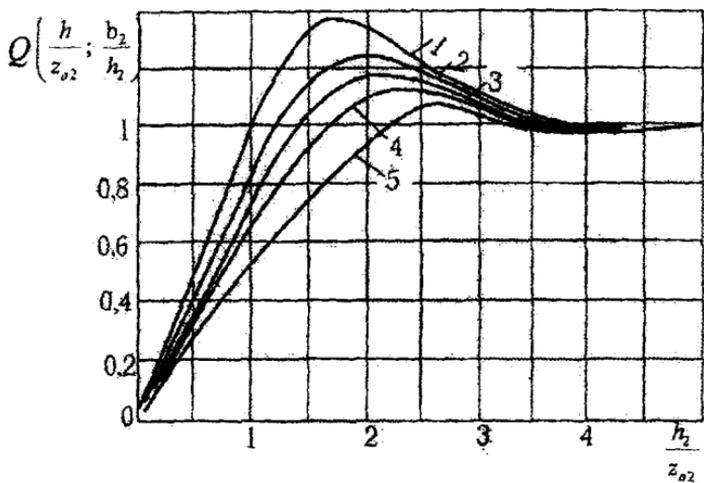


Рис. 7.5. Функция Q при отношении v_2/h_2 равном:

1 - ∞ ; 2 - 10; 3 - 4; 4 - 2; 5 - 1.

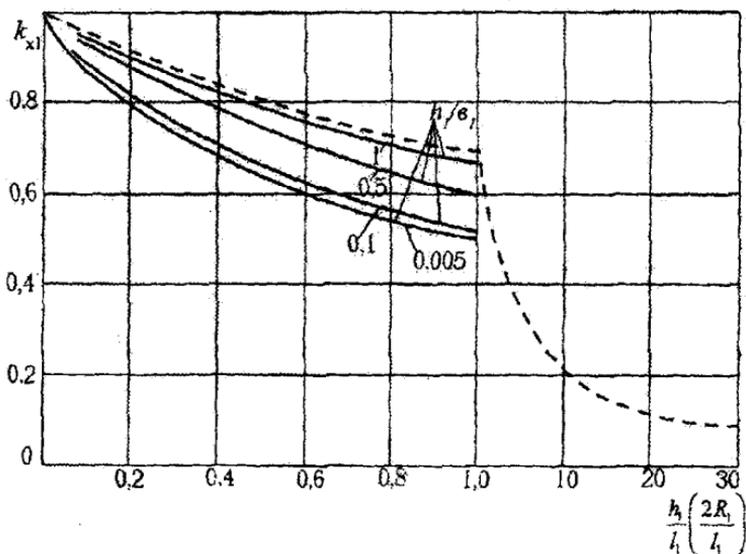


Рис. 7.6. Значения k_{x1} : — для цилиндров; --- для индукторов прямоугольного сечения

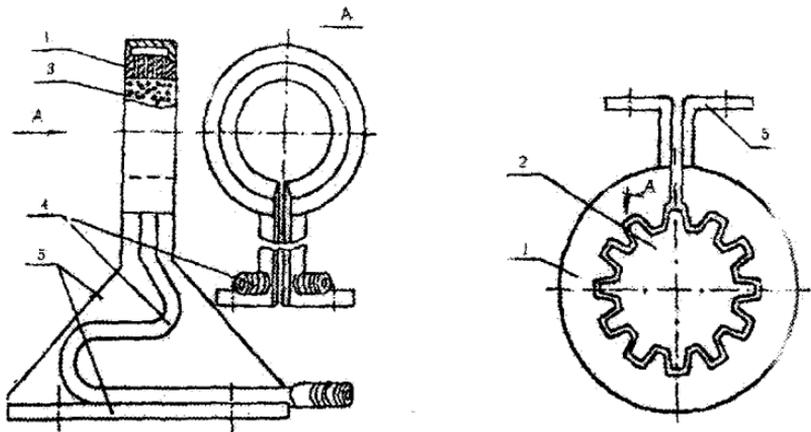


Рис. 7.7. Индукторы закалочные: 1 – индуктирующий провод; 2 – заготовка (изделие); 3 – отверстие для подачи воды при закалке; 4 – трубка охлаждения индуктора; 5 – токопроводящие шины.

7.6. Формулы для определения активных и реактивных сопротивлений нагреваемых тел различной формы.

Сопротивление	Режим				Коэффициенты
Активное r_2 , Ом	Холодный	$\frac{8,6 \cdot \rho_2 R_2}{Z_{a1} l_2}$	$\frac{8,6 \cdot \rho_2 R_2}{Z_{a1} l_2}$	$\frac{2,74 \cdot \rho_2 (\sigma_2 + h_2)}{Z_{a1} l_2}$	Z_{a1} в табл. 7.5
	Промежуточный	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \varphi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \varphi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{2 \cdot \rho_2 (\sigma_2 + h_2)}{Z_{a2} l_2}$	φ в табл. 7.7

	Горячий режим или немагнитные материалы	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \Phi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 M}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{2 \cdot \rho_2 (\theta_2 + h_2) G}{Z_{a2} l_2}$	Φ в т. Г из рис. 7. М из рис. 7.
Индуктивное сопротивление в по-току внутри заготовки $x_{2м}$, Ом	Холодный	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{2 \cdot \rho_2 (\theta_2 + h_2)}{Z_{a2} l_2}$	-
	Промежуточный	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \psi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \psi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{2 \cdot \rho_2 (\theta_2 + h_2) \psi}{Z_{a2} l_2}$	ψ в табл. 7.
	Горячий режим или немагнитные материалы	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 \psi}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{6,28 \cdot \rho_2 R_2 M}{Z_{a2} l_2}$	$\frac{2 \cdot \rho_2 (\theta_2 + h_2) Q}{Z_{a2} l_2}$	ψ в т. 7. N из рис. 7. Q из рис. 7.5
Индуктивное сопротивление в зазоре между индуктором и заготовкой x_s , Ом	$\frac{248 \cdot 10^{-6} f(R_1^2 + R_2^2)}{l_2}$	$\frac{248 \cdot 10^{-6} f(R_1^2 + R_2^2)}{l_2}$	$\frac{7,9 \cdot 10^{-6} f(\theta_1 h_1 - \theta_2 h_2)}{l_2}$	-	
Индуктивное сопротивление обратного замыкания x_0 , Ом	$\frac{24,8 \cdot 10^{-6} f R_1^2 k_{x1}}{l_1 - l_2 k_{x1}}$		$\frac{7,9 \cdot 10^{-6} f \theta_1 h_1 k_{x1}}{l_1 - l_2 k_{x1}}$	k_{x1} из рис. 7.5	

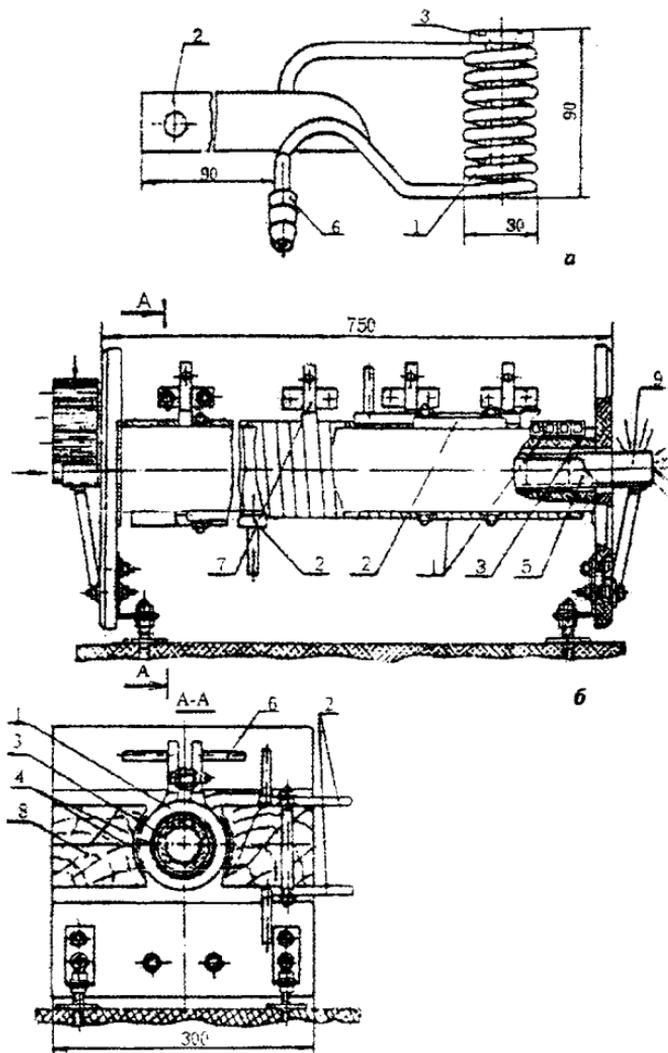


Рис. 7.8. Индукторы нагревательные: периодического (а) и методического (б) действия: 1 – индуктирующий провод; 2 – токоподводящие шины; 3 – керамические втулки (тепловая изоляция); 4 – асбестовая прокладка; 5 – металлическая направляющая для перемещения заготовки; 6 – труба водоподводящая; 7 – узел соединения секций индуктора; 8 – бруски крепления индуктора; 9 – заготовка

7.7. Значения функции φ .

H_s 10^4 A/м	X_K/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	1,945	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	1,120	-	-
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	1,595	-	-	-	-	-	-	-
32	1,91	1,700	-	-	-	-	-	-	-	-
36	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.8. Значения Φ и Ψ .

Относительный радиус $m = \frac{\sqrt{2} \cdot R_2}{Z_{a2}}$	Φ	Ψ	Относительный радиус $m = \frac{\sqrt{2} \cdot R_2}{Z_{a2}}$	Φ	Ψ
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	>10	1,0	1,0

7.9. 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	2x140	2x140
Мощность на высокой частоте, кВт					
Частота тока, Гц	30	100	100	2x100	2x100
Напряжение, В	8000	2400	8000	2400	8000
Поверхность одновременного нагрева, м ²	400	800	800	800	800
Глубина закаленного слоя, мм	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04
	1,3...5	2,5...10	1,3...5	2,5...10	2,5...5

7.10. Индукционные установки с ламповыми генераторами.

Характеристики	ВЧИ7- 10/0,44	ВЧИ- 25/0,44	ВЧИ- 63/0,44	ВЧИ2- 100/0,066	ВЧИ3- 160/0,066
Мощность, потребляемая от сети, кВт	14	37	90	140	200
Мощность на высокой частоте, кВт	10	25	63	100	160
Частота тока, кГц	440	440	440	66	66
Вторичное напряжение анодного трансформатора, кВ	6,0	8,4	8,4	8,4	8,4

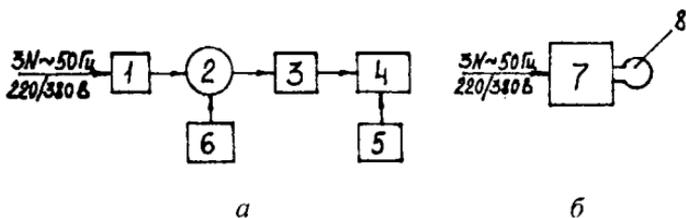


Рис. 7.9. Блок-схема индукционной закалочной установки типа ИЗ (а) и высокочастотного лампового генератора ВЧИ (б): 1 – шкаф управления электродвигателем генератора частоты; 2 – генератор; 3 – шкаф контакторный; 4 – нагревательный блок с индуктором; 5 – шкаф управления нагревательным блоком; 6 – шкаф регулирования напряжения на выходе генератора; 7 – ламповый преобразователь частоты; 8 – индуктор

Мощность генератора:

$$P_r = \frac{P_u}{\eta_{тр} \eta_l}, \quad (7.34)$$

где $\eta_{тр} = 0,85$ – КПД понижающего трансформатора, о.е.; $\eta_l = 0,95$ – КПД линии, соединяющей генератор с индуктором, о.е.

Применительно к разовому и небольшому серийному производству ремонтных предприятий наибольший интерес представляют универсальные индукционные закалочные 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 трансформаторные 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.

7.8. Методика расчета индуктора и выбор индукционной установки с помощью ЭВМ

Задача решается машиной в последовательности, заданной программой расчета. Программа основывается на общей методике расчета, приложенной в разделах 7.3...7.7. Результаты расчета выводятся на дисплей.

Соответствующая программа расчета приведена в приложении (табл.П.7).

Литература

1. Заяц Е.М. Основы электротермохимических методов обработки влажных кормов. – Мн.: Ураджай, 1997.
2. Уравнения математической физики / Тихонов А.Н., Сикорский А.А. Изд. 6-е. – М.: Наука, 1977.
3. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена. – Мн.: Навука і тэхніка, 1976.
4. Прищепов М.А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических процессах сельскохозяйственного производства. – Мн.: БАТУ, 1999.
5. Электрическое оборудование сельскохозяйственных предприятий: Учебное пособие / Л.С. Герасимович, В.А. Карасенко, Е.М. Заяц и др. – Мн.: Ураджай, 1995.
6. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционных установок. – Л.: Энергия, 1974.
7. Шапов А.Н., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. – Л.: Машиностроение, 1974.
8. Слухоцкий А.Е., Немаков В.С., Павлов Н.А. и др. Установки индукционного нагрева / Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981.
9. Белавин Ю.А. и др. Трубчатые электрические нагреватели и установки и их применение/ Ю.А. Белавин, М.А. Евстигнеев, А.Н. Чернявский. –М.: Энергоатомиздат, 1989.
10. Рудаков В.В., Александрова С.К. Ионизация воздуха в животноводческих помещениях. - Л.: АПЧ, 1987.

Расчет температурного поля плоскопараллельной электродной системы

```

Uses TpCrt, TpString;
CONST
  Ta = 12.0;
  Tc = 10.0;
  dx = 0.001;
  m = 4;
  nV = 3;
  mu = 1.7e-5;
  Inc_pl = 100.0;
  Inc_E = 100.0;
  AText : Array[1..m] of String[13]=
      ('Солома', 'Зерно', 'Меласса', 'Сок картофеля');
  Tend : Array[1..m] of Real = ( 100.5, 79.9, 59.7, 40.0 );
  Ga20 : Array[1..m] of Real = ( 0.25, 0.15, 0.025, 1.08 );
  Isx_pl : Array[1..m] of Real = ( 600, 400, 1400, 1028 );
  npl : Array[1..m] of Byte = ( 3, 3, 1, 1 );
  C : Array[1..m] of Real = ( 3250, 2150, 2510, 3140 );
  Lambda : Array[1..m] of Real = ( 0.29, 0.31, 0.32, 0.58 );
  Isx_E : Array[1..m] of Real = ( 700, 1400, 4000, 200 );
  nE : Array[1..m] of Byte = ( 3, 3, 1, 1 );
  jPrint : Array[1..m] of Byte = ( 25, 10, 10, 100 );
  Visx : Array[1..nV] of Real = ( 0.001,
      0.002,
      0.003);
VAR
  x, T, Tps, pl, E, V : Real;
  i1, i2, i3, i4 : Byte;
  j : Integer;
  Gamma,
  a_sm, A, Re, Delta, L,
  P, z, DeltaL, k1, k2, k3, y : Real;
  F : Text;
BEGIN
  Assign(F, 'Nagr.txt');
  Rewrite(F);
  Writeln(F, Pad("", 30), 'П Л А С Т И Н Ы');
  TextAttr := $30;
  ClrScr;

```

```

for i1:=1 to m do
begin {i1}
  Writeln(F,Pad(",30"));
  Writeln(F,Pad(",30), AText[i1]);
  Writeln(F,
  |-----|-----|-----|-----|
  );
  Writeln(F,
  "| Плот- |Напряж.|Скорость| Длина |  Температура  |");
  Writeln(F,
  "| ность |эл.поля|перемещ.|электрода+-----|");
  Writeln(F,
  "| кг/м3 | в/м | м/с | м | ядра |погран.слоя");
  Writeln(F,
  |-----|-----|-----|-----|);
for i2:=1 to npl[i1] do
begin {i2}
  pl :=Isx_pl[i1]+Inc_pl*(i2-1);           { pl:=800;}
  a_sm:=Lambda[i1]/(pl*C[i1]);             { a}
  z :=10.0/Lambda[i1];
  for i3:=1 to nE[i1] do
  begin {i3}
    E:=Isx_E[i1]+Inc_E*(i3-1);             { E:=1000;}
    L:=220.0/E;
    for i4:=1 to nV do
    begin {i4}
      V:=Visx[i4];                           { V:=0.003;}
      P:=2.0*a_sm/(L*V);
      x:=0; T:=Ta;
      Repeat
        Gamma:=Ga20[i1]*(1+0.037*(T-20));    { Gamma:=0.633;}
        A:=E*E*Gamma/(pl*C[i1]*a_sm);
        if x=0 then x:=0.001
          else if x<0.5*dx then x:=dx
            else x:=x+dx;
      Re:=pl*x*V/mu;
      k1:=Sqrt(Re);
      Delta :=3.7*x/k1;
      DeltaL:=3.7*L/k1;
      T:=Ta+P*((Ta - Tc + A*a_sm*x/V + A*Delta*Delta/3.0)*z/
      ( z*DeltaL+L
    )

```

$$- A * \Delta L * 0.5) * x +$$

$$A * a_{sm} * x / V;$$

```

Until (T>=Tend[i1]) or (x>10.0);
y:=0.5*Delta;
Tps:=A*y*y*(-5.0/12.0)-z*Tc*y+
  ((T+A*Delta*Delta/3.0+z*Tc*Delta)/(z*Delta+L))*(z*y+L);
Writeln(F,pl:6:0, E:8:0, V:9:3, x:9:3, T:9:1, Tps:12:1);
end {i4}
end {i3}
end; {i2}
end; {i1}

Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30), "Г Р А Ф И К И");
for i1:=1 to m do
begin {i1}
j:=0;
for i2:=1 to 1 do
begin {i2}
pl :=Isx_pl[i1]+Inc_pl*(i2-1);
a_sm:=Lambda[i1]/(pl*C[i1]);
z :=10.0/Lambda[i1];
for i3:=1 to 1 do
begin {i3}
E:=Isx_E[i1]+Inc_E*(i3-1);
L:=220.0/E;
for i4:=nV to nV do
begin {i4}
V:=Visx[i4];
P:=2.0*a_sm/(L*V);
x:=0; T:=Ta;
Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30), "", AText[i1], "");
Writeln(F, "Г-----Т-----Т-----");
Writeln(F, " | Плотность |Напр.эл.поля| Скорость | ");
Writeln(F, "L-----|-----");
Writeln(F, " ", pl:11:0, E:13:0, V:13:3, "");

```

```

Writeln(F, "r=====T=====T=====T=====
=====");
Writeln(F, " | Длина | Тядра | Тпогр.слоя | Разность |");

Writeln(F, "L=====|=====|=====|=====
=====");
Repeat
Gamma:=Ga20[i1]*(1+0.037*(T-20));
A:=E*E*Gamma/(pl*C[i1]*a_sm);
if x=0 then x:=0.001
else if x<0.5*dx then x:=dx
else x:=x+dx;
Re:=pl*x*V/mu;
k1:=Sqrt(Re);
Delta :=3.7*x/k1;
DeltaL:=3.7*L/k1;
T:=(Ta+P*((Ta - Tc + A*a_sm*x/V + A*Delta*Delta/3.0)*z/
( z*DeltaL+L
- A*DeltaL*0.5) * x+
A*a_sm*x/V;
y:=0.5*Delta;
Tps:=A*y*y*(-5.0/12.0)-z*Tc*y+
((T+A*Delta*Delta/3.0+z*Tc*Delta)/(z*Delta+L))*(z*y+L);
if (j mod jPrint[i1] = 0) or (T>=Tend[i1]) then
Writeln(F, x:10:3, ', ', T:10:1, ', ', Tps:10:1, ', ', T-Tps:10:1);
Inc(j);
Until (T>=Tend[i1]) or (x>10.0);
end {i4}
end {i3}
end; {i2}
end; {i1}
Close(F);
END.

```

Расчет температурного поля коаксиальной электродной системы

Uses TpCrt, TpString;

CONST

U =220.0; n =20; r0 =0.13; Ta =12.0;

Tc =10.0; dx = 0.001; m = 4; nV = 3;

Inc_pl= 100.0; Inc_E = 100.0;

AText : Array[1..m] of String[13]=

('Солома','Зерно','Меласса','Сок картофеля');

Tend : Array[1..m] of Real=(99.9, 79.9, 59.7, 40.0);

Ga20 : Array[1..m] of Real=(0.25, 0.15, 0.025, 1.08);

Isx_pl: Array[1..m] of Real=(600, 400, 1400, 1028);

npl : Array[1..m] of Byte=(3, 3, 1, 1);

C : Array[1..m] of Real=(3250, 2150, 2510, 3140);

Lambda: Array[1..m] of Real=(0.29, 0.31, 0.32, 0.58);

Isx_E : Array[1..m] of Real=(700, 1400, 4000, 200);

nE : Array[1..m] of Byte=(3, 3, 1, 1);

jPrint: Array[1..m] of Byte=(50, 10, 50, 250);

Visx : Array[1..nV] of Real=(0.001, 0.002, 0.003);

VAR

x, T, Tin, Tout, pl, E, V : Real;

i1, i2, i3, i4, i5 : Byte;

j : Word;

Gamma, k1,k2,k3, y, R, Norm : Real;

F : Text;

Rad, Rad2 : Array[1..n] of Real;

BEGIN

Assign(F,'Nagr-t.txt'); Rewrite(F);

Writeln(F,Pad("",30), 'Т Р У Б Ы ');

TextAttr:=\$30; ClrScr;

for i1:=1 to m do

begin {i1}

Writeln(F,Pad("",30)); Writeln(F,Pad("",30), AText[i1]);

Writeln(F,



```

Writeln(F,
'Плот- | Напряж. | Скорость | Внешний | Длина |      Температура  |');
Writeln(F,
'ность | эл. Поля | перемеш. | радиус |      +---Т---Т---|');
Writeln(F,
'| кг/м3 | в/м | м/с | м | м | средняя|внутр.сл.|внешн.сл|');
Writeln(F,
'L=====');
for i2:=1 to npl[i1] do
begin {i2}
pl :=Isx_pl[i1]+Inc_pl*(i2-1);
for i3:=1 to nE[i1] do
begin {i3}
E:=Isx_E[i1]+Inc_E*(i3-1); R:=r0+U/E; k3:=(R-r0)/n; Norm:=0;
for i5:=1 to n do
begin
Rad[i5] :=r0+k3*(i5-0.5);
Rad2[i5]:=Sqr(Rad[i5]+0.5*k3)-Sqr(Rad[i5]-0.5*k3);
Norm:=Norm+Rad2[i5];
end;
for i4:=1 to nV do
begin {i4}
V:=Visx[i4]; x:=0; T:=Ta;
k1:=U*U/(pl*C[i1]*V*Sqr(Ln(R/r0)));
Repeat
Gamma:=Ga20[i1]*(1+0.037*(T-20));
if x=0 then x:=0.0001
else if x<0.5*dx then x:=dx else x:=x+dx;
k2 :=Gamma*x*k1; Tin :=Ta+k2/Sqr(r0); Tout:=Ta+k2/Sqr(R);
T:=0;
for i5:=1 to n do T:=T+Rad2[i5]*( k2/Sqr(Rad[i5]) );
T:=Ta+T/Norm;
Until (T>=Tend[i1]) or (x>10.0);
Writeln(F,pl:8:0,E:8:0,V:9:3,R:8:3,x:8:3,T:8:1,Tin:8:1,Tout:8:1);
end {i4}

```

```

end {i3}
end; {i2}
end; {i1}

Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30), "Г Р А Ф И К И ");
for i1:=1 to m do
begin {i1}
j:=0;
for i2:=1 to 1 do
begin {i2}
pl :=Isx_pl[i1]+Inc_pl*(i2-1);
for i3:=1 to 1 do
begin {i3}
E:=Isx_E[i1]+Inc_E*(i3-1);
R:=r0+U/E;
k3:=(R-r0)/n;
Norm:=0;
for i5:=1 to n do
begin
Rad[i5] :=r0+k3*(i5-0.5);
Rad2[i5]:=Sqr(Rad[i5]+0.5*k3)-Sqr(Rad[i5]-0.5*k3);
Norm:=Norm+Rad2[i5];
end;
for i4:=nV to nV do
begin {i4}
V:=Visx[i4];
x:=0; T:=Ta;
k1:=U*U/(pl*C[i1]*V*Sqr(Ln(R/r0)));
Writeln(F,Pad(",30));
Writeln(F,Pad(",30), "", AText[i1], "");
Writeln(F, "Г-----Т-----Т-----Т-----");
Writeln(F, "Плотн-ть | Нап.поля | Скорость | Вн.рад. |");
Writeln(F, "L-----|-----|-----j");
Writeln(F, "", pl:9:0, E:9:0, V:9:3, R:9:3, "");

```

```

Writeln(F,"r-----T-----T-----T-----T-----
-");
Writeln(F,"| Длина | Тср.взв. | Твнутр. | Тнаружн. | Твн-Тнар|"");
Writeln(F,"L-----|-----|-----|-----");
Repeat
  Gamma:=Ga20[i1]*(1+0.037*(T-20));
  if x=0 then x:=0.0001
    else if x<0.5*dx then x:=2*dx
      else x:=x+dx;
  k2 :=Gamma*x*k1;
  Tin :=Ta+k2/Sqr(r0);
  Tout:=Ta+k2/Sqr(R);
  T:=0;
  for i5:=1 to n do
    begin
      T:=T+Rad2[i5]*( k2/Sqr(Rad[i5]) );
    end;
  T:=Ta+T/Noirm;
  if (j=0) or ((j+1) mod jPrint[i1] = 0) or (T>=Tend[i1]) then
    Writeln(F,x:7:3,' ',T:7:1,' ',Tin:7:1,' ',
      Tout:7:1,' ',Tin-Tout:7:1);
  Inc(j);
  Until (T>=Tend[i1]) or (x>10.0);
end {i4}
end {i3}
end; {i2}
end; {i1}

Close(F);
END.

```

Расчет температурного поля в среде, полуограниченной токоподводящими электродами, разделенными мембраной

// Equation.cpp: implementation of the CEquation class.

//
 //

```
#include "stdafx.h"
#include "Thunder.h"
#include "Equation.h"
#include "ProgDlg.h"
#include "math.h"
#include "vector"
```

```
#ifdef _DEBUG
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[]=__FILE__;
#define new DEBUG_NEW
#endif
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// Construction/Destruction
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
CEquation::CEquation(CThunderDoc *pdoc):pDoc(pdoc)
```

```
CEquation::~CEquation()
```

```
BOOL CEquation::Decision()
```

```
    pDoc->pool.clear();
//initialing of variables
    double    U = pDoc->ds.U;//220
    double    l_a = pDoc->ds.la;//0.07
    double    d_m = pDoc->ds.Lm;//0.00015
    double    l_k = pDoc->ds.lk;//0.08
    double    C_m = pDoc->ds.Cm;//1500
    double    ro_m = pDoc->ds.rm;//1300
    double    e_m = pDoc->ds.em;//6
```

```

double lambda_m = pDoc->ds.lm;//0.17
double gamma0_m = pDoc->ds.Gtm;//0.0105
double A_m = pDoc->ds.Am;//0
double Tm_0 = pDoc->ds.Tm0;//293
double alfa2_km = pDoc->ds.a2km;//0.04 no more available
double alfa2_am = pDoc->ds.a2am;//0.04 no more available
double Ta_0 = pDoc->ds.T0a;//293
double Tk_0 = pDoc->ds.T0k;//293
double T_v = pDoc->ds.Tv;//293
double ro_a = pDoc->ds.rca;//1000
double ro_k = pDoc->ds.rck;//1000
double e1_a = pDoc->ds.eca;//64
double e1_k = pDoc->ds.eck;//64
double C_a = pDoc->ds.Cca;//4190
double C_k = pDoc->ds.Cca;//4190
double lambda_a = pDoc->ds.lca;//0.6
double lambda_k = pDoc->ds.lck;//0.6
double alfa1_a = pDoc->ds.a1a;//0.02
double alfa1_k = pDoc->ds.a1k;//0.02
double gamma0_a = pDoc->ds.G0a;//0.48
double gamma0_k = pDoc->ds.G0k;//0.48
double A2 = pDoc->ds.aa;//0.012
double A1 = pDoc->ds.ak;//0.012
double pHn_a = pDoc->ds.pHn_a;//7
double pHn_k = pDoc->ds.pHn_k;//7
double lambda_h = pDoc->ds.l_h;//31,26*10^13
double lambda_oh = pDoc->ds.l_oh;//17,17*10^13

double h_y = pDoc->ds.hx;//0.00001
double dt = pDoc->ds.dt;//1
double T_kon = pDoc->ds.T_kon;//373
double F = pDoc->ds.F;//96500

```

```
const double Pi = 3.141592653589;
```

```
//Calculation variables
```

```
OutData out;
```

```

double E1 = U/(l_k+l_a*e1_k/e1_a+d_m*e1_k/e_m);
double E2 = (e1_k*U)/(e_m*(l_k+l_a*e1_k/e1_a+d_m*e1_k/e1_a));
double E3 = (e1_k*U)/(e1_a*(l_k+l_a*e1_k/e1_a+d_m*e1_k/e_m));
double C_hnk = pow(10,(3-pHn_k));
double C_hna = pow(10,(3-pHn_a));
double C_ohnk = (pow(10,-14)/pow(10,-pHn_k))*1000;
double C_ohna = (pow(10,-14)/pow(10,-pHn_a))*1000;
double l_e = l_a+l_k+d_m;

long V = l_e/h_y;
long V1 = l_k/h_y; pDoc->V1=V1;
long V2 = (l_k+d_m)/h_y; pDoc->V2=V2;

double **T = new double* [2];
double **gamma_T = new double* [2];
double **Ksi = new double* [2];
double **B = new double* [2];

CString csText; long i; long j; long m; try for (i=0;i<2;i++)
T[i] = new double[(int)V+1]; gamma_T[i] = new double[(int)V+1];
Ksi[i] = new double[(int)V+1]; B[i] = new double[(int)V+1];
ZeroMemory(T[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(gamma_T[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(Ksi[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(B[i],sizeof(double)*(V+1));

double C_ohk[2]; double C_ha[2]; double n_oh[2]; double n_h[2];

double eTk_cr=0;//среднее значение температуры CProgressDlg
PrgDlg; PrgDlg.Create(); PrgDlg.SetCaption("Процесс
расчета..."); i=0;

while(true) i++; out.null(); if(i==1) C_ha[1]= C_hna;
C_ohk[1]= C_ohnk;
n_h[1]=(C_ha[1]*lambda_h)/(C_ha[1]*lambda_h +
C_ohk[1]*lambda_oh);
n_oh[1]=(C_ohk[1]*lambda_oh)/(C_ha[1]*lambda_h +
C_ohk[1]*lambda_oh);

```

```

for(j=1;j<=V;j++) if(j<V1) T[1][j] = Tk_0;
gamma_T[1][j] = gamma0_k + A1*(T[1][j]-293);
else if(j>=V1) && (j<=V2)) T[1][j] = Tm_0;
gamma_T[1][j]= gamma0_m + A_m*(T[1][j]-293);
else if(j>V2) T[1][j] = Ta_0;

gamma_T[1][j] = gamma0_a + A2*(T[1][j]-293); Tk_cr = (Tk_0 +
Ta_0)/2;

if((i-1)%pDoc->iStep == 0) out.dT_cr=Tk_cr;
for(j=1;j<=V;j++) out.T.push_back(T[1][j]);

pDoc->pool.push_back(out);

if(i==1) continue;

csText.Format("Значение времени (сек): %d, Среднее значение
температуры: %0.5f ",i-1,Tk_cr); PrgDlg.SetStatus(csText);
C_ha[0]=C_ha[1]; C_ha[1]=0;

C_ohk[0]=C_ohk[1]; C_ohk[1]=0; n_h[0]=n_h[1]; n_h[1]=0;
n_oh[0]=n_oh[1]; n_oh[1]=0;
memcpy(T[0],T[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(T[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(gamma_T[0],gamma_T[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(gamma_T[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(Ksi[0],Ksi[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(Ksi[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(B[0],B[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(B[1],sizeof(double)*(V+1));

Ksi[1][1] = lambda_k/(alfal_k*h_y+lambda_k);
B[1][1] = T_v*((alfal_k*h_y)/(alfal_k*h_y+lambda_k));
Ksi[1][V] = lambda_a/(alfal_a*h_y+lambda_a);
B[1][V] = T_v*((alfal_a*h_y)/(alfal_a*h_y+lambda_a));

for(j=2;j<=V;j++) if(j<V1) Ksi[1][j] =
1/(2+(C_k*ro_k*h_y*h_y)/(0.5*lambda_k*dt)-Ksi[1][j-1]);

```

```

B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-
1]+T[0][j]*(C_k*ro_k*h_y*h_y)/(0.5*lambda_k*dt)+(h_y*h_y*gamma_T[0]
[j]*E1*E1)/(0.5*lambda_k));/*C_k*ro_k);

```

```

else if(j>=V1)&&(j<=V2)      Ksi[1][j] =
1/(2+(C_m*ro_m*h_y*h_y)/(0.5*lambda_m*dt)-Ksi[1][j-1]);

```

```

B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-
1]+T[0][j]*(C_m*ro_m*h_y*h_y)/(0.5*lambda_m*dt)+(h_y*h_y*gamma_T[
0][j]*E2*E2)/(0.5*lambda_m));/*C_m*ro_m);

```

```

else

```

```

    if(j<V)

```

```

        Ksi[1][j] = 1/(2+(C_a*ro_a*h_y*h_y)/(0.5*lambda_a*dt)-Ksi[1][j-1]);
        B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-
1]+T[0][j]*(C_a*ro_a*h_y*h_y)/(0.5*lambda_a*dt)+(h_y*h_y*gamma_T[0]
[j]*E3*E3)/(0.5*lambda_a));/*C_a*ro_a);

```

```

    else

```

```

        if(j==V)      T[1][j] = (Ksi[1][j]*B[1][j-1]+B[1][j])/(1-Ksi[1][j]*Ksi[1][j-
1]);      gamma_T[1][j] = gamma0_a + A2*(T[1][j]-293)*C_ohk[0]/C_ohnk;
        for(m=(V-1);m>=1;m--)      T[1][m] = Ksi[1][m]*T[1][m+1]+B[1][m];

```

```

    if(m > V2)      gamma_T[1][m] = gamma0_a + A2*(T[1][m]-
93)*C_ohk[0]/C_ohnk;

```

```

    else if((m>=V1) && (m<=V2)) gamma_T[1][m] = gamma0_m +
A_m*(T[1][m]-293);

```

```

    else gamma_T[1][m] = gamma0_k + A1*(T[1][m]-293)*C_ha[0]/C_hna;
    if(PrgDlg.CheckCancelButton())      if(MessageBox(NULL,"Прервать

```

```

    вычисления?", "Прерывание

```

```

    операции",MB_ICONQUESTION|MB_YESNO)==IDYES)

```

```

        delete gamma_T;  delete Ksi;

```

```

        delete B;

```

```

        delete T;

```

```

        pDoc->pool.clear();

```

```

        return FALSE;

```

```

        double SumT1=0, SumT2=0, SumG1=0, SumG2=0;

```

```

        for(m=1;m<=V;m++)

```

```

    if(m<V1)SumT1 += T[1][m];

```

```

    SumG1 += gamma_T[1][m];else if(m>V2)  SumT2 += T[1][m];

```

```

SumG2 += gamma_T[1][m];
double T_a = SumT1/(double)(V1-1);
double T_k = SumT2/(double)(V - V2);
double G_a = SumG1/(double)(V1-1);
double G_k = SumG2/(double)(V - V2);
C_ha[1] = C_ha[0] - 0.001*E3*G_a*n_h[0]*dt/(l_a*F);
C_ohk[1] = C_ohk[0] - 0.001*E1*G_k*n_oh[0]*dt/(l_k*F);
n_h[1] = (C_ha[1]*lambda_h)/(C_ha[1]*lambda_h +
C_ohk[1]*lambda_oh);
n_oh[1] = (C_ohk[1]*lambda_oh)/(C_ha[1]*lambda_h +
C_ohk[1]*lambda_oh);
Tk_cr = (T_a + T_k)/2;
if(Tk_cr > T_kon) break;
    delete []gamma_T;
    delete []Ksi;
    delete []B;
    delete []T;
catch(...)  MessageBox(NULL,"Ошибка при выполнении
расчета!","Глобальная ошибка",MB_ICONERROR); delete []gamma_T;
delete []Ksi;
delete []B; delete []T;
    pDoc->pool.clear();
    return FALSE;
    return TRUE;

```

Расчет электротермохимической коагуляции белков растительных соков

```
// Equation.cpp: implementation of the CEquation class.
```

```
//  
////////////////////////////////////
```

```
#include "stdafx.h"  
#include "Plisa.h"  
#include "Equation.h"  
#include "ProgDlg.h"  
#include "math.h"  
#include "vector"
```

```
#ifdef _DEBUG  
#undef THIS_FILE  
static char THIS_FILE[]= __FILE__;  
#define new DEBUG_NEW  
#endif
```

```
////////////////////////////////////  
// Construction/Destruction  
////////////////////////////////////
```

```
CEquation::CEquation(CPlisaDoc *pdoc):pDoc(pdoc)
```

```
CEquation::~~CEquation()
```

```
BOOL CEquation::Decision()
```

```
//initialing of variables
```

```
double T_o = pDoc->ds.T0;//293  
double pHn_k = pDoc->ds.pHn_k;//4.5  
double pHn_a = pDoc->ds.pHn_a;//9.8  
double F = pDoc->ds.F;//96484  
double k = pDoc->ds.k;//1.380662e-23  
double R = pDoc->ds.R;//8.314  
double e_0 = pDoc->ds.e0;//8.85e-12  
//double e_ca = pDoc->ds.eca;//64
```

```

double e_ck= pDoc->ds.eck;//80
double e = pDoc->ds.e;//1.6e-19
double a = pDoc->ds.A;//e-7
double lambda_h = pDoc->ds.lh;//31.26e13
double lambda_oh = pDoc->ds.loh;//17.17e13
double gamma_tm = pDoc->ds.Gtm;//10.445e-3
double gamma_0k = pDoc->ds.G0k;//0.48
double gamma_0a = pDoc->ds.G0a;//0.3
double alfa_k = pDoc->ds.ak;//1.18e-2
double alfa_a = pDoc->ds.aa;//1.2e-2
double U = pDoc->ds.U;//40
double l_e = pDoc->ds.Le;//0.05
double dV = pDoc->ds.dU;//1.9
double C_ck = pDoc->ds.Cck;//3890
double C_ca = pDoc->ds.Cca;//4000
double ro_ck = pDoc->ds.rck;//1010
double ro_ca = pDoc->ds.rca;//1000
double C_m = pDoc->ds.Cm;//1500
double ro_m = pDoc->ds.rm;//1300
double lambda_ck = pDoc->ds.lck;//0.6
double lambda_ca = pDoc->ds.lca;//0.61
double lambda_m = pDoc->ds.lm;//0.17
double alfa_1k = pDoc->ds.a1k;//0.02
double alfa_1a = pDoc->ds.a1a;//0.02
double l_m = pDoc->ds.Lm;//15e-5
double h_x = pDoc->ds.hx;//5e-5
double dT = pDoc->ds.dt;//1
double n_0 = pDoc->ds.n0;//e9
double z = pDoc->ds.z;//1
double A1 = pDoc->ds.A1;//-0.035
double B1 = pDoc->ds.B1;//0.334
double nu= pDoc->ds.nu;//e-3
double pHk_k= pDoc->ds.pHk_k;//9.8
double n_kh= pDoc->ds.n_kh;//1.0
double n_ah= pDoc->ds.n_ah;//1.0
double n_koh= pDoc->ds.n_koh;//1.0
double n_aoh= pDoc->ds.n_aoh;//1.0

```

```
const double Pi = 3.141592653589;
```

```
//Calculation variables
```

OutData out;

```
double C_hnk = pow(10,(3-pHn_k));
double C_hna = pow(10,(3-pHn_a));
double C_ohnk = (pow(10,-14)/pow(10,-pHn_k))*1000;
double C_ohna = (pow(10,-14)/pow(10,-pHn_a))*1000;
double l_k = (l_e-l_m)/(dV+1)*dV;
double l_a = l_e - l_m - l_k;
long V = l_e/h_x;
long V1 = l_a/h_x; pDoc->V1=V1;
long V2 = (l_a+l_m)/h_x; pDoc->V2=V2;
double r = a/2;
double h = (1-a*exp(log(n_0)/3))/(exp(log(n_0)/3) - 1);
double S = h/a + 2;
```

```
double D_m[2];
double pH_k;
double pH_a;
double X[2];
```

```
double D_ta[2];
double D_tk[2];
double C_ohk[2];
double C_oha[2];
double C_hk[2];
double C_ha[2];
```

```
double n_oh[2];
double n_h[2];
```

```
double **B;
double **E;
double **T;
double **gamma_T;
double **Ksi;
```

```
T = new double* [2]; gamma_T = new double* [2]; Ksi = new double* [2];
```

```
B = new double* [2]; E = new double* [2]; CString csText; long i=0;
long j=0; long m=0;
```

```
for (i=0;i<2;i++) T[i] = new double[(int)V+1];
```

```

gamma_T[i] = new double[(int)V+1];
E[i] = new double[(int)V+1];
Ksi[i] = new double[(int)V+1];
B[i] = new double[(int)V+1];

ZeroMemory(T[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(gamma_T[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(E[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(Ksi[i],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(B[i],sizeof(double)*(V+1));

CProgressDlg  PrgDlg;

PrgDlg.Create();

PrgDlg.SetCaption("Проект пацера...");

try  i=0;  int deep_usage = pDoc->deep_use;
while(true)
    if(deep_usage)
if(X[0] > pDoc->m_X_limit) break;
else
    if(pH_k > pHk_k) break;
i++;
    out.nill();
if(i==1)
pH_k = pHn_k;
pH_a = pHn_a;
D_ta[1] = 0;    D_tk[1] = 0;    X[1] = 0;    D_m[1] = 0;
C_hk[1]= C_hnk;    C_ha[1]= C_hna;    C_ohk[1]= C_ohnk;

```

```

C_oha[1]= C_ohna;
n_h[1]=(C_ha[1]*lambda_h)/(C_ha[1]*lambda_h + C_ohk[1]*lambda_oh);
n_oh[1]=(C_ohk[1]*lambda_oh)/(C_ha[1]*lambda_h + C_ohk[1]*lambda_oh);
double sum=0; for(j=1;j<=V;j++) T[1][j]=T_o;
if(j<V1) gamma_T[1][j] = gamma_0a + alfa_a*(T[1][j]-293);
else if((j>=V1) && (j<=V2)) gamma_T[1][j]= gamma_tm;

else if(j>V2) gamma_T[1][j] = gamma_0k + alfa_k*(T[1][j]-293);
sum += double(h_x/gamma_T[1][j]);
for(j=1;j<=V;j++) E[1][j]=U/(gamma_T[1][j]*sum);

if((i-1)%pDoc->iStep == 0) out.D_m=D_m[1];
out.X=X[1]; out.pH_K=pH_k;

for(j=1;j<=V;j++) out.T.push_back(T[1][j]);

pDoc->pool.push_back(out);

if(i==1) continue;

csText.Format("Значение времени (сек): %d, Значение глубины обработки:
%1.5f",i-1,X[1]); PrgDlg.SetStatus(csText);
C_ha[0]=C_ha[1]; C_ha[1]=0;

C_hk[0]=C_hk[1]; C_hk[1]=0;

C_oha[0]=C_oha[1]; C_oha[1]=0;

C_ohk[0]=C_ohk[1]; C_ohk[1]=0;

n_h[0]=n_h[1]; n_h[1]=0;

n_oh[0]=n_oh[1]; n_oh[1]=0;

D_tk[0]=D_tk[1]; D_tk[1]=0;

D_ta[0]=D_ta[1]; D_ta[1]=0;

D_m[0]=D_m[1]; D_m[1]=0;

X[0]=X[1]; X[1]=0;

memcpy(T[0],T[1],sizeof(double)*(V+1));

```

```

ZeroMemory(T[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(gamma_T[0],gamma_T[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(gamma_T[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(E[0],E[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(E[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(Ksi[0],Ksi[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(Ksi[1],sizeof(double)*(V+1));
memcpy(B[0],B[1],sizeof(double)*(V+1));
ZeroMemory(B[1],sizeof(double)*(V+1));

```

```
Ksi[1][1] = lambda_ca/(alfa_1a*h_x+lambda_ca);
```

```
B[1][1] = T_o*((alfa_1a*h_x)/(alfa_1a*h_x+lambda_ca));
```

```
Ksi[1][V] = lambda_ck/(alfa_1k*h_x+lambda_ck);
```

```
B[1][V] = T_o*((alfa_1k*h_x)/(alfa_1k*h_x+lambda_ck));
```

```
for(j=2;j<=V;j++)
```

```
    if(j<V1)
```

```

Ksi[1][j] = 1/(2+(C_ca*ro_ca*h_x*h_x)/(0.5*lambda_ca*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-1]+T[0][j]*(C_ca*ro_ca*h_x*h_x)/(0.5*lambda_ca*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[0][j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_ca));

```

```
else
```

```
    if(j>=V1)&&(j<=V2))
```

```

Ksi[1][j] = 1/(2+(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-1]+T[0][j]*(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[0][j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_m));

```

```
    else
```

```
        if(j<V)
```

```

Ksi[1][j] = 1/(2+(C_ck*ro_ck*h_x*h_x)/(0.5*lambda_ck*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-1]+T[0][j]*(C_ck*ro_ck*h_x*h_x)/(0.5*lambda_ck*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[0][j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_ck)); else if(j==V)T[1][j] =
(Ksi[1][j]*B[1][j-1]+B[1][j])/(1-Ksi[1][j]*Ksi[1][j-1]);

```

```
    gamma_T[1][j] = gamma_0k + alfa_k*(T[1][j]-293);
```

```
double sum=0;
```

```

for(m=(V-1);m>=1;m--) T[1][m] = Ksi[1][m]*T[1][m+1]+B[1][m];
    if(m > V2) gamma_T[1][m] = gamma_0k + alfa_k*(T[1][m]-293);
    else
    if((m>=V1) && (m<=V2))
gamma_T[1][m] = gamma_tm;
    else
    gamma_T[1][m] = gamma_0a + alfa_a*(T[1][m]-293);
sum += (double)(h_x/gamma_T[1][m]);
for(j=1;j<=V;j++)
E[1][j]=U/(gamma_T[1][j]*sum);
if(PrgDlg.CheckCancelButton())
if(MessageBox(NULL,"Прервать вычисления?", "Прерывание
операции",MB_ICONQUESTION|MB_YESNO)==IDYES)
delete gamma_T; delete E; delete Ksi; delete B; delete T;
pDoc->pool.clear();
return FALSE;
double SumT1=0, SumT2=0,
SumE1=0, SumE2=0, SumG1=0, SumG2=0;
for(m=1;m<=V;m++)
    if(m<V1)
        SumT1 += T[1][m]; SumE1 += E[1][m];
SumG1 += gamma_T[1][m];
    else
        if(m>V2) SumT2 += T[1][m]; SumE2 += E[1][m];
SumG2 += gamma_T[1][m]; double T_A = SumT1/(double)(V1-
1);double T_K = SumT2/(double)(V - V2);
double E_A = SumE1/(double)(V1-1);
double E_K = SumE2/(double)(V - V2);
double G_A = SumG1/(double)(V1-1);
double G_K = SumG2/(double)(V - V2);
D_ta[1] = (G_A*E_A*dT)/(l_a);
D_tk[1] = (G_K*E_K*dT)/(l_k);
n_h[1] = ((C_ha[0]+(D_ta[1]/F))*(n_ah-
n_h[0]))*lambda_h/((C_ha[0]+(D_ta[1]/F))*(n_ah-n_h[0]))*lambda_h +
(C_ohk[0]+(D_ta[1]/F))*(n_koh-n_oh[0]))*lambda_oh); n_oh[1] =
((C_ohk[0]+(D_tk[1]/F))*(n_koh-
n_oh[0]))*lambda_oh/((C_ha[0]+(D_ta[1]/F))*(n_ah-n_h[0]))*lambda_h +
(C_ohk[0]+(D_ta[1]/F))*(n_koh-n_oh[0]))*lambda_oh);
C_hk[1] = C_hk[0] + 0.000001*(D_tk[1]/F)*(n_h[1] - n_kh);
C_ha[1] = C_ha[0] + 0.000001*(D_ta[1]/F)*(n_ah - n_h[1]);

```

```

C_ohk[1] = C_ohk[0] + 0.000001*(D_tk[1]/F)*(n_koh - n_oh[1]);
C_oha[1] = C_oha[0] + 0.000001*(D_ta[1]/F)*(n_oh[1] - n_aoh);
pH_k = -log10(pow(10,-14)/(pow(10,pH_k-14)+0.001*(C_hk[1]-C_hk[0]]));
pH_a = -log10(pow(10,-pH_a)+0.001*(C_ha[1]-C_ha[0]]));
double D = (k*T_K)/(6*Pi*nu*r);
double X_i = sqrt((8*Pi*e*e*n_0*z)/(e_0*e_ck*k*T_K));
double fi=((A1*pH_k+B1)*z*e)/(4*k*T_K);
double th_x = (exp(fi) - exp(-fi))/(exp(fi) + exp(-fi));
X[1] = X[0] + 8*Pi*D*(a/2+h)*exp(-
16*e_0*e_ck*(R*T_K)/(F*F)*th_x*th_x*(a/S)*exp(-X_i*a*(S-2)))*n_0*(1-
X[0])*(1-X[0])*dT;
D_m[1] = D_m[0]+(G_K*E_K*dT)/(l_k);

delete []gamma_T;

delete []E; delete []Ksi; delete []B; delete []T;

catch(...)

MessageBox(NULL, "Ошибка при выполнении расчета!", "Глобальная
ошибка", MB_ICONERROR); delete []gamma_T; delete []E; delete
[]Ksi;

delete []B; delete []T;

pDoc->pool.clear(); return FALSE;

return TRUE;

```

```

//
//
// Программа работы процесса электрохимической обработки
фуражного зерна
//
// Copyright@ Nikolayonok K.M. 2001
//
// Equation.cpp: implementation of the CEquation class.
//
////////////////////////////////////
#include "dada.h.h
#
#include "Sol.h"
#include "Equation.h"
#include "ProgDlg.h"
#include "math.h"

#ifdef _DEBUG

#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[]=__FILE__;
#define new DEBUG_NEW
#endif

////////////////////////////////////
// Construction/Destruction
////////////////////////////////////

CEquation::CEquation()
CEquation::~CEquation()
BOOL CEquation::Decision()
try
    //initial variables
    double    T_o = g_T_o;//20

```

```

double      omega = g_omega;//13
double      m_z = g_m_z;//1
double      U=g_U;//220
double      C_z = g_C_z;//2.15e3
double      C_p = g_C_p;//4.19e3
double      C_m = g_C_m;//1.5e3
double      ro_nz = g_ro_nz;//1250
double      ro_p = g_ro_p;//1000
double      ro_m = g_ro_m;//1300
double      lambda_c = g_lambda_c;//295
double      lambda_m = g_lambda_m;//0.6
double      lambda_e = g_lambda_e;//0.82
double      alfa_1 = g_alfa_1;//0.02
double      W = g_W;//1.4
double      l_m = g_l_m;//2e

ououee     x x g_g_h_x;//.5e-4
double      l = g_l;//0.275
double      m_xp = g_m_xp;//change q_xp = 1
double      F = g_F;//96484
double      lambda_cl = g_lambda_cl;//6.56e13
double      lambda_oh = g_lambda_oh;//17.17e13
double      dT = g_dT;//1
double      pH_nk = g_pH_nk;//7
dodolele_p_p = g_K_pn;//50
double      K_pu = g_K_pu;//85
double      lambda_Na = g_lambda_Na;//34.25e13
double      lambda_H = g_lambda_H;//4.44e13
double      R=g_R;
double      G=g_G;
double      Ks=g_Ks;

double C_ohn = g_C_ohn;

double C_cln;

//Calculation variables

double      m_p;

```

```

double    l_a;
double    l_k;
double    C_c;
double    C_nacl;

double    nu;
double    V;
double    V1;
double    V2;
double    ro_c;
double    t;//tau

double    A1,B1,C1,D1, A2,B2,C2;
double    dSum;

double T_i=0;//_T
double E_i;
double gamma_T_i=0;

//cicle variable

double    **gamma_T;

double    **E;
double    **T;
double    **Ksi;
double***//tttta[i]]
int i,j,k;
CFile cf_pH_k, cf_K_per, cf_T, cf_D_t, cf_D_m, cf_gamma;//files
variable  m_p = W*m_z;

l_a = (l-l_m)/2;    l_k = l_a;    C_c = (W*4.19*1000+C_z)/(W+1);
C_nacl = (m_xp*ro_p*10)/(58.5*W);//m_xp==q_xp

nu = ro_nz/(ro_nz+W*ro_p);

ro_c = ((1+W)*ro_p*ro_nz)/(ro_p+ro_nz*W);

```

```

C_cln = C_nacl*lambda_e;//lambda_e=alfa
V = l/h_x; V1 = l_k/h_x; V2 = (l_k+l_m)/h_x;

//Initialize Progress dialog bar

CProgressDlg PrgDlg; CString csText;
PrgDlg.Create(); PrgDlg.SetCaption("Процесс расчета...");
//Initialize array i=0 old value; i=1 - new value double T_k;
double E_k; double gamma_T_k; double T_a; double E_a; double
gamma_T_a; double pH_k[2]; double K[2]; double C_cl[2];
double C_oh[2]; double D_t[2]; double D_m[2]; double n_oh[2];
double n_cl[2]; double K_per[2]; T = new double* [i]; gamma_T
= new double* [i]; Ksi = new double* [i]; B = new double* [i]; E =
new double* [i]; for (i=0;i<2;i++) T[i] = new double[(int)V+1];
gamma_T[i] = new double[(int)V+1]; E[i] = new double[(int)V+1];
Ksi[i] = new double[(int)V+1]; B[i] = new double[(int)V+1];
//Zero memory arrays ZeroMemory(pH_k,2);
ZeroMemory(K,2); ZeroMemory(C_cl,2);
ZeroMemory(C_oh,2); ZeroMemory(D_t,2);
ZeroMemory(D_m,2);

// ZeroMemory(K_per,2);
ZeroMemory(T[i],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(gamma_T[i],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(E[i],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(Ksi[i],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(B[i],sizeof(double)*((int)V+1));

////

//Opening files
for output arrays
//Create
directory

```

```

        if
!CreateDirectory("D:
\\Out", NULL))
if (GetLastError() != 183) //Error 183 - Директорий уже создан
    sssseBeVox(NULL, "Ошибка создания каталога для выходных
данных", "Файловая ошибка", MB_ICONSTOP);
    return FALSE;    cf_T.Open("D:\\Out\\outfile.1",
CFile::modeCreate|CFile::modeWrite);
cf_T.Seek(8, CFile::begin);
cf_D_t.Open("D:\\Out\\outfile.2", CFile::modeCreate|CFile::modeWrite);
cf_D_m.Open("D:\\Out\\outfile.3", CFile::modeCreate|CFile::modeWrite);
cf_pH_k.Open("D:\\Out\\outfile.4",
CFile::modeCreate|CFile::modeWrite); cf_K_per.Open("D:\\Out\\outfile.5",
CFile::modeCreate|CFile::modeWrite);
cf_gamma.Open("D:\\Out\\outfile.6", CFile::modeCreate|CFile::modeWrite);
//// //Cilcle calculation

    i = 0; while(T_i<60) i++;
csText.Format("Значение i: %d,
Значение Тср: %3.5f", i, T_i);
PrgDlg.SetStatus(csText);

if(i==1) pH_k[1] = pH_nk; D_t[1] = 0; D_m[1] = 0; C_oh[1] = C_ohn;
C_cl[1] = C_cln; K[1] = 0; K_per[1] = K_pn; t=0;
n_oh[1]=(C_oh[1]*lambda_oh)/(C_oh[1]*lambda_oh + C_cl[1]*lambda_cl);
n_cl[1]=(C_cl[1]*lambda_cl)/(C_oh[1]*lambda_oh + C_cl[1]*lambda_cl);
dSum=0;
for(j=1;j<=(int)V;j++)
    // PrgDlg.StepIt(); T[1][j] = T_o;//=T_i;
if((j>=1)&&(j<(int)V1))
    gamma_T[1][j]=((2-2*nu)/(2+nu))*(1.612/W)*((C_cl[1])/C_cln);

```

```

dSum += h_x/gamma_T[1][j]; else
if((j>=(int)V1)&&(j<=(int)V2))
    gamma_T[1][j]= 0.429e-3;
dSum += h_x/gamma_T[1][j]; else
if((j>(int)V2)&&(j<=(int)V))
gamma_T[1][j]=((2-2*nu)/(2+nu))*(1.612/W)*((C_cl[1])/C_cln);
    dSum += h_x/gamma_T[1][j];

for(k=1;k<=(int)V;k++)    E[1][k] = U/(gamma_T[1][k]*dSum);//E(i,j)
equation

for(j=1;j<(int)V;j++)

    if(j==1)

Ksi[1][j] = lambda_c/(alfa_1*h_x+lambda_c);
    B[1][j] = T_o*((alfa_1*h_x)/(alfa_1*h_x+lambda_c)); else

    if(j<(int)V1)

        Ksi[1][j] = 1/(2+(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)-Ksi[1][j-1]);

B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-
1]+T_o*(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[1][j
])*E[1][j]*E[1][j])/(0.5*lambda_c)); else

    if((j>=((int)V1))&&(j<=((int)V2)))

Ksi[1][j] = 1/(2+(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)-Ksi[1][j-1]);

B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-
1]+T_o*(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[
1][j][1][j][1][j]))/(0.5*lambda_m)); Else

if(j<(int)V)

Ksi[1][j] = 1/(2+(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)-Ksi[1][j-1]);

```

```

B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-
1]+T_o*(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[1][j
]*E[1][j]*E[1][j])/(0.5*mbmb_c_c; Else

```

```

if(j==(int)V)

```

```

Ksi[1][j] = lambda_c/(alfa_1*h_x+lambda_c);
B[1][j] = T_o*((alfa_1*h_x)/(alfa_1*h_x+lambda_c));
T[1][j] = (Ksi[1][j]*B[1][j-1]+B[1][j])/(1-Ksi[1][j]*Ksi[1][j-1]);
//The first record

```

```

for(k=1;k<=(int)V;k++)

```

```

cf_T.Write(&T[1][k],8);

```

```

D_m[1]=gamma_T_i=0;          cf_D_t.Write(&D_t[1],8);
cf_D_m.Write(&D_m[1],8);    cf_pH_k.Write(&pH_k[1],8);
        cf_K_per.Write(&K_per,8);
        cf_gamma.Write(&gamma_T_i,8);

```

```

continue; else

```

```

//write array into files

```

```

if((i%g_iSt)=))

```

```

for(k=1;k<=(int)V;k++)

```

```

cf_T.Write(&T[1][k],8);

```

```

cf_D_t.Write(&D_t[1],8); cf_D_m.Write(&D_m[1],8);
cf_pH_k.Write(&pH_k[1],8); cf_K_per.Write(&K_per[1],8);
cf_gamma.Write(&gamma_T_i,8); //redefine arrays (new -> old, new
-> 0) pH_k[0]=pH_k[1]; pH_k[1]=0; K[0]=K[1]; K[1]=0;

```

```

C_cl[0]=C_cl[1]; C_cl[1]=0; C_oh[0]=C_oh[1];
C_oh[1]=0; n_cl[0]=n_cl[1]; n_cl[1]=0; n_oh[0]=n_oh[1];
n_oh[1]=0; D_t[0]=D_t[1]; D_t[1]=0; D_m[0]=D_m[1];
D_m[1]=0; K_per[0]=K_per[1]; K_per[1]=0;
memcpy(T[0],T[1],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(T[1],sizeof(double)*((int)V+1));

```

```

memcpy(gamma_T[0],gamma_T[1],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(gamma_T[1],sizeof(double)*((int)V+1));

memcpy(E[0],E[1],sizeof(double) ((int)V+1));
roromomo(E[E,],size(d(doubl)*((int)V+1));
memcpy(Ksi[0],Ksi[1],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(Ksi[1],sizeof(double)*((int)V+1));
memcpy(B[0],B[1],sizeof(double)*((int)V+1));
ZeroMemory(B[1],sizeof(double)*((int)V+1);    t=t+dT;
//calculation factors

for(j=1;j<=(int)V;j++)

    //    PrgDlg.StepIt();
if(PrgDlg.CheckCancelButton())
    if(MessageBox(NULL,"Данные не будут сохранены! Прервать
вычисление?", "Прерывание
операции",MB_ICONQUESTION|MB_YESNO)==IDYES)

    delete gamma_T; delete E;    delete Ksi; delete B;    delete T;
    cf_pH_k.Close();cf_K_per.Close();
    cf_T.Close();cf_D_t.Close();cf_D_m.Close();
    cf_gamma.Close();
    if(!DeleteFile("D:\\Out\\outfile.1"))
        MessageBox(NULL,"Ошибка удаления файла 1!","Файловая
ошибка",MB_ICONSTOP);
    return FALSE;
    if(!DeleteFile("D:\\Out\\outfile.2"))
        MessageBox(NULL,"Ошибка удаления файла 2!","Файловая
ошибка",MB_ICONSTOP);
    return FALSE;
    if(!DeleteFile("D:\\Out\\outfile.3"))    MessageBox(NULL,"Ошибка
удаления файла 3!","Файловая ошибка",MB_ICONSTOP);
    return FALSE;
    if(!DeleteFile(\\ututuouuile.4"))
        MessageBox(NULL,"Ошибка удаления файла 4!","Файловая
ошибка",MB_ICONSTOP);

```

```

return FALSE;
if(!DeleteFile("D:\\Out\\outfile.5"))  MessageBox(NULL,"Ошибка
удаления файла 5!", "Файловая ошибка"а"В_В_ОНОНОРОП);
return FALSE;
if(!DeleteFile("D:\\Out\\outfile.6"))
MessageBox(NULL, "Ошибка удаления файла 6!", "Файловая
ошибка", MB_ICONSTOP);
return FALSE;
return FALSE;
if(j==1)
Ksi[1][j] = lambda_c/(alfa_1*h_x+lambda_c);
B[1][j] = T_0*((alfa_1*h_x)/(alfa_1*h_x+lambda_c));
else
if(j<(int)V1)
Ksi[1][j] = 1/(2+(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-
1]+T[0][j]*(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)h_h_h_h_gagamma_
T[0][j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_c));
else
if((j>=((int)V1))&&(j<=((int)V2)))
gamma_T[1][j]=0.429e-3*(1+0.0172*(T[1][j]-20)); //Add after correct
Ksi[1][j] =
1/(2+(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j-1]-
2*T[0][j]+T[0][j+1]+T[0][j]*(C_m*ro_m*h_x*h_x)/(0.5*lambda_m*dT)+(h
_x*h_x*gamma_T[0][j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_m));

else
if(j<(int)V)
Ksi[1][j] = 1/(2+(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)-Ksi[1][j-1]);
B[1][j] = Ksi[1][j]*(B[1][j-1]+T[0][j+1]-2*T[0][j]+T[0][j-
1]+T[0][j]*(C_c*ro_c*h_x*h_x)/(0.5*lambda_c*dT)+(h_x*h_x*gamma_T[0]
[j]*E[0][j]*E[0][j])/(0.5*lambda_c));
else
if(j==((int)V)
Ksi[1][((int)V) = lambda_c/(alfa_1*h_x+lambda_c);

```

```

B[1][(int)V] = T_o*((alfa_1*h_x)/(alfa_1*h_x+lambda_c));
T[1][j] = (Ksi[1][j]*B[1][j-1]+B[1][j])/(1-Ksi[1][j]*Ksi[1][j-1]);
gamma_T[1][j] = ((2-
2*nu)/(2+nu))*(1.612/W)*((C_cl[0])/C_cln)*(1+0.0217*(T[1][j]-20));
for(k=((int)V-1);k>=1;k--)

if(k>=1)&&(k<=(int)V1)

T[1][k] = Ksi[1][k]*T[1][k+1]+B[1][k];

gamma_T[1][k] = ((2-
2*nu)/(2+nu))*(1.612/W)*((C_cl[0])/C_cln)*(1+0.0217*(T[1][k]-20));

else
    if k>k>inint)V1)&&(k<=(int)V2)
        T[1][k] = Ksi[1][k]*T[1][k+1]+B[1][k];
        gamma_T[1][k] = 0.429e-3;
else
    if(k>(int)V2)&&(k<=(int)V)
        T[1][k] = Ksi[1][k]*T[1][k+1]+B[1][k];
        gamma_T[1][k] = ((2-
2*nu)/(2+nu))*(1.612/W)*((C_cl[0])/C_cln)*(1+0.0217*(T[1][k]-20));
//main operations A1 = B1 = C1 = D1 = 0;
for(k=1;k<=(int)V;k++)
    A1 += h_x/gamma_T[1][k];
for(k=1;k<=(int)V;k++)
E[1][k] = U/(gamma_T[1][k]*A1);
for(k=1;k<=(int)V1;k++)
B1 += T[1][k]; C1 += gamma_T[1][k]; T_k = B1/(V1-1);
for(k=1;k<=(int)V1;k++) D1 += E[1][k]; E_k = D1/(V1-1);
gamma_T_k = C1/(V1-1); A2 = B2 = C2 = 0;
for(k=((int)V2+1);k<=(int)V;k++)
//Summ by j=V2 to V A2 += T[1][k]; B2 E E[1][k];
C2C2 = gamma_T[1][k];
T_a = A2/(V-V2); E_a = B2/(V-V2); gamma_T_a = C2/(V-V2);
T_i = (T_k+T_a)/2; gamma_T_i = (gamma_T_k+gamma_T_a)/2;
E_i = (E_k+E_a)/2; D_t[1] = (gamma_T_i*E_i*dT)/(l_a*(1-nu));
n_n_[1][1] = =

```

```

C_C_[0][n_n_cl[0]*(D_t[1]/F))*lambda_cl)/((C_oh[0]+n_oh[0]*(D_t[1]/F))*
lambda_oh+(C_cl[0]-n_cl[0]*(D_t[1]/F))*lambda_cl);
n_oh[1] =
((C_oh[0]+n_oh[0]*(D_t[1]/F))*lambda_oh)/((C_oh[0]+n_oh[0]*(D_t[1]/F))
*lambda_oh+(C_cl[0]-n_cl[0]*(D_t[1]/F))*lambda_cl);
C_cl[1] = C_cl[0] - n_cl[0]*(D_t[1]/F);
C_oh[1] = C_oh[0] + n_oh[0]*(D_t[1]/F);
K[1] = K[0]+n_oh[0]*(D_t[1]/F);
double st=0;
for(int k1=0; k1<=((int)pH_nk);k1++)
if(k1==0) st = 1; else st=st/10;
pH_k[1] = 14+log10(st + K[1]);
D_m[1] = D_m[0]+(gamma_T_i*E_i*dT)/(l_a*ro_c*nu);
Kerer[1] = (K_pu-K_per[0])*(1-exp(-(1+(C_oh[1]-
C_oh[0])/C_oh[1])*dT*Ks*exp(-G/(R*(273+T_i)))))+K_per[0];
//end j==V
//end for(j)
//End while i
//write number of i, j & close output arrays files
int iCount,jCount;
iCount = jCount = 0;

iCount = (int)/g_iStep;
jCount=(int)V; cf_T.SeekToBegin(); cf_T.Write(&iCount,4);

cf_T.Write(&jCount,4);

cf_T.Close(); cf_D_t.Close(); cf_D_m.Close(); cf_pH_k.Close();
cf_K_per.Close(); cf_gamma.Close(); //Create project's file

CFile cf;
if(cf.Open("D:\\Out\\outfile.ddt",
CFile::modeCreate|CFile::modeReadWri))))
.W.Write(&T_o,8);
cf.Write(&omega,8);
cf.Write(&m_z,8);
cf.Write(&U,8);

```

```

cf.Write(&C_z,8);
cf.Write(&C_p,8);
cf.Write(&C_m,8);
cf.Write(&ro_nz,8);
cf.Write(&ro_p,8);
cf.Write(&ro_m,8);
cf.Write(&lambda_c,8);
cf.Write(&lambda_m,8);
cf.Write(&lambda_e,8);
cf.Write(&alfa_1,8);
cf.Write(&W,8);
cf.Write(&l_m,8);
cf.Write(&h_x,8);
cf.Write(&l,8);
cf.Write(&m_xp,8);
cf.Write(&F,8);
cf.Write(&lambda_cl,8);
cf.Write(&lambda_oh,8);
cf.Write(&C_ohn,8);    C_cln=0;    cf.Write(&dT,8);
cf.Write(&pH_nk,8);    cf.Write(&K_pn,8);
cf.Write(&K_pu,8);    cf.Write(&lambda_Na,8);
cf.Write(&lambda_H,8);    cf.Write(&R,8);    cf.Write(&G,8);
    cf.Write(&Ks,8);    cf.Close();
//release memory for arrays    delete []gamma_T;    delete []E;
delete []Ks;    delete []B;//beta[i][j]    delete []T;
catch(...)
    MessageBox(NULL,"Ошибка при выполнении
расчета!", "Глобальная ошибка",MB_ICONERROR); //release memory for
arrays
    return FALSE;
return TRUE;

```

Расчет трубчатых электрических нагревателей

// View1.cpp : implementation file

//

#include "stdafx.h"

#include "TubeHeater.h"

#include "View1.h"

#ifdef _DEBUG

#define new DEBUG_NEW

#undef THIS_FILE

static char THIS_FILE[] = __FILE__;

#endif

////////////////////////////////////

// CView1

CString Pril1[3][5]= "Нихром Х20Н80Т", "1100", "0.0000011", "0.000016",
"Нихром Х20Н80Т3", "1200", "0.0000012",
"0.000020",

"Фехраль Х1310Ч", "850", "0.00000125", "0.000015";

const CString Pril1_ex1[4] = "0.0002", "0.00025", "0.0003", "0.00035";

const CString Pril1_ex2[4] = "0.0004", "0.00045", "0.00055", "0.0006";

const CString Pril1_ex3[16]= "0.00085", "0.0009", "0.00095", "0.001",
"0.00105", "0.0011", "0.00115", "0.0012",
"0.00125", "0.0013", "0.00135", "0.0014",
"0.00145", "0.0015", "0.00155", "0.0016";CString Pril2[4][4]="Сталь углеродистая Ст.10", "400", "450", "15",
"Сталь нержавеющая Х18П10Т", "600", "800", "12",
"Латунь Л-62", "400", "400", "40",

"Медь М-3", "250", "250", "90";

const CString Pril2_ex1[4][2] =

"0.010", "0.08", "0.011", "0.09", "0.012", "0.010", "0.013", "0.011";

const CString Pril2_ex2[3][2] = "0.014", "0.012", "0.015", "0.013", "0.016", "0.013";

const CString Pril3[3][4]= "Кварцевый песок", "1700", "1.0", "400",
"Периклаз", "2800", "1.5", "700",

```

"Электрокорунд" , "3000", "1.4", "700";
CString Pril4[5][4]="Вода", "200", "300", "70000",
"Воздух подвижный", "150", "200", "22000",
"Воздух неподвижный", "100", "120", "55000",
"Металлы", "80", "100", "80000",
"Масла, нефть", "40", "60", "3000";
const CString Pril5[9][2]="Вода - нагревание", "70000",
"Растворы щелочей и кислот - нагревание", "70000",
"Растворы щелочей и кислот - кипячение", "110000",
"Воздух, газы - нагрев в спокойной среде", "22000",
"Воздух, газы - нагрев в движущейся среде", "55000",
"Молоко - нагревание", "15000",
"Жиры пищевые - в неподвижной среде", "30000",
"Масла минеральные - в неподвижной среде", "30000",
"Литейные формы - в неподвижной среде", "80000";
IMPLEMENT_DYNCREATE(CView1, CFormView)

```

```

CView1::CView1()
    : CFormView(CView1::IDD)

    //AFX_DATA_INIT(CView1)
    // NOTE: the ClassWizard will add member initialization here
    //AFX_DATA_INIT

```

```

CView1::~~CView1()

```

```

void CView1::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)

```

```

    CFormView::DoDataExchange(pDX);
    //AFX_DATA_MAP(CView1)
    // NOTE: the ClassWizard will add DDX and DDV calls here
    //AFX_DATA_MAP

```

```

BEGIN_MESSAGE_MAP(CView1, CFormView)
    //AFX_MSG_MAP(CView1)
    ON_CBN_SELCHANGE(IDC_COMBO_MS, OnSelchangeComboMs)
    ON_CBN_SELCHANGE(IDC_COMBO_MN, OnSelchangeComboMn)

```

```

    ON_CBN_SELCHANGE(IDC_COMBO_MT, OnSelchangeComboMt)
    ON_CBN_SELCHANGE(IDC_COMBO_NM, OnSelchangeComboNm)
    //AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

```

```

////////////////////////////////////
// CView1 diagnostics

```

```

#ifdef _DEBUG
void CView1::AssertValid() const

```

```

    CFormView::AssertValid();

```

```

void CView1::Dump(CDumpContext& dc) const

```

```

    CFormView::Dump(dc);

```

```

CTubeHeaterDoc* CView1::GetDocument() // non-debug version is inline

```

```

    ASSERT(m_pDocument-
>IsKindOf(RUNTIME_CLASS(CTubeHeater
Doc));    return
(CTubeHeaterDoc*)m_pDocument;

```

```

#endif // _DEBUG

```

```

////////////////////////////////////

```

```

CView1 message handlers
void CView1::OnInitialUpdate()

```

```

    CFormView::OnInitialUpdate();
    GetParentFrame()->RecalcLayout();
    ResizeParentToFit();

```

```

    GetDlgItem(IDC_P)->SetWindowText("1750");
    GetDlgItem(IDC_U)->SetWindowText("220");

```

```

((CSpinButtonCtrl*)GetDlgItem(IDC_SPIN_K))-
>SetRange(2,5); GetDlgItem(IDC_K)-
>SetWindowText("2");

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))-
>AddString(Pril1[0][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))-
>AddString(Pril1[1][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))-
>AddString(Pril1[2][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))-
>SetCurSel(0);

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT))-
>AddString(Pril2[0][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT))-
>AddString(Pril2[1][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT))-
>AddString(Pril2[2][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT))-
>AddString(Pril2[3][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT))-
>SetCurSel(0);

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MN))-
>AddString(Pril3[0][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MN))-
>AddString(Pril3[1][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MN))-
>AddString(Pril3[2][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MN))-
>SetCurSel(1);

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-
>AddString(Pril4[0][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-
>AddString(Pril4[1][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-

```

```

>AddString(Pril4[2][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-
>AddString(Pril4[3][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-
>AddString(Pril4[4][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_NM))-
>SetCurSel(2);

FillForm();

```

```

BOOL CView1::PreTranslateMessage(MSG* pMsg)

```

```

    if (pMsg->message == WM_CHAR) //Контроль за
вводом цифр
        int nVirtKey = (int) pMsg->wParam;
        if(nVirtKey==45 || nVirtKey==46 || nVirtKey==8
|| nVirtKey==101);
        else
        if (nVirtKey < 48 || nVirtKey > 57)
            return TRUE;

    return CFormView::PreTranslateMessage(pMsg);

```

```

void CView1::FillForm()

```

```

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D))-
>ResetContent();
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D1))-
>ResetContent();
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D2))-
>ResetContent();

int cur_sel=0;
cur_sel=((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))->GetCurSel();
GetDlgItem(IDC_R2)->SetWindowText(Pril1[cur_sel][2]);
GetDlgItem(IDC_A)->SetWindowText(Pril1[cur_sel][3]);
((CSpinButtonCtrl*)GetDlgItem(IDC_SPIN_T))-

```

```

>SetRange(0,atoi(Pril1[cur_sel][1])); GetDlgItem(IDC_T)-
>SetWindowText(Pril1[cur_sel][1]);
int i;
switch(cur_sel)

```

```

case 0:

```

```

    for(i=0;i<4;i++)
        ((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D))-
        >AddString(Pril1_ex1[i]);
    break;

```

```

case 1:

```

```

    for(i=0;i<4;i++)
        ((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D))-
        >AddString(Pril1_ex2[i]);
    break;

```

```

case 2:

```

```

    for(i=0;i<16;i++)
        ((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D))-
        >AddString(Pril1_ex3[i]);
    break;

```

```

default: break;

```

```

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D))-
>SetCurSel(cur_sel);cur_sel=((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MT)
)->GetCurSel();switch(cur_sel)

```

```

case 0:

```

```

for(i=0;i<4;i++)

```

```

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D2))->AddString(Pril2_ex1[i][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D1))->AddString(Pril2_ex1[i][1]);

```

```

break;

```

```

case 1:

```

```

for(i=0;i<3;i++)

```

```

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D2))-
>AddString(Pril2_ex2[i][0]);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D1))-
>AddString(Pril2_ex2[i][1]);
break;
default:
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D2))->AddString("");
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D1))->AddString("");
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D2))->SetCurSel(2);
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_D1))->SetCurSel(2);
GetDlgItem(IDC_L2)-
>SetWindowText(Pril2[cur_sel][3]);cur_sel=((CComboBox*)GetDlgItem(IDC
_COMBO_MN))->GetCurSel(); GetDlgItem(IDC_L1)-
>SetWindowText(Pril3[cur_sel][2]);cur_sel=((CComboBox*)GetDlgItem(IDC
_COMBO_NM))->GetCurSel();
((CSpinButtonCtrl*)GetDlgItem(IDC_SPIN_T1))-
>SetRange(atoi(Pril4[cur_sel][1]),atoi(Pril4[cur_sel][2]));
GetDlgItem(IDC_T1)->SetWindowText(Pril4[cur_sel][1]);
void CView1::OnSelchangeComboMs()
FillForm();
void CView1::OnSelchangeComboMn()
FillForm();
void CView1::OnSelchangeComboMt()
FillForm();
void CView1::OnSelchangeComboNm()
FillForm();

BOOL CView1::OnProcess()

CString str;
bool bCheck=TRUE;
GetDlgItem(IDC_P)->GetWindowText(str);
double P=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_U)->GetWindowText(str);
double U=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_R2)->GetWindowText(str);
double R2=atof(str); str.Empty();
GetDlgItem(IDC_A)->GetWindowText(str);

```

```
double A=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_T)->GetWindowText(str);
double T=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_K)->GetWindowText(str);
double K=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_COMBO_D2)->GetWindowText(str);
double D2=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_COMBO_D1)->GetWindowText(str);
double D1=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_L2)->GetWindowText(str);
double L2=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_L1)->GetWindowText(str);
double L1=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
GetDlgItem(IDC_T1)->GetWindowText(str);
double T1=atof(str); if(str.IsEmpty()) bCheck=FALSE; str.Empty();
```

```
if(!bCheck)
```

```
    AfxMessageBox("Заполнены не все поля!!!"); return FALSE;
```

```
double start=atof(Pril_ex1[0]);
double end=atof(Pril_ex3[15]);
double step=0.000001;
double iter=start;
```

```
double _W_p=0;
```

```
double _dp=0;
```

```
double _L=0;
```

```
double _D_p=0;
```

```
double _h=0;
```

```
double _N=0;
```

```
double _I=0;
```

```
GetDocument()-
```

```
>vector_W0.clear();
```

```
GetDocument()-
```

```
>vector_Wb.clear(); while(iter  
<= end)
```

```
//Тепловой расчёт
```

```
double D = iter*10;//начальный расчетный диаметр витка спирали  
  
double K_cn = 1-0.215*(iter/D)*(K-0.6)*(1+2*D/D2);//Коеф. зависящий  
от геометрических размеров спирали double ro_n =  
(1/(2*3.14*L1))*log(D1/(D*K_cn));//термическое сопротивление 1 м  
наполнителя double ro_t = (1/(2*3.14*L2))*log(D2/D1);//термическое  
сопротивление 1 м трубки  
double D_e = exp(log(D1)-6.28*L1*ro_n);//Диаметр эквивалентного  
цилиндрического стержня  
double ro = ro_n + ro_t;  
double ro_y = ro*2.14*D_e;//удельное термическое сопротивление  
ТЭН  
double W_o = T1/ro_y;//Удельная поверхностная мощность  
GetDocument()->vector_W0.push_back(W_o);  
//Электрический расчёт  
double R_t=R2*(1+A*(T-20));//удельное сопротивление материала  
спирали  
double W_b=(4*R_t*pow(P,2))/(pow(3.14, 2)*pow(U,2)*pow(iter,3));  
GetDocument()->vector_Wb.push_back(W_b);  
if( abs(W_o - W_b) <= 300 )  
    _dp = iter; _W_p = W_o; double tmp = (P *  
    pow(U,2))/(4*3.14*R_t*pow(_W_p,2)); _L = pow(tmp,0.3333);  
    _D_p = 10*iter; _h = 3*iter;  
    N = _L/(sqrt(pow((3.14*_D_p),2)+pow(_h,2)));  
    _l = _h*_N;  
    iter+=step;  
double stnd=0.0;  
int cur_sel=0,i;  
cur_sel=((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_COMBO_MS))->GetCurSel();  
switch(cur_sel)  
case 0:  
stnd=atof(Pril1_ex1[3]);  
for(i=3;i>=0;i--)
```

```

    if(_dp<atof(Prill_ex1[i]))
        stnd=atof(Prill_ex1[i]);
    break;
    case 1:
    stnd=atof(Prill_ex2[3]);
    for(i=3;i>=0;i--)
        if(_dp<atof(Prill_ex2[i]))
            stnd=atof(Prill_ex2[i]);
    break;
    case 2:
    stnd=atof(Prill_ex3[15]);
    for(i=15;i>=0;i--)
        if(_dp<atof(Prill_ex3[i]))
            stnd=atof(Prill_ex3[i]);
    break;
    default: break;
    GetDocument()->standart_dp = stnd;
    GetDocument()->D1=D1; GetDocument()->D2=D2; GetDocument()-
    >W_p=_W_p; GetDocument()->dp=_dp; GetDocument()->L=_L;
    GetDocument()->D_p=_D_p; GetDocument()->h=_h;
    GetDocument()->N=_N;
    GetDocument()->I=_I;
    GetDocument()->K=K; return TRUE;
void CView1::NewDocument()
    FillForm(); GetDocument()->OnNewForm(); GetDocument()-
    >vector_W0.clear(); GetDocument()->vector_Wb.clear();

```

Программа расчета электрического ионизатора воздуха

USES

Graph, TPCrt, TpString, TpEdit, Printer;

LABEL M1;

CONST

ClearLine=

Tab1: Array[1..23] of String[78]=

'Вари- Вид животных, | Концентрация | Режим аэронизации в течении
суток',

'ант | птицы | отр.аэроионов',

'1	Телята до 1 мес.	2,0	Ежедневно по 6...8 ч.,
'2	Коровы	2,5	В течение 15...20 дней по 5...8 ч.,
	перерыв на		
			15...20 дней, повтор',
'3	Быки-производи-	3,0	В течение 2 мес. по 8...10 ч.,
	перерыв на		
	тели		20...30 дней, повтор',
'4	Поросята	4,0	В течение 3...4 недель по 0,5 ч. 2
	раза в день,		
			перерыв 1 мес., повтор',
'5	Свины	5,0	В течении 3...4 недель по 0,5 ч. 2
	раза в день,		
			перерыв 1 мес., повтор',
'6	Цыплята	0,25	Возраст 3...20 дней - 1...2 ч., 20...40
	дней -		
			3 ч., 40...60 дней - 4 ч.,
'7	Птица	0,3...1,6	Возраст 60...80 дней от 0,5 до 4 ч.,
	80...100		
			дней от 5 до 10 ч. Чередование: 5
	дней иониза-		
			ции, 5 дней перерыв.',
'8	Бройлеры	0,65	3...18 сутки -0,5 ч., 18...40 сутки - 2
	ч.,		
			40...65 сутки - 3 ч. Три дня
	ионизации,		

```

'      |      |      |      | три дня пауза',
' 9   | Куры-несушки | 1,5...2,5 | Увеличение от 4 до 12 ч.
Чередование: 1 мес.
'      |      |      |      | ионизации, 1 мес. перерыв',
' 10  | Инкубаторы   | 0,13      | Круглосуточно 19 дней);
Ntab1: Array[1..10] of Real=(2E11, 2.5E11, 3E11, 4E11, 5E11, 0.25E11, 1E11,
0.65E11, 2E11, 0.13E11 ); Tabl2: Array[1..10] of String[78]=(
' Вариант |      |      |      | Схема расположения коронирующих электродов',
-----|-----|-----|-----|
' 1   | коаксиальные цилиндры',
-----|-----|-----|-----|
' 2   | провод-плоскость',
-----|-----|-----|-----|
' 3   | провод между плоскостями',
-----|-----|-----|-----|
' 4   | Игла-плоскость',
-----|-----|-----|-----|
);
E=1.6E-19;
Eo=8.85E-12;
K=1.84E-4;
Tay=10;
Kz=1.2;
Nu=0.2
;
fconst=
50;

MaxIlg=4.01E-3;
MaxS=0.101;
VAR
AttrW,AttrM,AttrF,AttrA,x1,y1      : Byte;
Key                                  : Word;
FL                                   : TEXT;
Esc,GoBack                          : Boolean;
St,Sn                                : String[80];
Code,j,V1,V2                        : Integer;
n,Uz,lk,
V,Rs,Rb,Rz,h,Up,i,Ni,Li,Ku,Ipi,Pp,Pu,

```

Ig,P,S,R2H,A,B,U2,F,I2max,D,I2,Uobr,C,Hpic,Cc,
Ipin,Rogr,Rogrdop,Pt : Real;

FUNCTION GiveSn(X:Real) : String;

BEGIN

if Abs(X)<1E-6 then Str(X:10,Sn)

else if Abs(X)<1 then Str(X:10:6,Sn)

else if Abs(X)<1E6 then Str(X:10:1,Sn)

else Str(X:10,Sn);

GiveSn:=Sn;

END;

BEGIN

ClrScr; Window(1,1,80,25); TextColor(0); TextBackGround(0);

Assign(FL,'Printlon.txt');

Rewrite(FL);

AttrF:=\$12;

FrameWindow(1,1,80, 25, AttrF, AttrF, "");

AttrW:=\$2E;

for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);

x1:=25; y1:=10;

for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);

St:='РАСЧЕТ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА';

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Writeln(FL,St);

AttrW:=\$21;

FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую клавишу',y1+5,x1-5,AttrW);

Key:=ReadKeyWord;

AttrW:=\$1F;

for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);

for j:=1 to 23 do FastWrite(Tabl1[j],j+1,2,AttrW);

x1:=20; y1:=25; AttrM:=\$20; AttrW:=\$24;

ReadInteger(' Введите номер варианта:

',y1,x1,3,AttrM,AttrW,1,10,Esc,V1); n:=Ntabl[V1];

FrameWindow(1,1,80, 25, AttrF, AttrF, "");

```

AttrW:=$1F;
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);
for j:=1 to 10 do FastWrite(Tabl2[j],j+1,2,AttrW);
x1:=20; y1:=15; AttrM:=$20; AttrW:=$24;
ReadInteger(' Введите номер варианта:
',y1,x1,4,AttrM,AttrW,1,4,Esc,V2);

Str(V1,Sn);
St:='Номер варианта: '+Sn+'-';
Str(V2,Sn);
St:=St+Sn;
Writeln(FL,St);

AttrW:=$1F;
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);
x1:=5; AttrM:=$1F; AttrW:=$1E;
y1:=3;
ReadReal('Введите объем помещения V, м.куб. ',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1E6,Esc,V);
St:='Объем помещения V='+GiveSn(V)+' м.куб.';
Writeln(FL
,St); y1:=4;
ReadReal('Введите радиус коронирующего электрода r, м ',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1000,Esc,Rs);
St:='Радиус коронирующего электрода r='+GiveSn(Rs)+' м';
Writeln(FL,St);

y1:=5;
case V2 of
1: begin
ReadReal('Введите радиус осадительного электрода R, м ',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1000,Esc,Rb);
St:='Радиус осадительного электрода R='+GiveSn(Rb)+' м';
Writeln(F
L,St); end;
2,3: begin
ReadReal('Введите расстояние h, м',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1000,Esc,h);

```

```

    St:='Расстояние h='+GiveSn(h)+' м';
    Writeln(F
L,St); end;
4: begin
    ReadReal('Введите расстояние h, м',
        y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1000,Esc,h);
    St:='Расстояние h='+GiveSn(h)+' м';
    Writeln(F
L,St);
    y1:=6;
    ReadReal('Введите радиус закругления иглы Rz, м',
        y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1000,Esc,Rz);
    St:='Радиус закругления иглы Rz='+GiveSn(Rz)+' м';
    Writeln(F
L,St); end;
end;
case V2 of
1: Uz:=30.3E5*(1+0.0298/Sqrt(Rs))*(Rs*Ln(Rb/Rs));
2: Uz:=30.3E5*(1+0.0298/Sqrt(Rs))*(Rs*Ln(2*h/Rs));
3: Uz:=30.3E5*(1+0.0298/Sqrt(Rs))*(Rs*Ln(4*h/Rs));
4: Uz:=30.3E5*(1+0.0298/Sqrt(Rs))*(Rz*Ln(h/Rz));
end;
x1:=5; y1:=8; AttrW:=$20;
St:='Напряжение зажигания короны Uz='+GiveSn(Uz);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St); case V2 of

1:    Up:=Uz+( ( (n*E)/(4*Eo) ) *Sqr(Rb) );
2,3,4: Up:=Uz+( ( (n*E)/(4*Eo) ) *Sqr(h) );
end;
x1:=5; y1:=10; AttrW:=$20;
FastWrite('Напряжение, необходимое для создания
требуемой концентрации аэроионов',
        y1,x1,AttrW);
St:='Up='+GiveSn(Up
); y1:=11;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW); Writeln(FL,St);

```

```

case V2 of
1: i:=( 8*Pi*Eo*K*Up*(Up-Uz) ) / ( Sqr(Rb)*Ln(Rb/Rs) );
2: i:=( Sqr(Pi)*Eo*K*Up*(Up-Uz) ) / ( Sqr(h)*Ln(2*h/Rs) );
3: i:=( 4*Pi*Eo*K*Up*(Up-Uz) ) / ( 2*Sqr(h)*Ln(4*h/(Pi*Rs)) );
4: i:=( 1.5*K*Eo*(1+0.042/h)*Up*(Up-Uz) ) / ( h*(1-1.5E-2*Rz) );
end;
if V2=3 then i:=100*i;
x1:=5; y1:=13; AttrW:=$20;
St:='Ток разрядного устройства i='+GiveSn(i);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St); Ni:=i/E; x1:=5; y1:=15; AttrW:=$20; St:='Порок
аэрионов Ni='+GiveSn(Ni); FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Writeln(FL,St);

case V2 of
1,2,3: begin
    Li:=(n*V)/(Ni*Тay);
    St:='Длина разрядной линии
Li='+GiveSn(Li); end;
4: begin
    Ku:=(n*V)/(Ni*Тay);
    St:='Количество разрядных игл
Ku='+GiveSn(Ku); end;
end;
x1:=5; y1:=17; AttrW:=$20;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St); case V2 of

1,2,3: begin
    Ipi:=i*Li;
    St:='Ток разрядной линии
Ipi='+GiveSn(Ipi); end;
4: begin
    Ipi:=Ku*i;
    St:='Ток разрядных игл
Ipi='+GiveSn(Ipi); end;
end;

```

```
x1:=5; y1:=19; AttrW:=$20;  
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);  
Writeln(FL,St);
```

```
Pp:=Kz*Ipi*Up;  
x1:=5; y1:=21; AttrW:=$20;  
St:='Мощность разрядной линии'  
Pp:=''+GiveSn(Pp);  
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);  
Writeln(FL,St);
```

```
Pu:=Pp/Nu;  
x1:=5; y1:=23; AttrW:=$20;  
St:='Мощность источника питания'  
Pu:=''+GiveSn(Pu);  
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);  
Writeln(FL,St);
```

```
x1:=15; y1:=25; AttrW:=$12;  
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую  
клавишу',y1,x1,AttrW);  
Key:=ReadKeyWord;
```

```
ClrScr; Window(1,1,80,25); TextColor(0); TextBackGround(0);  
AttrA:=$13;  
AttrF:=$13;  
FrameWindow(1,1,80, 25, AttrF, AttrF, "");  
AttrW:=$2E;  
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);  
x1:=25; y1:=10;  
St:='РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ';  
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);  
Writeln(FL,St);
```

```
AttrW:=$21;  
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую клавишу',y1+5,x1-  
5,AttrW);
```

```
Key:=ReadKeyWord;
```

```
AttrW:=$1F;
```

```
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);
```

```
x1:=5; AttrM:=$1F; AttrW:=$1E;
```

```
y1:=2;
```

```
repeat
```

```
  ReadReal('Введите допустимое  
    значение тока Ig, A ',  
    y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,100  
    0,Esc,Ig);
```

```
  if Ig>MaxIg then
```

```
    begin
```

```
      FastWrite('Внимание! Ig слишком велико. Для повторного ввода  
        нажмите любую клавишу', y1+1,x1,AttrA);
```

```
      Key:=ReadKeyWord;
```

```
      FastWrite('  
        y1+1,x1,AttrA);
```

```
    end;
```

```
until (Ig<MaxIg);
```

```
St:='Допустимое значение тока Ig'+GiveSn(Ig)+' A ';
```

```
Writeln(FL,St);
```

```
y1:=4;
```

```
ReadReal('Введите число  
    конденсаторов в схеме P ',  
    y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,10  
    00,Esc,P);
```

```
St:='Число конденсаторов в схеме
```

```
P=''+GiveSn(P);
```

```
Writeln(FL,St);
```

```
y1:=6;
```

```
repeat
```

```
  ReadReal('Введите коэффициент  
    пульсации S ',  
    y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,1  
    000,Esc,S);
```

```

if S>MaxS then
begin
  FastWrite('Внимание! S слишком велико. Для повторного ввода
            нажмите любую клавишу', y1+1,x1,AttrA);
  Key:=ReadKeyWord;
  FastWrite('
            y1+1,x1,AttrA);
end;
until (S<MaxS);
St:='Коэффициент пульсации S='+GiveSn(S);
WriteLn(FL,St);

R2H:=Up/Ig;
x1:=5; y1:=8; AttrW:=$20;
St:='Вторичное сопротивление трансформатора с нагрузкой
R2H='+GiveSn(R2H);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
WriteLn(FL,St);

A:=(Pi*Sqr(P)*Ip1*R2H)/(2
*Up); x1:=5; y1:=10;
AttrW:=$20;
St:='Безразмерный
параметр A='+GiveSn(A);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
WriteLn(FL,St);

x1:=15; y1:=24;
AttrW:=$13;
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую
клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

AttrW:=$1F;
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,j,2,AttrW);
x1:=5; y1:=3; AttrM:=$1F; AttrW:=$1E;
ReadReal('По рисунку 4а
определите B и введите ',

```

```

        y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,10
        00,Esc,B);
St:='B='+GiveSn(B)+' (рис.4а)';
Writeln(FL,St);

U2:=B*(Up/p);;
x1:=5; y1:=5; AttrW:=$20;
St:='Напряжение на вторичной обмотке трансформатора
U2='+GiveSn(U2);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St);

x1:=5; y1:=7; AttrM:=$1F; AttrW:=$1E;
ReadReal('По рисунку 4б
определите F и введите ',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,10
00,Esc,F);
St:='F='+GiveSn(F)+' (рис.4б)';
Writeln(FL,St);

I2max:=P*F*Ipi;
x1:=5; y1:=9; AttrW:=$20;
St:='Амплитудное значение вторичного тока на трансформаторе I2max='
+GiveSn(I2max);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St);

x1:=5; y1:=11; AttrM:=$1F; AttrW:=$1E;
ReadReal('По рисунку 5а
определите D и введите ',
y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,10
00,Esc,D);
St:='D='+GiveSn(D)+' (рис.5а)';
Writeln(FL,St);

I2:=((P*Ipi)/Sqrt(2)
)*D; x1:=5; y1:=13;
AttrW:=$20;

```

St:='Действующее знач.тока на вторичн.обмотке
трансформатора I2=' +GiveSn(I2);

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Writeln(FL,St);

Uobr:=(2*Sqrt(2))/

P)*Up*B; x1:=5;

y1:=15;

AttrW:=\$20;

St:='Величина обратного напряжения на вентиле

Uobr=' +GiveSn(Uobr); FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Writeln(FL,St);

case V2 of

1,2,3: C:=(Ipi/(fconst*Up))*2*(p+2)*1E6;

4: C:=(Ipi/(fconst*Up))*2*(p+2)*1E6;

end;

x1:=5; y1:=17; AttrW:=\$20;

St:='Величина емкости конденсатора C=' +GiveSn(C);

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Writeln(FL,St);

x1:=5; y1:=19; AttrM:=\$1F; AttrW:=\$1E;

ReadReal('По рисунку 56

определите H и введите ',

y1,x1,10,AttrM,AttrW,2,0,10

00,Esc,Hpic);

St:='H=' +GiveSn(Hpic)+' (рис.56);

Writeln(FL,St);

Cc:=(50*Hpic)/(2*R2H

*fconst*S); x1:=5;

y1:=21; AttrW:=\$20;

FastWrite('Величина емкости конденсатора по допустимой
величине коэффициента', y1,x1,AttrW);

y1:=22;

St:='пульсации C=' +GiveSn(Cc);

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

```
Writeln(FL, 'Величина емкости конденсатора по допустимой  
величине коэффициента');  
Writeln(FL, St);
```

```
if Cc>C then C:=Cc;  
x1:=30; y1:=23;  
St:='Принимаем C='+GiveSn(C);  
FastWrite(St, y1, x1, AttrW);  
Writeln(FL, St);
```

```
x1:=15; y1:=24; AttrW:=$13;  
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую  
клавишу', y1, x1, AttrW);  
Key:=ReadKeyWord;
```

```
AttrW:=$1F;  
for j:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine, j, 2, AttrW);
```

```
Ipin:=7*Ipi;
```

```
Rogr:=Up/Ipin;  
x1:=5; y1:=3; AttrW:=$20;  
St:='Величина сопротивления Rogr='+GiveSn(Rogr);  
FastWrite(St, y1, x1, AttrW);  
Writeln(FL, St);
```

```
Rogrдоп:=Up/Ig;  
x1:=5; y1:=5; AttrW:=$20;  
St:='Допустимое значение Rogrдоп='+GiveSn(Rogrдоп);  
FastWrite(St, y1, x1, AttrW);  
Writeln(FL, St);
```

```
if Rogr>Rogrдоп then Rogr:=Rogrдоп;  
x1:=5; y1:=7; AttrW:=$20;  
St:='Принимаем Rogr='+GiveSn(Rogr);  
FastWrite(St, y1, x1, AttrW);  
Writeln(FL, St);
```

```
Pt:=Sqr(Up)/Rogr;  
x1:=5; y1:=9; AttrW:=$20;
```

```

St:='Мощность тепловых потерь в ограничивающем резисторе
Pt='+GiveSn(Pt);
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
Writeln(FL,St);

Close(FL);

x1:=2; y1:=13; AttrW:=$4E;
FastWrite('      Работа окончена. Результаты расчета - в файле
PrintIon.txt      ',
          y1,x1,AttrW);
FastWrite(' Для печати на принтере нажмите F5, для окончания
          работы - F10 или Esc(Ключ) ', y1+1,x1,AttrW);
repeat
  Key:=ReadKeyWord;
until (Key=283) or (Key=17408) or (Key=16128);
if ((Key=283) or (Key=17408)) then goto M1;

FastWrite(' Подготовьте принтер к работе, затем
          нажмите любую клавишу.      ',
          y1+4,x1+5,AttrW);
FastWrite('      Для выхода из режима печати
          нажмите F10 или Esc(Ключ)  ',
          y1+5,x1+5,AttrW);
Key:=ReadKeyWord;
if ((Key=283) or (Key=17408)) then goto M1;

Assign(FL,'PrintIon.txt'); Reset(FL); repeat
Readln(FL,St); Writeln(Lst,St);

until Eof(FL);

M1: FastWrite(' *** КОНЕЦ РАБОТЫ С
ПРОГРАММОЙ *** ',y1+7,x1+15,AttrW); Delay(500);

EXIT;

END.

```

Программа расчета индуктора

USES

Graph, TPCrt, TpString, TpEdit;

LABEL M1,M2,M3,M4,M5;

CONST

AttrCase : Byte=\$4E;

ClearLine='

L2: Array[0..9] of Real=(50E-3,60E-3,70E-3,80E-3,90E-3,100E-3,110E-3,120E-3,130E-3,140E-3);

R2: Array[0..9] of Real=(10E-3,15E-3,20E-3,25E-3,30E-3,35E-3,40E-3,0,0,0);

Sigma: Array[0..9] of Real=(0,0,0,0,3E-3,4E-3,5E-3,0,0,0);

B2: Array[0..9] of Real=(0,0,0,0,0,0,30E-3,40E-3,50E-3);

H2: Array[0..9] of Real=(0,0,0,0,0,0,10E-3,15E-3,20E-3);

T2: Array[0..9] of

Real=(1025,1050,1075,1100,1125,1150,1175,1200,1250,12

75);

DeltaT: Array[0..9] of Real=(100,150,100,150,100,150,100,150,100,150);

Ro20: Array[0..9] of Real=(0.10E-5,0.12E-5,0.13E-5,0.14E-5,0.15E-5,0.16E-5,0.17E-5,0.18E-5,0.19E-5,0.20E-5); Xk: Array[0..9] of Real=(2E-3,3E-3,4E-3,5E-3,1.5E-3,2E-3,3E-3,2E-3,4E-3,6E-3);

Alfa=4.5E-3;

Mu=1;

T1=20;

C=668;

PoSt=7860;

W=1;

Kr1=1.3;

Ro1=0.018E-6;

Uu=1000;

R1small=0.02E-6;

NuTr=0.85;

NuN=0.95;

VAR

AttrW,AttrM,AttrF,AttrT,

x1,y1,LenLine,NChoice

```

: Byte; Key
: Word; Esc,GoBack,RegimeN
: Boolean; St,Sh,Sn,Prompt
: String[80]; FL
: TEXT; V,Code,i,j,Wu
: Integer;
Xdata,F,Dn,Dk,Ro2,L1,R1,D2
,DeltaH,K,H1,Za,
TayK,Massa,D2a,Zak,Vzag,P
n,Po,S,D1,B1,Sigma1,Za1,He
2,DeltaB,
Za2,Zae,Fi,He,G,M,EF,Psi,N,
Q,Kx1,R2small,Ro2x,Ro2p,R
o2g,X2m,Xs,Xo,
Cpp,R1u,Rn,Xn,Zn,Iua,Uua,A
l,Iu,Nuu,CosFiu,Pu,Vu,Pk,Pg
,X      : Real;
PROCEDURE ChoiceMenu(
  Var NChoice : Byte; x1,y1,
  NM, LM, AttrC,AttrL: Byte);
VAR j, OldMenuItem :
  Byte;
BEGIN
  GoBack:=False; j:=1; Repeat
    ChangeAttribute(LM,y1+j,x1+1,AttrC);
    Key:=ReadKeyWord; OldMenuItem:=j;
  Case Key of
F1017408: begin
      Window(1,1,80,25); ClrScr;
      FrameWindow(11,11,66, 15, $52, $52, "");
      FastWrite(' РАБОТА С ПРОГРАММОЙ ОКОНЧЕНА.
      ДО СВИДАНИЯ !',13, 15, $0E); Delay(500); Halt;
    end; PgUp18176,
      186
88: j:=1;
^ 19200,

```

```
18432: begin j:=j-1; if j<1 then  
j:=NM end; вниз 20480,
```

```
19712: begin j:=j+1; if j>NM  
then j:=1 end; PgDn 20224,
```

```
20736: j:=NM;
```

```
End;
```

```
ChangeAttribute(LM,y1+OldMenu
```

```
Item,x1+1,AttrL);
```

```
Until (Key=7181) or
```

```
(Key=283); if
```

```
Key=7181 then
```

```
NChoice:=j; if
```

```
Key= 283 then
```

```
GoBack:=True;
```

```
END; PROCEDURE
```

```
IncreaseF; Label M0;
```

```
BEGIN
```

```
x1:=5; y1:=8; AttrW:=$1F; AttrM:=$71; St:=";
```

```
M0: ReadString('Необходимо увеличить частоту в 1.25-1.5 раза. Введите  
коэффициент: ', y1,x1,4,AttrM,AttrW,AttrM,Esc,St);
```

```
Val(St,K,Code);
```

```
if (Code<>0) or ((K>1.5) or (K<1.25)) then goto M0;
```

```
F:=F*K;
```

```
Str(F:7,Sh);
```

```
St:='F='+Sh;
```

```
x1:=20; y1:=9;
```

```
AttrW:=$75;
```

```
FastWrite(St,y
```

```
1,x1,AttrW);
```

```
Writeln(FL,St);
```

```
END;
```

```
PROCEDURE
```

```
SayData; Label
```

```
M1; BEGIN
```

```
M1: AttrW:=$1F; AttrM:=$71; St:=";
```

```
ReadString(Prompt,y1,x1,10,AttrM,AttrW,AttrM,E
```

```

sc,St); Val(St,Xdata,Code); if Code<>0 then goto
M1;
END;

FUNCTION GiveSn(X:Real) : String;
BEGIN
  if Abs(X)<1E-6 then Str(X:10,Sn)
  else if Abs(X)<1 then Str(X:10:6,Sn)
    else if Abs(X)<1E6 then Str(X:10:1,Sn)
    else Str(X:10,Sn);
  GiveSn:=Sn;
END;

BEGIN
  ClrScr; Window(1,1,80,25); TextColor(0);
  TextBackGround(0);
  AttrF:=$01; AttrT:=$1E;
  Assign(FL,'PrintInd.txt'); Rewrite(FL);
  St:='Расчет индуктора и выбор индукционной
  установки';
  FrameWindow(1,1,80, 25, AttrF, AttrT, St);
  Writeln(FL,St);
  for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
  AttrF:=$71; AttrW:=$1F;
  AttrM:=$74; St:=''; x1:=19;
  y1:=7;
  FrameWindow(x1,y1,x1+39, y1+2, AttrF, AttrF, '');
M1: ReadString('Введите номер варианта (от 0 до 9)
',y1+1,x1+1,2,AttrM,AttrW,AttrM,Esc,St);
  Val(St,V,Code); if (Code<>0) or not (V in [0..9]) then goto M1;
  St:='Вариант '+St;
  Writel
n(FL,S
t);
x1:=2
9;
y1:=1
2;

```

```

LenLi
ne:=16
;
AttrW:=$1F; AttrF:=$71; AttrT:=$74;
FrameWindow(x1,y1,x1+LenLine+1,y1
+3,AttrF,AttrT,'Тип обработки');
FastWrite(' Нарев
',y1+1,x1+1,AttrW); FastWrite('
Закалка      ',y1+2,X1+1,AttrW);
FastWrite('Стрелки - выбор; Enter -
исполнение',y1+4,X1-5,AttrF);
ChoiceMenu(NChoice, x1,y1, 2,
LenLine, AttrCase, AttrW ); if
NChoice=1 then RegimeN:=True else
RegimeN:=False;
if GoBack then EXIT;
расчет частоты
M2: for i:=2 to 24 do
FastWrite(ClearLine,i,2,$77); if
RegimeN then
case V of
0..3: begin
Dn:=0.75/Sqr(R2[V])
;
Dk:=3
/Sqr(R2
[V]);
end;
4..6: begin
Ro2:=Ro20[V]*(1+Alfa*(T2[V]-20));
Dn:=2.5E5*Ro2/(R2[V]*Sigma[V]);
Dk:=10E5*Ro2/
(R2[V]*Sigma[V]
); end;
7..9: begin
Ro2:=Ro20[V]*(1+Alfa*(T2[V]-20));

```

```
F:=8.1E12*  
Ro2*Sqr(H2[  
V]); end;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Ro2:=Ro20[V]*(1+Alfa*(T2[V]-20));
```

```
Dn:=3E-2/Sqr(Xk[V]);
```

```
Dk:=25E
```

```
2/Sqr(Xk[V
```

```
]); end;
```

```
if (V<7) or (not RegimeN) then
```

```
begin
```

```
Str(Dn:7,Sh); St:=Sh+'<=F<=';
```

```
Str(Dk:7,Sh);
```

```
St:=St+Sh;
```

```
x1:=20;
```

```
y1:=5;
```

```
AttrW:=$75;
```

```
FastWrite(St,y
```

```
1,x1,AttrW);
```

```
M3: x1:=12; y1:=8; AttrW:=$1F; AttrM:=$71; St:='';
```

```
ReadString('Выберите F из предложенного диапазона:
```

```
',y1,x1,10,AttrM,AttrW,AttrM,Esc,St); Val(St,F,Code); if (Code<>0) or
```

```
((F>Dk) or (F<Dn)) then goto M3;
```

```
if not RegimeN then goto M5;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Str(F:7,Sh);
```

```
St:=F+'+Sh;
```

```
x1:=20;
```

```
y1:=5;
```

```
AttrW:=$75;
```

```
FastWrite(St,y
```

```
1,x1,AttrW);
```

```
end;
```

```

case V of
0..6: begin
    L1:=L2[V
    ];
    D2:=2*R2
    [V];
    if D2<50E-3 then DeltaH:=2E-3 else
    DeltaH:=5E-3; R1:=(D2+DeltaH)/2;
    Str(L1:7,Sh); St:='L1='+Sh+' R1=';
    Str(R1:7,Sh);
    St:=St+Sh;
    x1:=20;
    y1:=10;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y
    l,x1,AttrW);
    if L1<4*R1
    then
        IncreaseF;
    end;
end;

```

```

7..9: begin
    L1:=L2[V];
    if D2<50E-3 then DeltaH:=2E-3 else
    DeltaH:=5E-3; H1:=H2[V]+DeltaH;
    Str(L1:7,Sh); St:='L1='+Sh+' H1=';
    Str(H1:7,Sh);
    St:=St+Sh;
    x1:=20;
    y1:=10;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y
    l,x1,AttrW);
    if L1>4*H1
    then
        IncreaseF;
    end;
end; case
end; case

```

коррекция частоты по
таблице

```
M4: x1:=5; y1:=12; AttrW:=$1F; AttrM:=$71; St:="";
  ReadString('Выберите ближайшую большую частоту из таблиц 9, 10:
  'y1,x1,10,AttrM,AttrW,AttrM,Esc,St); Val(St,K,Code);
  if (Code<>0) or (K<F) then goto M4;
  F:=K;

  if V in [0..6] then
    begin
      проверка правильности выбора частоты
      x1:=5; y1:=15; Prompt:='Выберите Ro2 из таблицы 4: ';
      SayData; Ro2:=Xdata;
      Za:=503*sqrt(Ro2/(Mu*F));
      D2:=2*R2[V];

      K:=D2/(sqrt(2)*Za);

      if (K<2.2) or (K>2.5) then
        begin
          x1:=5; y1:=17; AttrW:=$4F;
          FastWrite(
            ' Частота выбрана неправильно. Для возврата нажмите любую
            клавишу 'y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;
          goto M2;
        end;
    end;

  end;

M5: for i:=2 to 24 do
  FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
  x1:=5; y1:=3; AttrW:=$75;
  FastWrite('Определение мощности и размеров индуктора'y1,x1,AttrW);
  D2:=2*R2[V];
  Zak:=0.5/sqrt(F);
```

```

D2a
:=D
2-
Zak;
case
V of
0..6: if DeltaT[V]=100 then
        TayK:=5.9E4
        *Sqr(D2a)
        else
        TayK:=3.7E4
        *Sqr(D2a);
7..9: if DeltaT[V]=100 then
        TayK:=5.9E4
        *Sqr(Xk[V])
        else
        TayK:=3.7E4
        *Sqr(Xk[V]);
end; case
case V of
0..3:
Vzag:=(Pi*Sqr(D2))/4)*L2[V];
4..6: Vzag:=( (Pi*Sqr(D2))/4 - (Pi*Sqr(D2-2*Sigma[V]))/4 ) *L2[V];
7..9:
Vzag:=B2[V]*H2
[V]*L2[V]; end;
case
Massa:=Vzag*Po
St;

Pn:=Massa*C*(T
2[V]-T1)/TayK;
Str(Pn:7,Sh);
St:='Pn='+Sh;
x1:=20; y1:=4;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x
1,AttrW);

```

```

x1:=5; y1:=6;
AttrW:=$75;
FastWrite('Определение полезной мощности на
поверхности заготовки',y1,x1,AttrW); case V of
0..6: S:=2*Pi*R2[V]*L2[V];
7..9:
S:=L2[V]*
H2[V];
end; case
Po:=Pn/S;
Str(Po:7,Sh);
St:='Po='+Sh; x1:=20;
y1:=7; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

```

```

x1:=5; y1:=9;
AttrW:=$75;
FastWrite('Определение внутренних размеров
индуктора',y1,x1,AttrW); case V of
0..6: begin

```

```

    L1:=L2[V];
    if D2>=50E-3 then DeltaH:=2E-3 else
    DeltaH:=5E-3;
    D1:=D2+DeltaH;
    Str(L1:7,Sh); St:='L1='+Sh+' D1=';
    Str(D1:7,Sh);
    St:=St+Sh;
    x1:=20;
    y1:=10;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y
    1,x1,AttrW);

```

```

end;

```

```

7..9: begin
    L1:=L2[V];
    if (H2[V])>=50E-3 then DeltaH:=2E-3 else
    DeltaH:=5E-3; H1:=H2[V]+DeltaH;

```

```

    if(B2[V]>=50E-3) then DeltaB:=2E-3 else
    DeltaB:=5E-3;
    B1:=B2[V]+DeltaB;
    Str(L1:7,Sh); St:='L1='+Sh+' H1=';
    Str(H1:7,Sh); St:=St+Sh+' B1=';
    Str(D1:7,Sh);
    St:=St+Sh;
    x1:=20;
    y1:=10;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y
    1,x1,AttrW);
    end;
end; case

x1:=5; y1:=12;
AttrW:=$75;
FastWrite('Определение толщины стенки трубки
индуктирующего провода',y1,x1,AttrW); if F<=1E4 then
begin Za1:=0.7/Sqrt(F); Sigma1:=1.6*Za1; end
else Sigma1:=0.6;
Str(Sigma1:7,Sh);
St:='Sigma1='+Sh;
x1:=20; y1:=13;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,A
ttrW); x1:=15;
y1:=20; AttrW:=$70;
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую
клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
x1:=5; y1:=3; AttrW:=$75;
FastWrite('Электрический расчет индуктора',y1,x1,AttrW);
Za1:=0.7/Sqrt(F);
Za2:=503*Sqrt(Ro2/F);
Str(Za1:7,Sh); St:='Za1='+Sh;

```

```

Str(Za2:7,Sh);
St:=St+'  Za2='+Sh;
x1:=5;      y1:=4;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
He2:=3.67E2*Po/Sqrt
(Ro2*F);
Str(He2:7,Sh); St:='He2 * Корень
квадратный из MuE='+Sh; x1:=5;
y1:=5; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
x1:=12; y1:=8; Prompt:='Выберите Zae из
таблицы 5: '; SayData; Zae:=Xdata;
if Ro2>0.18E-6 then
Zae:=Zae*Sqrt(Ro2/0.18E-6);
Str(Zae:7,Sh); St:='После
увеличения Zae='+Sh;
x1:=20; y1:=10; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

for i:=2 to 24 do
FastWrite(ClearLine,i,2,$77); x1:=5;
y1:=3; AttrW:=$75;
FastWrite('Определение активного сопротивления',y1,x1,AttrW);
x1:=12; y1:=5; Prompt:='Выберите Ro2x из таблицы 4 (холодный режим):
';
SayData; Ro2x:=Xdata;
x1:=12; y1:=7; Prompt:='Выберите Ro2p из таблицы 4 (промежуточный
режим): ';
SayData; Ro2p:=Xdata;
x1:=12; y1:=9; Prompt:='Выберите Ro2g из таблицы 4 (горячий режим): ';
SayData;
Ro2g:=Xdata;
ta; case V
of
0..3: R2small:=(8.6*Ro2x*R2[V])/(Zae*L2[V]);
4..6: R2small:=(8.6*Ro2x*R2[V])/(Zae*L2[V]);

```

```

7..9:
R2small:=(2.74*Ro2x*(B2[V]+H2[
V]))/(Zae*L2[V]); end;
Str(R2small:7,Sh); St:='Холодный
режим: R2small='+Sh; x1:=5;
y1:=11; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

x1:=5; y1:=13; AttrW:=$75;
FastWrite('Промежуточный
режим: ',y1,x1,AttrW); if V in
[0..6] then
begin
Str((Xk[V]/Za2):7,Sh);
St:='Xk/Za2='+Sh;
Str(He2:7,Sh); St:=St+' He2 * Корень
квадратный из MuE='+Sh; x1:=5; y1:=14;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
x1:=12; y1:=15; Prompt:='Выберите He из
таблицы 5 ';
SayData; He:=Xdata;
x1:=12; y1:=17; Prompt:='Выберите Fi из
таблицы 7: ';
SayData;
Fi:=Xdata;
end;

case V of
0..3: R2small:=(6.28*Ro2p*R2[V]*Fi)/(Za2*L2[V]);
4..6: R2small:=(6.28*Ro2p*R2[V]*Fi)/(Za2*L2[V]);
7..9:
R2small:=(2*Ro2p*(B2[V]+H2[
V]))/(Za2*L2[V]); end;
Str(R2small:7,Sh);
St:='R2small='+Sh;
x1:=5; y1:=18;
AttrW:=$75;

```

```

FastWrite(St,y1,x1,Attr
W);
x1:=5; y1:=19; AttrW:=$75;
FastWrite('Горячий
режим:',y1,x1,AttrW); case V
of
0..6: begin
    Str((Sqrt(2)*R2[V]/Za2):7,Sh);
    St:='m=Sqrt(2)*R2/Za2='+Sh;
    x1:=5; y1:=20; AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
end;
7..9: begin
    Str((H1/L1):7,Sh); St:='H2/Za2='+Sh;
    Str((B2[V]/H2[V]):7,Sh); St:=St+'
B2/H2='+Sh; x1:=5; y1:=20;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,
y1,x1,AttrW);
end;
end;
case V of
0..3: begin
    x1:=12; y1:=21; Prompt:='Выберите Ф из таблицы 8: ';
    SayData
;
    EF:=Xdat
a; end;
4..6: begin
    x1:=5;
    y1:=21;
    X:=Za2/(R2[V]-Sigma[V]);
    Str(X:7,Sh);
    St:='Za2/(R2-Sigma2)='+Sh;
    X:=2*Sigma[V]/Za2;
    Str(X:7,Sh);

```

```

St:=St+' '+2*Sigma[V]/Za2='+Sh;
FastWrite(St,y1,x1
,AttrW); x1:=12;
y1:=22;
Prompt:='Выберит
е M из рисунка 3:
'; SayData;
M:=Xdata;
end;
7..9: begin
x1:=12; y1:=21; Prompt:='Выберите G
из рисунка 2: '; SayData; G:=Xdata;
end;
end; case
case V of
0..3:
R2small:=(6.28*Ro2g*R2[V]*EF)/(Za2*L2[V]);
4..6:
R2small:=(6.28*Ro2g*R2[V]*M)/(Za2*L2[V]);
7..9:
R2small:=(2*Ro2g*(B2[V]+H2[V]
)*G)/(Za2*L2[V]); end; case
Str(R2small:7,Sh);
St:='R2small='+Sh;
x1:=5; y1:=23;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,Attr
W);

x1:=15; y1:=24;
AttrW:=$70;
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую
клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
x1:=5; y1:=3; AttrW:=$75;
FastWrite('Определение индуктивного
сопротивления',y1,x1,AttrW);

```

```

case V of
0..3: X2m:=(6.28*Ro2x*R2[V])/(Za2*L2[V]);
4..6: X2m:=(6.28*Ro2x*R2[V])/(Za2*L2[V]);
7..9:
X2m:=(2*Ro2x*(B2[V]+H2[
V]))/(Za2*L2[V]); end;
Str(X2m:7,Sh);
St:='Холодный режим:
X2m='+Sh; x1:=5; y1:=5;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

x1:=5; y1:=7; AttrW:=$75;
FastWrite('Промежуточный
режим:',y1,x1,AttrW); case V of
0..3:
X2m:=(6.28*Ro2p*R2[V]*Fi)/(Z
a2*L2[V]);
4..6:
X2m:=(6.28*Ro2p*R2[V]*Fi)/(Z
a2*L2[V]);
7..9:
X2m:=(2*Ro2p*(B2[V]+H2[V]))
/(Za2*L2[V]); end;
Str(X2m:7,Sh);
St:='X2m='+Sh;
x1:=5; y1:=9;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x
1,AttrW);

x1:=5; y1:=11; AttrW:=$75;
FastWrite('Горячий
режим:',y1,x1,AttrW);

case V of
0..6: begin

```

```

    Str((Sqrt(2)*R2[V]/Za2):7,Sh);
    St:='m=Sqrt(2)*R2/Za2='+Sh;
    x1:=5; y1:=13; AttrW:=$75;
    FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
end;
7..9: begin
    Str((H1/L1):7,Sh); St:='H2/Za2='+Sh;
    Str((B2[V]/H2[V]):7,Sh); St:=St+'
    B2/H2='+Sh; x1:=5; y1:=13;
    AttrW:=$75;
    FastWrite(St,
    y1,x1,AttrW);
end;
end; case
case V of
0..3: begin
    x1:=12; y1:=15; Prompt:='Выберите Psi из таблицы 8: ';
    SayData;
    Psi:=Xdata
    ; end;
4..6: begin
    x1:=5;
    y1:=14;
    X:=Za2/(R2[V]-Sigma[V]);
    Str(X:7,Sh);
    St:='Za2/(R2-Sigma2)='+Sh;
    X:=2*Sigma[V]/Za2;
    Str(X:7,Sh);
    St:=St+' '+2*Sigma[V]/Za2='+Sh;
    FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
    x1:=12; y1:=15; Prompt:='Выберите N из рисунка 4: ';
    SayDat
    a;
    N:=Xdat
    a; end;
7..9: begin
    x1:=12; y1:=15; Prompt:='Выберите Q из рисунка 5: ';

```

```

    SayDat
    a;
    Q:=Xdat
    a; end;
end; case
case V of
0..3: X2m:=(6.28*Ro2g*R2[V]*Psi)/(Za2*L2[V]);
4..6: X2m:=(6.28*Ro2g*R2[V]*N)/(Za2*L2[V]);
7..9:
X2m:=(2*Ro2g*(B2[V]+H2[V]
)*Q)/(Za2*L2[V]); end;
Str(R2small:7,Sh);
St:='R2small='+Sh;
x1:=5; y1:=17;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,Attr
W);

x1:=15; y1:=23;
AttrW:=$70;
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую
клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
x1:=5; y1:=3; AttrW:=$75;
FastWrite('Индуктивное сопротивление в зазоре между
индуктором и заготовкой',y1,x1,AttrW); case V of
0..6: Xs:=(24.8E-6*F*(Sqr(R1)-Sqr(R2[V])))/L2[V];
7..9: Xs:=(7.9E-6*F*(B1*H1-
B2[V]*H2[V]))/L2[V]; end;
Str(Xs:7,Sh);
St:='Xs='+Sh;
x1:=5; y1:=5;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1
,x1,AttrW);

```

```

x1:=5; y1:=7;
AttrW:=$75;
FastWrite(Индуктивное сопротивление обратного
замыкания: ',y1,x1,AttrW); !
case V of
0..6: begin Str(((2*R1)/L1):7,Sh); St:='2*R1/L1='+Sh;
end;
7..9: begin
Str((H1/L1):7,Sh); St:='H1/L1='+Sh;
Str((H1/B1):7,Sh); St:='St+'
H1/

B1='+Sh;
end;
end;
x1:=5; y1:=8; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

x1:=12; y1:=9; Prompt:='Выберите Kx1 из рисунка 6:
';
SayData;
Kx1:=Xda
ta; case V
of
0..6: Xo:=(24.8E-6*F*Sqr(R1)*Kx1)/(L1-L2[V]*Kx1);
7..9: Xo:=(7.9E-
6*F*B1*H1*Kx1)/(L1-
L2[V]*Kx1); end;
Str(Xo:7,Sh);
St:='Xo='+Sh;
x1:=5; y1:=11;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1
,x1,AttrW);

Cпр:=1/( Sqr(R2small/Xo)+Sqr(1+(Xs+X2m)/Xo) );
Str(Cпр:7,Sh); St:='Коэффициент
приведения параметров: Cпр='+Sh; x1:=5;
y1:=13; AttrW:=$75;

```

```

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

x1:=15; y1:=23; AttrW:=$70;
FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую
клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,$77);
case V of
0..6: R1u:=(2*Pi*Ro1*(R1+0.5*Za1)*Sqr(W)*Kx1)/(Za1*L1);
7..9: R1u:=(2E-
6*Ro1*(B1+H1)*Sqr(W)*Kx1)/(
Za1*L1); end;
Str(R1u:7,Sh); St:='Определение активного сопротивления
пустого индуктора: R1u='+Sh; x1:=5; y1:=3; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Rn:=R1u+R2small*Cpp*Sqr(W);
Str(Rn:7,Sh); St:='Определение сопротивления
нагруженного индуктора: Rn='+Sh; x1:=5; y1:=5;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Xn:=Cpp*(Xs+X2m+(Sqr(R2small)+Sqr(Xs+X2m))/X
o)*Sqr(W);
Str(Xn:7,Sh); St:='-
индуктивное: Xn='+Sh;
x1:=5; y1:=7; AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Zn:=Sqr(Sqr(Rn)+Sqr(Xn)
);
Str(Zn:7,Sh); St:='- полное:
Zn='+Sh; x1:=5; y1:=9;
AttrW:=$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

x1:=15; y1:=23;
AttrW:=$70;

```

FastWrite('Для продолжения работы нажмите любую клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

for i:=2 to 24 do FastWrite(ClearLine,i,2,\$77);

Iua:=Sqrt(Pn/(R2small*Cpp));

Str(Iua:7,Sh); St:='Ток в одновитковом индукторе: Iua='+Sh; x1:=5; y1:=3;

AttrW:=\$75;

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Uua:=Iua*Zп;

Str(Uua:7,Sh); St:='Напряжение на индуктирующем проводе одновиткового индуктора: Uua='+Sh; x1:=5; y1:=5; AttrW:=\$75;

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Wu:=Round(Uu/Uua);

Str(Wu:4,Sh); St:='Число витков индуктора: Wu='+Sh; x1:=5;

y1:=7; AttrW:=\$75;

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

A1:=L1/Wu;

Str(A1:7,Sh); St:='Диаметр индуктирующего провода:

A1='+Sh; x1:=5; y1:=9;

AttrW:=\$75;

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Iu:=Iua/Wu;

Str(Iu:7,Sh); St:='Ток индуктора: Iu='+Sh;

x1:=5; y1:=11;

AttrW:=\$75;

FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Nuu:=(Rn-R Iu)/Rn;

Str(Nuu:7,Sh); St:='Электрический КПД индуктора: Nuu='+Sh; x1:=5;

y1:=13; AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

CosFiu:=Rn/Zn;
Str(CosFiu:7,Sh); St:='Коэффициент
мощности: CosFiu='+Sh; x1:=5; y1:=15;
AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Pu:=Pn/Nuu;
Str(Pu:7,Sh); St:='Мощность, подводимая
к индуктору: Pu='+Sh; x1:=5; y1:=17;
AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Vu:=Iu/Zn;
Str(Vu:7,Sh); St:='Напряжение на
индукторе: Vu='+Sh; x1:=5;
y1:=19; AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Pk:=Pu*(sin(Fi)/cos(Fi));
Str(Pk:7,Sh); St:='Реактивная мощность
конденсаторной батареи: Pk='+Sh; x1:=5; y1:=21;
AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);

Pg:=Pu/(NuTr*NuN);
Str(Pg:7,Sh); St:='Мощность
генератора: Pg='+Sh; x1:=5;
y1:=23; AttrW:=\$75;
FastWrite(St,y1,x1,AttrW);
x1:=7; y1:=24; AttrW:=\$0E;
FastWrite('Расчет закончен. По мощности Pg и частоте F выберите из
таблиц 9, 10 ',y1,x1,AttrW); x1:=7; y1:=25; AttrW:=\$0E;
FastWrite('индукционную установку. Для выхода из программы
нажмите любую клавишу',y1,x1,AttrW); Key:=ReadKeyWord;

END.

Научное издание

Зяц Евгений Михайлович
Николаенок Михаил Максимович

**МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ
РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭВМ**

Монография

Ответственный за выпуск А.П. Аношко

Технический редактор Р.И. Кустова

Подписано в печать 8.04.03. Бумага офсетная.
Формат 60x84/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл.печ. л.9,5. Уч.-изд. л. 9,7. Тираж 40 экз. Зак. 1170.

Издано на УП «Технопринт», ЛВ № 380 от 28.04.99
Отпечатано в типографии УП «Технопринт»
ЛП № 203 от 26.01.03
220027, Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп.14, оф.317,
тел./факс 231-86-93