

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов учреждений
высшего образования по специальности*

*1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям)»*

Минск
БГАТУ
2020

УДК 621.31(07)
ББК 22.33я7
Э45

Составители:

кандидат технических наук, доцент *В. С. Корко*,
доктор технических наук, профессор *Е. М. Заяц*,
кандидат технических наук, доцент *И. Б. Дубодел*

Рецензенты:

кафедра энергоэффективных технологий
УО «Международный государственный экологический институт
им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета
(кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой *В. А. Пашинский*);
кандидат технических наук, доцент, заместитель директора
по научной работе РНПУП «Институт энергетики
Национальной академии наук Беларуси» *Н. Е. Шевчик*

Электротехнологическое оборудование. Лабораторный практикум :
Э45 учебно-методическое пособие / составители: В. С. Корко, Е. М. Заяц,
И. Б. Дубодел. – Минск : БГАТУ, 2020 – 188 с.
ISBN 978-985-25-0065-4.

Включает 18 лабораторных работ по дисциплинам «Светотехника и электротехнологии», «Электротехнологическое оборудование».

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям)».

УДК 621.31(07)
ББК 22.33я7

ISBN 978-985-25-0065-4

© БГАТУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Исследование электродных водонагревателей.....	6
2. Исследование электродкотельных.....	16
3. Исследование элементных нагревателей.....	26
4. Исследование элементных водонагревателей.....	35
5. Исследование электрокалориферных установок.....	43
6. Исследование установок локального и комбинированного электрообогрева.....	54
7. Исследование электросварочных установок.....	61
8. Исследование установок индукционного нагрева.....	74
9. Исследование установок конденсаторного нагрева.....	86
10. Исследование установок термоэлектрического нагрева и охлаждения.....	96
11. Исследование генераторов импульсов электрических изгоростей.....	105
12. Исследование электрических сепараторов смесей.....	115
13. Исследование установок электрофльтрации и ионизации воздуха.....	126
14. Исследование ультразвуковых установок.....	140
15. Исследование установок магнитной обработки материалов.....	152
16. Исследование электролизных установок.....	163
17. Исследование установок электрохимической обработки водных растворов.....	171
18. Исследование установок электротермохимической обработки кормовых материалов.....	178
Список рекомендуемой литературы.....	186

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении электротехнологических процессов энергию электромагнитного поля (ЭМП) используют для воздействия на обрабатываемый материал непосредственно или с одновременным преобразованием в другие виды энергии (тепловую, химическую, оптическую, механическую) для получения определенного технологического эффекта.

В соответствии с технологическими действиями на обрабатываемый материал электротехнологические процессы и оборудование подразделяют на электротермические, электрохимические и электрофизические.

Электротехнологическое оборудование классифицируют по виду действия ЭМП на среды, по роду тока, по величине напряжения и другим, менее значимым признакам. По виду действия поля на среды различают установки электротермические, электрохимические, электрокинетические, электромеханические и светотехнические.

Электротермические установки, в свою очередь, разделены на установки прямого и косвенного преобразования электрической энергии в теплоту. К первым отнесены установки, в основе работы которых лежит закон Джоуля – Ленца (элементные, электроконтактные, электродуговые, индукционные, диэлектрические), ко вторым относят установки термоэлектрического нагрева и охлаждения.

К электрохимическим относят электролизные, установки электрохимической обработки металлов, воды и растворов, электрокоагуляторы, электрофлотаторы, а также химические источники тока – аккумуляторы.

Электрокинетические установки, основанные на действии сил электрического поля на заряженные частицы, включают электрические фильтры газов, сепараторы семян и смесей, аэрозольные установки, опреснители воды и др.

К электромеханическим установкам относят электроимпульсные, ультразвуковые и установки магнитной обработки материалов, основанные на механическом действии ЭМП. В эту группу также включены и установки с преимущественно тепловым действием – электроэрозионные и импульсной обработки растительного сырья, поскольку объединяющими признаками явились

импульсная форма электроэнергии и единый принцип формирования импульсов.

По роду тока установки могут быть постоянного, переменного и импульсного тока. При этом частота может быть от промышленной до оптического диапазона, например инфракрасные излучатели. По величине напряжения, используемого в электротехнологических процессах, ограничений практически нет: от нескольких вольт (в установках электроконтактной сварки) до нескольких десятков тысяч вольт (в электрофильтрах, ионизаторах, сепараторах смесей).

Овладение основами электротехнологии требует не только глубоких теоретических знаний, но и приобретения умений по исследованию электротехнологических установок, их наладке, рациональному использованию и обслуживанию.

Цель лабораторного практикума – изучение устройства, принципов работы и исследование режимов работы электротехнологического оборудования, способов управления электротехнологическими установками, особенностей их эксплуатации.

Задачи по достижению целей: формирование и закрепление представлений о принципах работы электротехнологических установок; изучение устройства, способов регулирования режимов работы; исследование технических и энергетических характеристик электротехнологических установок; расширение знаний студентов о технологических действиях ЭМП и областях их использования в сельскохозяйственном производстве.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить физическую сущность электродного нагрева, устройство, принцип действия, исследовать режимы работы и способы регулирования мощности электродных водонагревателей, методы измерения и коррекции удельного сопротивления воды.

Задачи работы:

1. Изучить физические основы, области применения электродного нагрева.
2. Изучить устройство, принцип действия и способы регулирования мощности электродных водонагревателей КЭВ и ЭПЗ.
3. Определить геометрический коэффициент электродной системы и пределы регулирования мощности электродного водогрейного котла КЭВ.
4. Измерить удельное сопротивление воды в диапазоне 15...100 °С, математически описать его температурную зависимость.
5. Рассчитать массу дистиллированной воды или соли, необходимую для коррекции измеренного удельного сопротивления воды до величины, указанной в паспорте электродного водонагревателя.

Общие сведения

Электродный способ используют для нагрева воды или обработки многих материалов: пастеризация молока, обеззараживание почвы, прогрев бетона, электрохимическая обработка кормовых материалов, электрокоагуляция белков, получение водных дезинфицирующих растворов и др. Электрическая энергия преобразуется в теплоту при протекании электрического тока через проводящую среду, находящуюся между токопроводящими электродами.

Электродные водонагреватели и парогенераторы классифицируют: по технологическому назначению (водонагреватели, парогенераторы); по рабочему напряжению (низковольтные – 0,4 кВ, высоковольтные – 6, 10 кВ); по форме электродов (пластинчатые, цилиндрические и др.); по способу регулирования мощности (изменением активной поверхности рабочих электродов, изменением межэлектродного расстояния и др.); по виду привода регулятора

мощности (ручной, электрический); по максимальному рабочему давлению (0,6 МПа для низковольтных и 1,0...1,5 МПа для высоковольтных).

Электродный водонагреватель представляет собой металлический бак цилиндрической формы, внутри которого установлены электроды для подвода тока к воде и электроды или диэлектрические вставки для регулирования мощности. Металлический корпус может иметь теплоизоляцию или быть не теплоизолированным. Принципиально водонагреватели различаются между собой типами электродных систем, в остальном схожи.

Электродная система – совокупность электродов, определенным образом связанных между собой и предназначенных для подвода тока к нагреваемому материалу. Основными характеристиками электродных систем являются: число фаз, форма, размеры, электрическая схема соединения и материал электродов, геометрический коэффициент и сопротивление электродной системы.

Наибольшее распространение получили плоские, цилиндрические, коаксиальные и стержневые электроды (табл. 1.1). Возможны различные вариации и сочетания этих геометрически простых форм, создающих достаточно низкое гидравлическое сопротивление и равномерное электрическое поле.

Низковольтные водонагреватели выпускают мощностью от 10 до 1000 кВт, максимальное давление 0,6...1,0 МПа, температура воды на входе – 70 °С, на выходе – 95 °С и в отдельных случаях – 130 °С. Они рассчитаны на удельное сопротивление воды от 5 до 170 Ом·м.

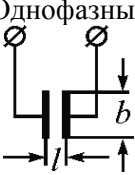
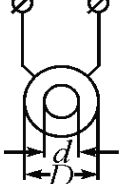
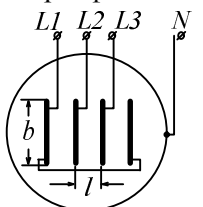
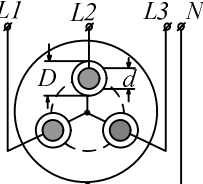
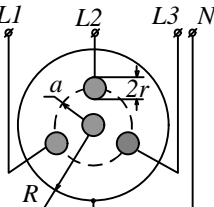
Мощность водонагревателя:

$$P = n \frac{U^2}{R_t} = n \frac{U^2 h}{\rho_{cp} K}, \quad (1.1)$$

где n – число фаз (или фазовых ветвей); U – напряжение на электродах, В; R_t – сопротивление одной фазы, Ом; h – высота электрода, м; ρ_{cp} – среднее значение удельного сопротивления воды между электродами в диапазоне температур нагрева, Ом·м; K – геометрический коэффициент электродной системы.

Таблица 1.1

Некоторые типы электродных систем нагревателей

№ п.п.	Схемы электродных систем	Электрическая схема соединения	Геометрический коэффициент
1	<p>Однофазные</p> 	-	$K = \frac{l}{b},$ <p>где l – расстояние между электродами; b – ширина электрода;</p>
2		-	$K = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{d},$ <p>где d, D – диаметры внутреннего и наружного электродов;</p>
3	<p>Трехфазные</p> 	Δ/Y	$K = \frac{l}{(n-1)b},$ <p>где n – число пластин;</p>
4		Y	$K = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{d};$
5		Y – Δ	$K = \frac{1}{6\pi} \ln \frac{3a^2(R^2 - a^2)^3}{r^2(R^6 - a^6)},$ <p>где R – радиус бака; a – радиус окружности расположения центров стержней; r – радиус стержня</p>

Как следует из уравнения (1.1), мощность водонагревателя можно регулировать изменением напряжения на электродах или сопротивления электродной системы.

Электродный водогрейный котел КЭВ на номинальное напряжение 0,4 кВ выпускают в двух исполнениях: с цилиндрическими электродами для воды, имеющей при температуре 20 °С удельное сопротивление ниже 10 Ом·м, и с пластинчатыми – для воды, у которой удельное сопротивление выше 10 Ом·м.

Для регулирования мощности в водонагревателе КЭВ с плоскопараллельной электродной системой (рис. 1.1) между электродами размещают подвижные диэлектрические пластины 2. Перемещая их механизм 11, изменяют рабочую высоту фазных электродов 4 и, следовательно, мощность по формуле (1.1), и температуру воды.

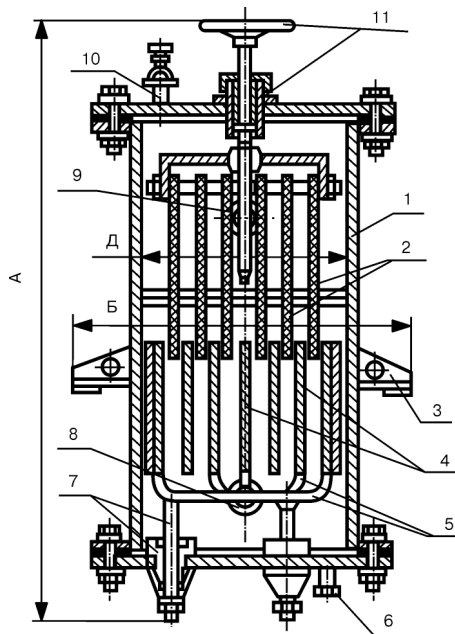


Рис. 1.1. Электродный водогрейный котел КЭВ–100/0,4:

- 1 – корпус; 2 – пластины диэлектрические; 3 – опоры; 4 – фазные электроды;
- 5 – перемычки; 6 – пробка слива; 7 – узел токоподвода;
- 8, 9 – входное и выходное отверстия для воды; 10 – патрубок для выпуска воздуха;
- 11 – механизм перемещения диэлектрических пластин;
- А – высота; Б – ширина; Д – внутренний диаметр котла

Электродные водонагреватели ЭПЗ имеют два исполнения, различающиеся приводом механизма регулирования мощности (И2 – ручной привод; И3 – электродвигательный привод) и формой электродов. Например, водонагреватель ЭПЗ–100 И3 имеет секторную электродную систему и мощность регулируют изменением площади активной поверхности регулирующих электродов путем их вращения электроприводным исполнительным механизмом вокруг вала. При изменении угла поворота от 0 до 60° мощность водонагревателя возрастает от 25 до 100 %.

Электропроводность воды зависит от ее химического состава и температуры. Температурная характеристика удельной проводимости воды имеет вид, общий для проводников с ионной проводимостью:

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (1.2)$$

где γ_t , γ_{20} – удельная проводимость соответственно при температуре t и при $t=20^\circ\text{C}$, $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$; α – температурный коэффициент проводимости, $^\circ\text{C}^{-1}$.

Удельное сопротивление воды определяют по выражению

$$\rho_t = \frac{40\rho_{20}}{t + 20}, \quad (1.3)$$

полученному из формулы (1.3), приняв $\alpha = 0,025^\circ\text{C}^{-1}$; $\rho_{20} = 1/\gamma_{20}$.

Удельное сопротивление воды лежит в диапазоне от 5 до 250 Ом·м, наиболее часто встречающееся значение ρ_{20} находится в пределах 10...40 Ом·м. Зависимость (1.3) справедлива до наступления заметного парообразования, при котором сопротивление воды возрастает.

Удельное сопротивление пароводяной смеси:

$$\rho_{\text{см}} = \rho_{\text{в}} a e^{\beta j}, \quad (1.4)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – удельное сопротивление воды без заметного парообразования (при температуре 75...85°С); $a = 0,925$ – постоянная

величина; $\beta \approx 15 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{А}$ – величина, зависящая от давления в парогенераторе; j – плотность тока на электродах, $\text{А}/\text{м}^2$.

Перед вводом водонагревателя в эксплуатацию необходимо измерить удельное сопротивление воды и при необходимости внести коррекцию в сторону его увеличения путем добавления соли (глауберовой, поваренной, сульфата натрия, тринатрийфосфата), соды (например, кальцинированной) или уменьшения добавлением дистиллята.

Количество соли, добавляемой в воду, $\text{г}/\text{м}^3$:

$$m_c = 150 \left(\frac{I_H}{I_\Phi} - 1 \right); \quad (1.5)$$

количество дистиллята, $\text{л}/\text{м}^3$:

$$m_D = 1000 \left(1 - \frac{I_H}{I_\Phi} \right), \quad (1.6)$$

где I_H , I_Φ – номинальный и фактический фазные токи, А .

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки и конструктивная схема электродной измерительной ячейки представлены на рис. 1.2.

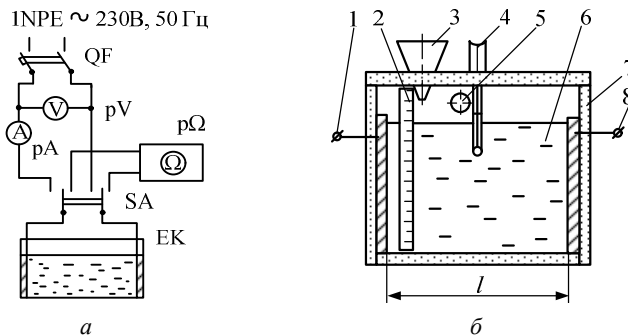


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки (а) и конструктивная схема измерительной ячейки (б):

- 1, 8 – токоподвод к электродам; 2 – измерительная линейка; 3 – воронка; 4 – датчик температуры; 5 – отверстие для слива воды; 6 – вода; 7 – корпус

Для определения постоянной ячейки используют жидкость (фиксанал), проводимость которой хорошо известна. В качестве фиксанала чаще всего используют 0,1N раствор KCl.

Постоянная ячейки:

$$k = \frac{R_{\text{KCl}}}{\rho_{\text{KCl}}}, \quad (1.7)$$

где R_{KCl} – сопротивление измерительной ячейки, заполненной 0,1N раствором KCl при определенной температуре, например, 20 °С, Ом; ρ_{KCl} – удельное электрическое сопротивление 0,1N раствора KCl при той же температуре, Ом·м.

Для плоских параллельных электродов (рис. 1.3)

$$k = \frac{l}{S},$$

где l – межэлектродное расстояние, м; S – площадь поверхности электрода, м².

Удельное сопротивление при измерении мостом вычисляется по формуле

$$\rho_m = \frac{R}{k}, \quad (1.8)$$

а амперметром и вольтметром по выражению

$$\rho_{\text{AB}} = \frac{U}{I k}, \quad (1.9)$$

где U – напряжение, приложенное к электродам ячейки, В; I – сила тока между электродами, А.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить

сущность электродного нагрева, устройство и принцип действия электродных водонагревателей, способы регулирования их мощности и коррекции удельного сопротивления воды по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Схемы электродных систем, устройство, принцип действия электродных водонагревателей КЭВ и ЭПЗ, изучить по рис. 1.1, 1.2 и натурным образцам.

2. Измерить и начертить электродную систему котла КЭВ, рассчитать геометрический коэффициент. Определить степень перекрытия электродов диэлектрическими вставками и рассчитать пределы регулирования мощности водонагревателя КЭВ-100/0,4.

3. Определить удельное сопротивление водопроводной воды с пятикратной повторностью, используя экспериментальную установку (рис. 1.3, а), состоящую из измерительной ячейки (рис. 1.3, б), моста переменного тока $p\Omega$, приборов измерения тока pA , напряжения pV и температуры.

4. Определить постоянную измерительной ячейки. Для этого ячейку заполнить фиксалялом, мостом измерить ее сопротивление и по формуле (1.7) рассчитать k .

Температурная зависимость удельной проводимости 0,1Н раствора KCl приведена на рис. 1.3.

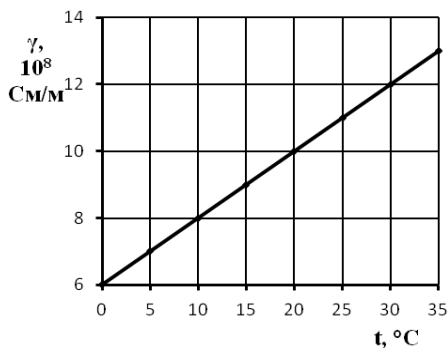


Рис. 1.3. Температурная зависимость удельной проводимости 0,1Н раствора KCl

5. Измерительную ячейку промыть, а потом заполнить водой из водопровода до уровня сливного отверстия. Мостом измерить сопротивление, а термометром – температуру воды. Далее переключателем SA ячейку подключить к сетевому напряжению и измерить силу тока и напряжение в цепи. Показания измерительных электрических приборов и термометра записать в табл. 1.2.

После нагрева воды на каждые 5...10 °С записать показания приборов, напряжение отключить, а выводы от электродов ячейки переключить на мост и измерить сопротивление.

Поочередные подключения ячейки к сети и к мосту продолжать до тех пор, пока температура воды не достигнет примерно 100 °С.

Таблица 1.2

Определение удельного сопротивления воды

Измерено				Вычислено		
$t, ^\circ\text{C}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$R_M, \text{Ом}$	$\rho_M, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\rho_{AB}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\rho_t, \text{Ом}\cdot\text{м}$

По результатам измерений (табл. 1.2) и по формулам (1.8), (1.9) вычислить удельное сопротивление воды.

Температурную характеристику удельного сопротивления воды рассчитать по формуле (1.3), приняв значение ρ_{20} из табл. 1.2.

По результатам измерений (табл. 1.2) и вычислений построить графические зависимости $\rho_M, \rho_{AB}, \rho_t$ от температуры воды.

6. Определить массу добавок соли или дистиллята в измерительной ячейке, необходимые для уменьшения или увеличения удельного сопротивления воды до значения, соответствующего номинальному сопротивлению воды в электродном нагревателе, например 30...50 Ом·м. Записать данные в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Зависимость удельного сопротивления воды от концентрации добавок

Измерено			Вычислено
$M_d, \text{г}$	$V_v, \text{м}^3$	$\rho_M, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$m_d, \text{г}/\text{м}^3$

В табл. 1.3: M_d , m_d – масса и концентрация соли или дистиллята; V_B – объем воды в измерительной ячейке.

По результатам табл. 1.3 построить графическую зависимость $\rho_M(m_d)$, по которой найти необходимую концентрацию добавки для получения требуемого удельного сопротивления воды.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Принципиальные схемы электродных систем и схема устройства электродного котла КЭВ.
3. Принципиальная схема экспериментальной установки, таблицы результатов измерений удельного сопротивления воды (табл. 1.2 и 1.3), графические зависимости удельного сопротивления воды от температуры и концентрации соли или дистиллята.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит физическая сущность электродного нагрева?
2. Какие основные принципиальные схемы электродных систем водонагревателей вы знаете?
3. Каковы области применения электродных водонагревателей?
4. Как устроен электродный котел КЭВ и каков его принцип действия?
5. Как устроен электродный водонагреватель ЭПЗ? Опишите его принцип действия.
6. Какие есть основные способы регулирования мощности электродных водонагревателей и температуры нагрева воды?
7. Какие используют методы измерения и коррекции величины удельного сопротивления воды?

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЕЛЬНЫХ

Цель работы: изучить устройство, режимы работы электрокотельных в системах теплоснабжения, исследовать схему включения и особенности работы электродного водонагревателя в отопительной системе.

Задачи работы:

1. Изучить принципиальную теплотехническую схему электрокотельной с аккумулярованием теплоты, режимы работы электрокотельных в системах теплоснабжения.

2. Изучить устройство, характеристики, работу схемы управления комплектов оборудования для горячего водоснабжения КОГВ–1000/25 и КОГВ–2500/63.

3. Изучить схему включения электродного водонагревателя по замкнутому контуру, исследовать влияние температуры воды на мощность водонагревателя. Определить КПД системы «водонагреватель – теплообменник» и расход энергии на нагрев воды.

4. Установить влияние неполнофазных режимов питания водонагревателя на «вынос» напряжения на трубопроводы.

5. Изучить методику загрузки программы α -контроллера и автоматического управления работой электродного водонагревателя в системе отопления.

Общие сведения

Электрические котельные применяют для централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения сельскохозяйственных объектов, главным образом животноводческих ферм.

Производственные и служебные помещения, объем которых не превышает 3000 м³, можно отапливать электрическими водонагревателями.

Теплогенерирующими установками электрокотельных служат преимущественно электродные водонагреватели и реже парогенераторы и элементные водонагреватели. Они могут быть встроены в животноводческие помещения или установлены в специальных зданиях.

В зависимости от режима электропотребления котельные могут быть аккумуляционными и работающими по свободному графику.

Преимущество первых в использовании «провалов» в графике нагрузки энергосистемы в ночное и дневное время и тем самым их выравнивание. Они позволяют равномерно нагружать сельские электросети и не требуют значительных расходов на их реконструкцию.

Безаккумуляционные установки, включаемые по свободному графику, нуждаются в достаточных генерирующих мощностях и пропускной способности электрических сетей и подстанций, не способствуют выравниванию графика нагрузки энергосистемы, однако исключают дополнительные затраты на аккумуляционные устройства и потери энергии в них.

Теплотехническая схема электродотельной с аккумулярованием теплоты на базе электродных водонагревателей (рис. 2.1), положенная в основу типовых проектов, содержит три контура.

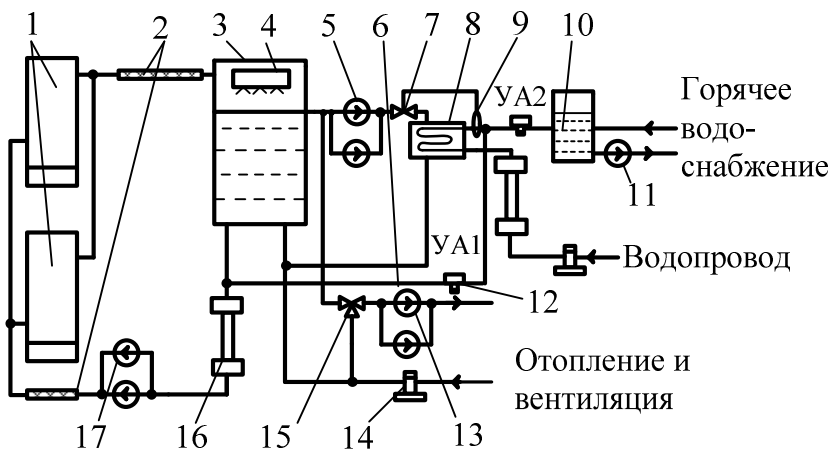


Рис. 2.1. Принципиальная теплотехническая схема электродотельной с аккумулярованием теплоты:

- 1 – электроводонагреватели; 2 – изолирующие вставки;
- 3 – аккумуляторный бак; 4 – деаэрат; 5, 11 – насосы горячего водоснабжения;
- 6 – линия подпитки водой; 7 – регулятор температуры;
- 8 – водоводяной нагреватель; 9 – датчик температуры; 10 – бак горячей воды;
- 12 и 15 – трехходовой смесительный и электромагнитный вентили;
- 13 и 17 – циркуляционные и сетевые насосы; 14 – грязевик-отстойник;
- 16 – противонакипное магнитное устройство

Первый контур обеспечивает аккумуляцию горячей воды. При включении электрических водонагревателей 1 охлажденную воду (70 °С) из нижней части аккумулирующей емкости 3 подают циркуляционным насосом 17 в водонагреватель, где она нагревается до 95 °С, после чего поступает в верхнюю часть аккумулирующей емкости через разбрызгивающее устройство деаэрации 4. При достижении в нижней зоне аккумулятора температуры воды 95 °С электроводонагреватели отключаются. Воду первого контура обрабатывают противонакипным электромагнитным аппаратом 16, установленным на всасывающей линии циркуляционных насосов 17.

Второй контур обеспечивает теплоснабжение систем отопления и вентиляции. Сетевые насосы 13 набирают воду (95 °С) из верхней зоны аккумулирующего бака и подают по системе трубопроводов в отопительные и вентиляционные устройства. Обратная вода (70 °С) через грязевик-отстойник 14 возвращается в нижнюю зону бака.

Температуру воды в системе отопления и вентиляции регулируют в зависимости от температуры наружного воздуха добавлением к прямой воде, поступающей в эти системы, обратной воды, выходящей из отопительно-вентиляционных установок посредством смесительного вентиля 15.

Третий контур предназначен для нужд горячего водоснабжения. Воду из водопровода подают в водоводяной нагреватель 8, в котором нагревают до 55 °С, а затем перекачивают в бак-аккумулятор 10 для горячего водоснабжения, рассчитанный на суточный запас воды.

Подачу воды в бак прекращают при достижении заданного уровня закрытием электрического вентиля УА2 на трубопроводе воды. Из бака воду насосами 11 горячего водоснабжения перекачивают к потребителю. Потери воды восполняют из водопровода через электромагнитный вентиль УА1.

Для создания децентрализованных систем электротеплоснабжения с аккумулированием теплоты на животноводческих комплексах, фермах и других сельскохозяйственных объектах разработаны и выпускаются промышленностью два типоразмера комплектов оборудования для горячего водоснабжения и обогрева помещений: КОГВ–1000/25 (рис. 2.2) и КОГВ–2500/63, в составе которого имеется циркуляционный насос.

Эти комплекты предназначены для нагрева воды с разовым расходом 1000 и 2500 л в коровниках на 200 и 400 голов и одновременного обогрева в зимний период подсобных помещений молочного блока.

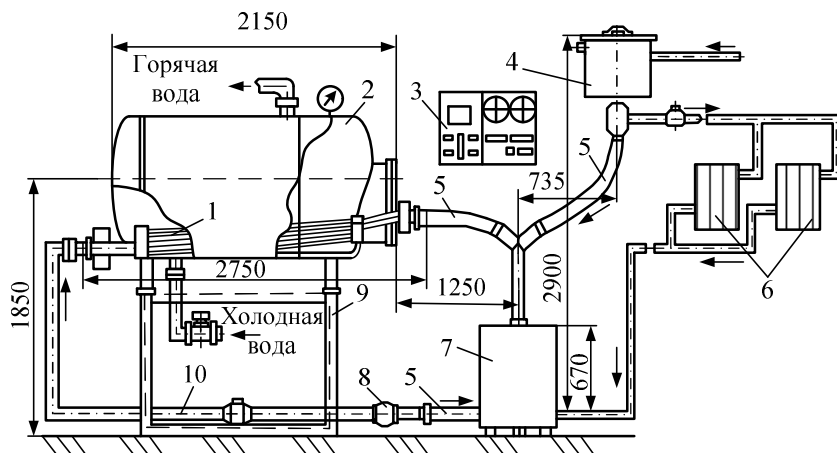


Рис. 2.2. Схема устройства комплекта КОГВ-1000/25:

- 1 – теплообменник бойлера; 2 – бойлер-теплоаккумулятор;
- 3 – шкаф управления и автоматики; 4 – расширительный бак;
- 5 – изолирующие вставки; 6 – отопительные приборы;
- 7 – электродный водонагреватель; 8 – тройник; 9 – подставка под бойлер;
- 10 – трубопровод

Греющим теплоносителем служит вода с температурой 95 °С, которая поступает из электродного водонагревателя и циркулирует в первичном контуре: «водонагреватель – теплообменник – радиаторы». Летом контур «водонагреватель – радиаторы» отключен.

В качестве источника теплоты в КОГВ-1000/25 используют электродные водонагреватели ЭВН-10/20-0,4, ЭВН-25 и ЭПЗ-25; в КОГВ-2500/63(100) используют ЭВН-63/0,4, ЭВН-60 и ЭПЗ-100И2. Бойлер-теплоаккумулятор (БТ) подключают к водопроводной сети через трубопровод холодной воды с помощью запорного вентиля и обратного клапана. При разборе горячей воды холодная подается под напором по трубопроводу в бойлер. С целью уменьшения потерь БТ покрыт теплоизоляцией.

Комплекты могут работать только на отопление или на горячее водоснабжение и на отопление и горячее водоснабжение одновременно. В схеме управления (рис. 2.3) предусмотрено ручное и автоматическое управление согласно программе, задаваемой реле времени КТ.

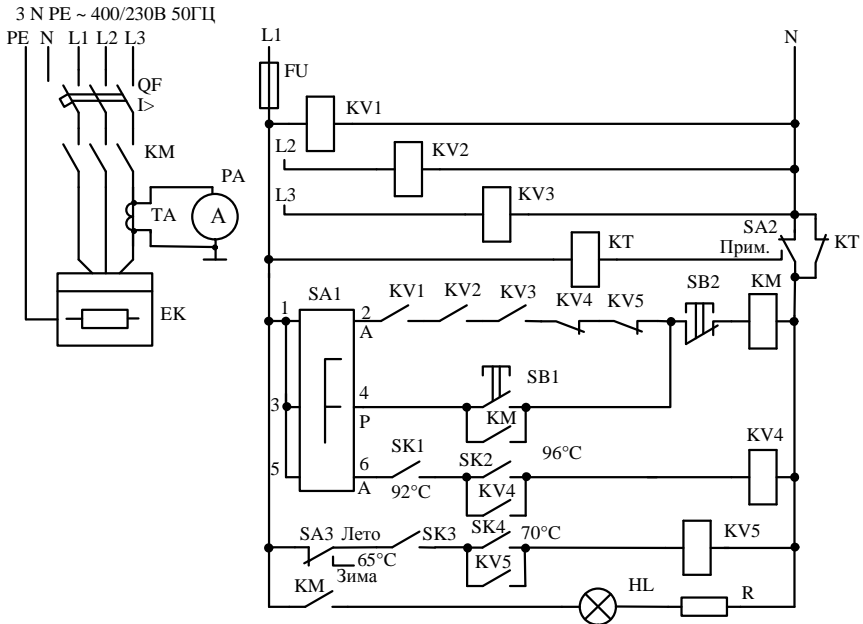


Рис. 2.3. Схема электрическая принципиальная шкафа управления КОГВ

Предусмотрены следующие режимы работы комплектов: принудительный и свободный (переключателем SA2), а также зимний и летний (переключателем SA3). Регулирование температуры воды в бойлере и в водонагревателе обеспечивается с помощью датчиков терморегуляторов SK1...SK4. От неполнофазного режима работы предусмотрена защита с помощью реле KV1...KV3.

Для повышения надежности работы электродных водонагревателей в системах теплоснабжения их включают в работу по «замкнутому контуру» (рис. 2.4), в котором циркулирует специально подготовленная вода, имеющая неизменную проводимость и практически не образующая накипи на электродах.

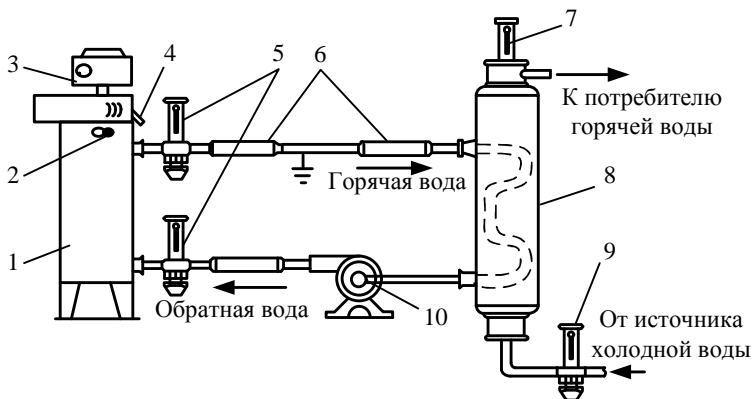


Рис. 2.4. Схема лабораторной отопительной системы:

- 1 – водонагреватель; 2 – предохранительный клапан;
 3 – регулятор мощности; 4 – дренаж;
 5 – датчики температуры воды в водонагревателе; 6 – изолирующие вставки;
 7, 9 – датчики температуры воды на входе и выходе из теплообменника;
 8 – теплообменник; 10 – насос

Электрическая схема управления (рис. 2.5) автоматически управляет отопительной системой при помощи α -контроллера. Режимы работы водонагревателя задают переключателем SA2.

В автоматическом режиме работы принцип действия схемы управления сводится к измерению температуры того или иного объекта терморезисторами RK1...RK3, ее сравнению с заданной в α -контроллере A1, воздействию контактами A1:1 или A1:2 на исполнительный механизм ИМ и повороту регулирующих электродов водонагревателя. В результате этого изменяются его мощность и температура воды.

При неполнофазном режиме работы или превышении номинального тока срабатывает реле KV2 или реле тока КА соответственно и отключает водонагреватель. Терморегулятор BK1 защищает установку от перегрева воды.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить

теплотехническую схему электроротельной с аккумулярованием теплоты, назначение, технические характеристики и схему шкафа управления комплектов оборудования КОГВ-1000/25 и КОГВ-2500/63 по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и назначением основного оборудования лабораторной установки (рис. 2.4) и схемой управления (рис. 2.5).

2. Для исследования работы водонагревателя по замкнутому контуру открыть кран подачи воды в теплообменник.

Используя мерный сосуд и секундомер, измерить расход, термометром – температуру воды во вторичном контуре теплообменника.

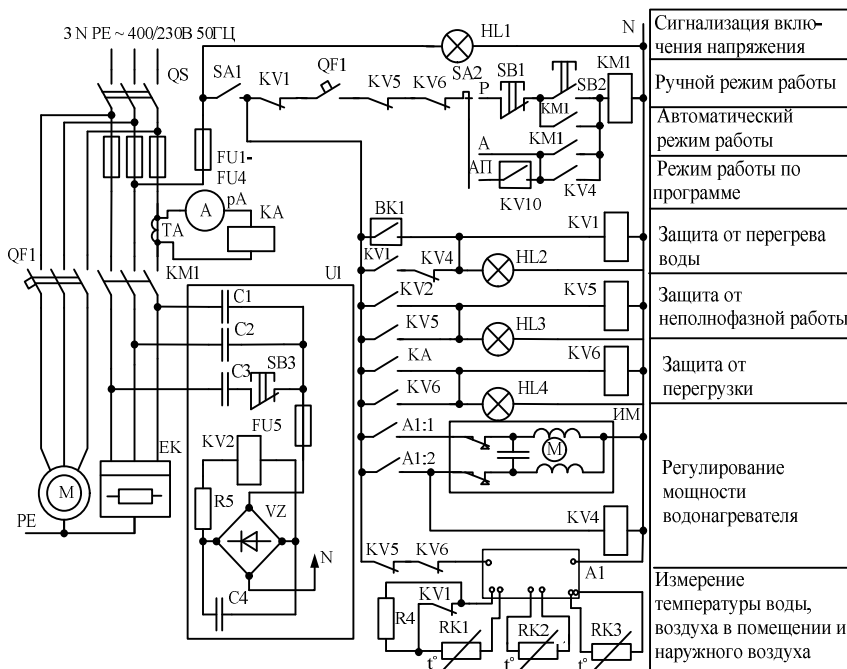


Рис. 2.5. Принципиальная электрическая схема управления отопительной системой с водонагревателем ЭПЗ-100ИЗ

Включить автоматический выключатель QF на лабораторном стенде, рубильник QS на шкафу управления, запустить насос подачи воды. Переключатель SA установить в положение «Р» (ручной режим работы) и установить мощность водонагревателя 8...10 кВт.

Влияние температуры воды на мощность наблюдать в период «разгона» водонагревателя до установившейся температуры (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Влияние температуры воды на мощность электродного водонагревателя

Измерено					Вычислено		
τ , с	t_1 , °C	t_2 , °C	P , Вт	ρ_{20} , Ом·м	t_{cp} , °C	ρ_t , Ом·м	ρ_{cp} , Ом·м

В табл. 2.1: τ – время работы водонагревателя; t_1, t_2 – температура воды на входе и выходе водонагревателя; P – мощность, потребляемая водонагревателем; $t_{cp} = 0,5 (t_1 + t_2)$ – средняя температура воды; $\rho_{20}, \rho_t, \rho_{cp}$ – соответственно удельное сопротивление воды при 20 °C, температуре на выходе t_2 и температуре t_{cp} .

В установившемся режиме работы (температура воды на выходе из теплообменника не изменяется) записать показания приборов в табл. 2.2.

Энергетические показатели (КПД и удельный расход энергии) определяют по следующим формулам: $\eta = \frac{m_t c (t_4 - t_3)}{P}$ и $q = \frac{P + P_{дв}}{m_t}$.

3. Для исследования неполнофазных режимов отключить пакетным выключателем, который находится на стенке шкафа управления, одну из фаз. Вольтметром и щупом измерить напряжение по отношению к нулевому проводу в специальных точках на поверхности диэлектрической вставки, гальванически связанных с водой.

Таблица 2.2

Энергетические показатели системы «водонагреватель – теплообменник»

Измерено							Вычислено	
P , Вт	$P_{дв}$, Вт	t_1 , °C	t_2 , °C	t_3 , °C	t_4 , °C	m_t , кг/с	η , о.е.	q , Дж/кг

В табл. 2.2: $P_{дв}$ – мощность электродвигателя насоса; t_3, t_4 – температура воды на входе и выходе теплообменника; m_{τ} – подача воды; η – КПД системы «водонагреватель – теплообменник»; q – удельный расход энергии на нагрев воды.

Измерения выполнить для следующих случаев: полнофазный режим работы; двухфазный режим работы с зануленным трубопроводом; двухфазный с незануленным трубопроводом (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Влияние неполнофазного режима питания водонагревателя на «вынос» напряжения на трубопровод отопительной системы

Точка измерения №	Трубопровод занулен		Трубопровод не занулен	
	3 фазы	2 фазы	3 фазы	2 фазы
1				
2				
3				

По результатам исследований сделать заключение о влиянии температуры воды на мощность и энергоёмкость процесса, а также неполнофазных режимов на электробезопасность электродных установок.

4. Для изучения методики загрузки программы α -контроллера и автоматического управления работой электродного водонагревателя в системе отопления установить на лабораторном стенде пакетный переключатель в положение «А» (автоматический режим работы).

Открыть щит управления, подключить α -контроллер к системному блоку, подать напряжение на α -контроллер.

Включить в сеть компьютер и пошагово загрузить программу в α -контроллер (для управления работой электродного водонагревателя в системе отопления).

Изменить температуру воздуха внутри условного объекта отопления (макет домика), для этого включить источник обогрева домика. При повышении температуры в домике выше заданной электродвигатель включается в работу и поворачивает электроды

водонагревателя ЭПЗ-100ИЗ против часовой стрелки, что снижает мощность. При уменьшении температуры ниже нормы электродвигатель поворачивает электроды по часовой стрелке, что увеличивает мощность. Повышение или понижение мощности необходимо контролировать по измерительным приборам на лабораторном стенде.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Теплотехническая схема электродкотельной с аккумулярованием теплоты.
3. Результаты измерений (табл. 2.1...2.3).
4. Графические зависимости $\rho_{cp}(t_2)$, $\rho_t(t_2)$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначены и в каких областях используют электродкотельные в АПК?
2. Какие существуют графики работы электродкотельных в зависимости от режимов электропотребления?
3. Какое основное оборудование используют в электродкотельных и какими энергетическими показателями характеризуют?
4. Какую используют схему включения электродного водонагревателя в отопительную систему?
5. Для чего предназначены комплекты КОГВ-1000/25 и КОГВ-2500/63? Назовите их технические характеристики.
6. Какие водонагреватели входят в комплект КОГВ-1000/25?
7. Как работает принципиальная электрическая схема шкафа управления КОГВ?
8. Какие режимы обеспечивает принципиальная электрическая схема управления отопительной системой с водонагревателем ЭПЗ-100ИЗ?
9. С какой целью электродные водонагреватели включают в работу по «замкнутому контуру»?

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить устройство электрических элементных нагревателей, требования к материалам для нагревательных элементов, исследовать влияние условий эксплуатации на характеристики трубчатых электронагревателей.

Задачи работы:

1. Изучить классификацию, устройство элементных нагревателей, определить факторы, влияющие на их характеристики при эксплуатации.
2. Исследовать влияние изменения напряжения питания на мощность и температуру трубчатого электрического нагревателя.
3. Исследовать влияние условий теплоотдачи на температуру трубчатого электрического нагревателя.

Общие сведения

Энергия электрического тока преобразуется в тепловую энергию в нагревательном элементе в соответствии с законом Джоуля – Ленца и от него передается к нагреваемой среде конвекцией, теплопроводностью, излучением или их комбинацией.

В связи со сложными условиями эксплуатации к материалам для изготовления нагревательных элементов предъявляются следующие основные требования:

- *высокая жаростойкость* – устойчивость к окислению при высоких температурах. Окисление уменьшает площадь поперечного сечения, увеличивает сопротивление, ускоряет разрушение нагревательного элемента;
- *высокая жаропрочность* – способность материала выдерживать механические нагрузки при высоких температурах, как минимум не провисать под собственной массой;
- *высокое удельное электрическое сопротивление*. С увеличением сопротивления уменьшаются габаритные размеры и расход материалов на изготовление нагревателя;
- *малый температурный коэффициент сопротивления*. Зависимость сопротивления от температуры ведет к изменению мощности нагревателя, затрудняет расчет и регулирование температуры.

К другим требованиям относят постоянство электрических свойств и размеров, технологичность при изготовлении нагревателей, приемлемую стоимость. Основными характеристиками материалов для нагревателей являются удельное электрическое сопротивление, температурный коэффициент сопротивления (ТКС), максимальная рабочая температура и др. В основном нагревательные элементы выполняют из токопроводящих материалов высокого сопротивления в виде спиралей из проволоки, зигзагов ленты, стержней, пленок на изолирующей основе, текстильных лент, тканей и др.

Нагреватели классифицируют по температуре (низкотемпературные – до 350 °С, среднетемпературные – 350...2000 °С, высокотемпературные – более 2000 °С); материалу нагревательного элемента (металлические, полупроводниковые, неметаллические); степени защиты нагревательного элемента от внешней среды (открытые, закрытые, герметичные); форме материала нагревательного элемента (проволочные, ленточные, стержневые, пленочные, тканевые и др.); конструктивному исполнению (трубчатые, протяженные, поверхностно-распределенные).

Открытые нагреватели (в виде спиралей из проволоки, зигзагов из ленты) просты по устройству, имеют хорошие условия для теплопередачи, ремонтпригодны. В *закрытых нагревателях* нагревательный элемент размещен в корпусе, предохраняющем от механических воздействий и доступа нагреваемой среды, а в *герметичных* – защищен от механических воздействий, доступа нагреваемой среды и воздуха.

Протяженные электрические нагреватели объединяют нагревательные провода, кабели, ленты. Их применяют для обогрева полов в животноводческих и других помещениях, почвы в парниках и теплицах, футбольных полей, дорог, лестниц, водосточных систем, трубопроводов, резервуаров и т. д.

Протяженные нагреватели классифицируют по распределению теплоты по длине нагревателя (равномерное, зональное, термозависимое или саморегулирующееся), температуре и линейной мощности (низкотемпературные – до 130 °С и 40 Вт/м, среднетемпературные – до 230 °С и 70 Вт/м, высокотемпературные – до 1000 °С и 470 Вт/м), напряжению (220, 380, до 1000 В), числу фаз (одно-, двух- и трехфазные), конструктивному исполнению

(провода, ленты, кабели, бронированные, армированные, спиральные и др.).

Поверхностно-распределенные электрические нагреватели представляют собой поверхность-основу, на которой или в которой распределен нагревательный элемент. Основой может быть жесткий или гибкий материал, например, изолированный металлический лист, поверхность нагреваемого устройства, тканые материалы, листы резины и пластмассы.

В качестве нагревательных элементов используют металлические и полупроводниковые порошки, углерод, сажу, графит, которые распыливают на основе в виде пленок, вплетают в ткань или делают ткань из токопроводящих нитей, добавляют в резину или пластмассу перед изготовлением.

Трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы) могут быть закрытыми и герметичными, цилиндрической, овальной, прямоугольной и другой формы. Поверхность теплоотдачи увеличивают путем оребрения.

ТЭН (рис. 3.1.) состоит из тонкостенной (0,5...1,0 мм) металлической оболочки 7 (сталь углеродистая, нержавеющая, медь, латунь), внутри которой размещена нагревательная спираль 6 (нихром, фехраль), изолированная от оболочки наполнителем 4, обладающим высоким электрическим сопротивлением и хорошей теплопроводностью (чаще всего – электротехнический периклаз марки ЛПЭ).

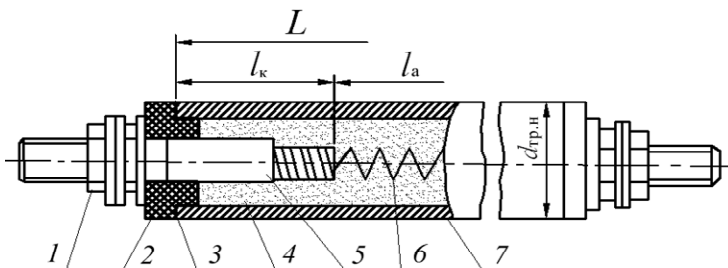


Рис. 3.1. Конструкция трубчатого электрического нагревателя:

1 – контактное устройство; 2 – изолятор; 3 – герметик; 4 – наполнитель;
5 – контактный стержень; 6 – нагревательная спираль; 7 – металлическая оболочка;
 L , l_a , l_k – длина: развернутая, активной части, контактного стержня в заделке;

$d_{гр.н}$ – наружный диаметр трубки

Концы спирали соединены с контактными стержнями 5, снабженными с внешней стороны контактными устройствами 1. Торцы трубки заглушены изоляторами 2. Стыки металлической оболочки с изолятором защищены от проникновения в наполнитель воздуха и влаги термостойким герметиком 3 (КО-08, ВГО-1 и др.).

Основными факторами, влияющими на надежность и безопасность работы элементных нагревателей, являются прочность электрической изоляции, условия теплоотвода и соответствие напряжения сети номинальному напряжению нагревателя.

Сопротивление электрической изоляции между нагревательным элементом и защитной оболочкой для большинства элементных нагревателей должно быть не менее $5 \cdot 10^5$ Ом.

Номенклатура и область применения ТЭНов очень широки, их используют в большинстве установок низкотемпературного нагрева различных сред.

Структура условного обозначения ТЭНов приведена на рис. 3.2, а структура обозначения характеристики среды и условий эксплуатации ТЭНов – в табл. 3.1.



Рис. 3.2. Структура условного обозначения ТЭНов

Таблица 3.1

Структура обозначения характеристики среды и условий эксплуатации ТЭНов

Обозначение	Характеристика среды и условий эксплуатации ТЭНа
S	Воздух и прочие смеси газов. Удельная мощность – $2,0 \text{ Вт/см}^2$. Нагрев в спокойной газовой среде до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до $450 \text{ }^\circ\text{C}$
C	Воздух и прочие смеси газов. Удельная мощность – $5,5 \text{ Вт/см}^2$. Нагрев движущихся газов со скоростью 6 м/с до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до $450 \text{ }^\circ\text{C}$

Обозначение	Характеристика среды и условий эксплуатации ТЭНа
T	Воздух и прочие смеси газов. Удельная мощность – 5,0 Вт/см ² . Нагрев в спокойной газовой среде до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до 750 °С
K	Воздух и прочие смеси газов. Удельная мощность – 6,5 Вт/см ² . Нагрев движущихся газов со скоростью не менее 6 м/с до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до 750 °С
J	Вода, слабый раствор кислот (рН = 5...7). Удельная мощность – 15,0 Вт/см ² . Нагревание, кипячение с температурой на оболочке ТЭНа до 100 °С
P	Вода, слабый раствор щелочей и кислот (рН = 5...9). Удельная мощность – 15,0 Вт/см ² . Нагревание, кипячение с температурой на оболочке ТЭНа до 100 °С
Z	Жиры, масла. Удельная мощность – 3,0 Вт/см ² . Температура на оболочке ТЭНа обусловлена вязкостью масла. Нагрев в ваннах и других емкостях
X	Вода, слабый раствор щелочей и кислот (рН = 5...9). Удельная мощность – 9,0 Вт/см ² . Нагревание, кипячение с температурой на оболочке ТЭНа до 100 °С
L	Литейные формы, пресс-формы. Удельная мощность – 5,0 Вт/см ² . Нагрев с рабочей температурой на оболочке ТЭНа до 450 °С
Op	Воздух и прочие смеси газов. Удельная мощность – 11,0 Вт/см ² . Нагрев движущихся газов со скоростью 6 м/с до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до 450 °С
Kp	Воздух и пр. смеси газов. Удельная мощность – 13,0 Вт/см ² . Нагрев движущихся газов со скоростью 6 м/с до рабочей температуры на оболочке ТЭНа до 450 °С
Ti	Вода, раствор щелочей и кислот. Удельная мощность – 15,0 Вт/см ² . Нагревание с температурой на оболочке ТЭНа до 100 °С (материал оболочки – титан)
W	Легкоплавкие металлы: олово, свинец и др. Удельная мощность – 3,5 Вт/см ² . Нагрев и плавление в ваннах и других емкостях с температурой на оболочке ТЭНа до 450 °С

Используемые материалы корпуса ТЭНа, указанные в табл. 3.1: S, O, P, Z, L, Op, W – низкоуглеродистая сталь (08, 08Ю, 08КП, 10, 10КП); Т, К, J, Кр – нержавеющая сталь (12Х18Н10Т, 08Х18Н10).

Допустимую удельную поверхностную или линейную мощность нельзя превышать при эксплуатации. Нагреватель должен работать в среде, для которой он изготовлен, однако можно использовать нагреватели и в других средах, если в них возможна такая или бóльшая теплоотдача. Загрязнение, накипеобразование, отложение фрагментов нагреваемых материалов на поверхности нагревателя, снижение скорости воздуха или жидкости значительно ухудшают теплоотвод.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить сущность электрического элементного нагрева, основные требования к материалам нагревательных элементов, классификацию и устройство элементных нагревателей, условное обозначение ТЭНов по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Изучить устройство и начертить эскизы элементных нагревателей, представленных в лаборатории.

2. Влияние величины напряжения U на мощность P и температуру трубчатого электрического нагревателя t_n исследовать на экспериментальной установке (рис. 3.3).

При выключенном вентиляторе скорость воздуха равна нулю. Напряжение на ТЭНе отрегулировать автотрансформатором в диапазоне 40, 60, 80, 100 % от номинального. Измерить силу тока I , температуру трубки нагревателя t_n и окружающего воздуха t_o (табл. 3.2).

По результатам исследований необходимо установить графическую и математическую зависимости мощности и температуры поверхности ТЭНа от величины напряжения питания и проверить их адекватность.

Влияние напряжения питания на мощность и температуру ТЭНа

Измерено					Вычислено	
$U, В$	$I, А$	$A, м^2$	$t_o, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	$R_t, Ом$	$P, Вт$

Сопротивление нагревателя при температуре t , Ом:

$$R_t = \frac{U}{I}. \quad (3.1)$$

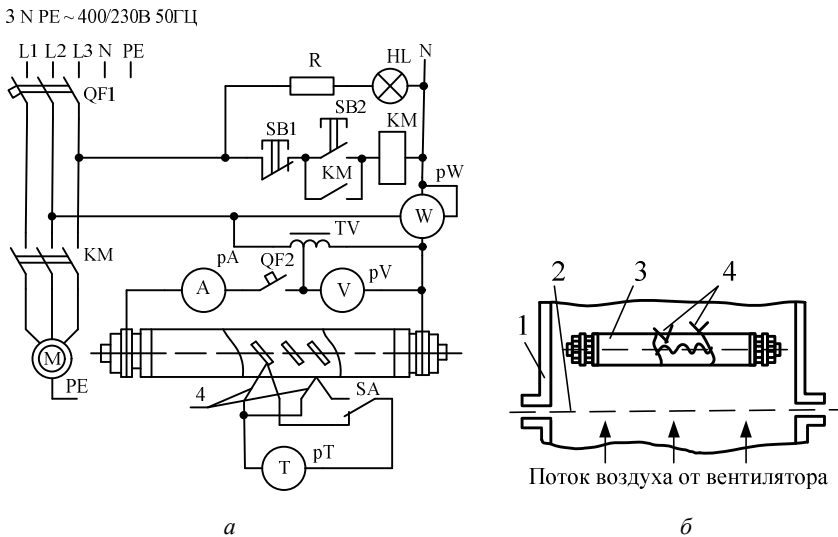


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки (а) и схема размещения ТЭНа в воздуховоде (б):

- 1 – воздуховод; 2 – заслонка, регулирующая подачу воздуха;
3 – ТЭН; 4 – термопары

Мощность нагревателя, Вт:

$$P = \frac{U^2}{R_t}. \quad (3.2)$$

Уравнение баланса мощностей (выделяющейся в нагревателе и отдаваемой в окружающую среду):

$$\frac{U^2}{R_t} = \alpha A(t_n - t_0), \quad (3.3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности нагревателя к воздуху, Вт/(м²·°C); A – площадь поверхности теплоотдачи, м².

При конвективной теплоотдаче в неподвижном воздухе от плоской поверхности, температура которой находится в диапазоне 0...150 °C, принять приближенно $\alpha = 10$ Вт/(м²·°C).

3. Влияние условий теплоотдачи (в лабораторной работе скорости воздушного потока) на температуру нагревателя необходимо исследовать на установке, приведенной на рис. 3.3. Напряжение питания принять 220 В. Скорость воздуха u изменять в диапазоне 0,3; 0,6; 0,8 м/с заслонками 2, перекрывающими воздуховод 1.

При каждом значении скорости воздуха нагрев производить в течение 3 мин, измерить силу тока в цепи нагревателя I , температуру трубки t_n и спирали t_c (табл. 3.3). После исследования на каждой из скоростей воздуха следует охладить ТЭН до температуры t_0 .

По результатам исследований установить графическую зависимость температуры t_n от скорости воздуха u и сделать заключение о влиянии температуры спирали t_c на сопротивление нагревателя R_t .

Таблица 3.3

Влияние условий теплоотдачи на температуру ТЭНа

Измерено						Вычислено	
v , м/с	U , В	I , А	t_0 , °C	t_n , °C	t_c , °C	R_t , Ом	P , Вт
0,3							
0,6							
0,8							

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы, результаты измерений.
2. Математическая зависимость мощности и температуры нагревателя от напряжения питания.
3. Графические зависимости мощности и температуры нагревателя от напряжения питания, температуры нагревателя от скорости воздуха.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит физическая сущность электрического элементного нагрева?
2. Какие основные требования предъявляют к материалам нагревательных элементов?
3. По каким признакам классифицируют элементные нагреватели?
4. Для чего предназначены и как устроены нагревательные провода и кабели?
5. Для чего предназначены и как устроены поверхностно-распределенные нагреватели?
6. Как устроен ТЭН?
7. Опишите структуру условного обозначения ТЭНов.
8. Какие основные факторы определяют надежность и безопасность элементных нагревателей?
9. Как влияют составляющие уравнения баланса мощностей на характеристики нагревателя?

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить устройство, принцип действия, исследовать режимы работы элементных водонагревателей и изучить электрические схемы управления.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, способы регулирования мощности элементных водонагревателей.
2. Изучить принципиальные электрические схемы управления водонагревателями САЗС и 084.ПВ-1.
3. Исследовать процессы нагрева воды в емкостном ЭН-1В, проточном КВ-02 и индукционном 084.ПВ-1 водонагревателях. Определить их КПД, скорость нагрева воды, удельный расход энергии.

Общие сведения

Устройства нагрева воды, в которых используют элементные нагреватели, чаще всего ТЭНы, называют элементными водонагревателями. Они представляют собой установки косвенного резистивного электронагрева. Электроэнергия преобразуется в теплоту в нагревательных элементах и от них передается конвекцией и теплопроводностью к воде. Различают проточные и аккумуляционные водонагреватели парогенераторы.

Проточный водонагреватель представляет собой емкость небольшого размера без теплоизоляции, в которой проточную воду быстро нагревают ТЭНами до требуемой температуры (обычно менее 90 °С). Температуру воды регулируют чаще всего подачей. В электрических схемах управления предусмотрена защита нагревательных элементов от перегрева при отсутствии протока воды. Для этого используют реле протока или различные термореле, настроенные на температуру срабатывания, близкую к 100 °С.

Проточные водонагреватели применяют в системах аккумуляции горячей воды в теплоизолированных емкостях в качестве резервных при недостаточной подаче горячей воды от основных источников.

Конструкция элементного проточного водонагревателя ЭВ-Ф-15 мощностью 15 кВт показана на рис. 4.1.

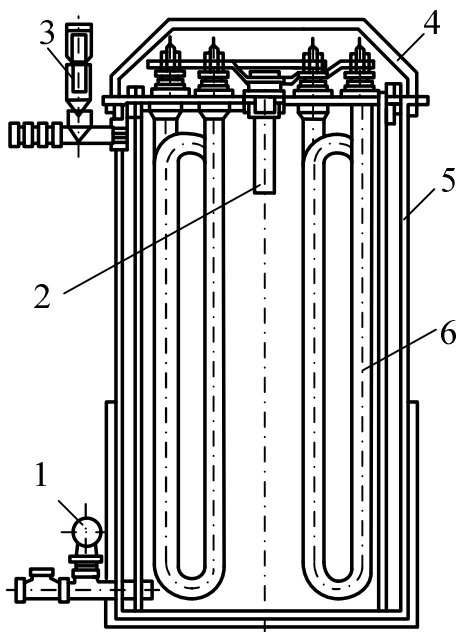


Рис. 4.1. Конструктивная схема водонагревателя ЭВ-Ф-15:
1 – предохранительный клапан; 2 – терморегулятор ТР-200; 3 – термометр;
4 – защитный кожух; 5 – резервуар; 6 – ТЭН

Индукционный водонагреватель представляет собой трехфазный понижающий трансформатор, вторичные фазные обмотки которого выполнены из стальной трубы диаметром 20 мм и закорочены между собой.

Нагрев происходит по двум законам: электромагнитной индукции и Джоуля – Ленца. При подаче напряжения на первичную обмотку возникает магнитный поток, который наводит ЭДС индукции во вторичной обмотке. Вторичный ток трансформатора (5...10 тыс. ампер) в соответствии с законом Джоуля – Ленца нагревает стальную трубу и, следовательно, воду, протекающую в ней. Принципиальная электрическая схема управления индукционным

водонагревателем 084.ПВ-1 (рис. 4.2) обеспечивает отключение водонагревателя в случае превышения температуры воды, заданной на SK, и при перегреве трансформатора (блок А).

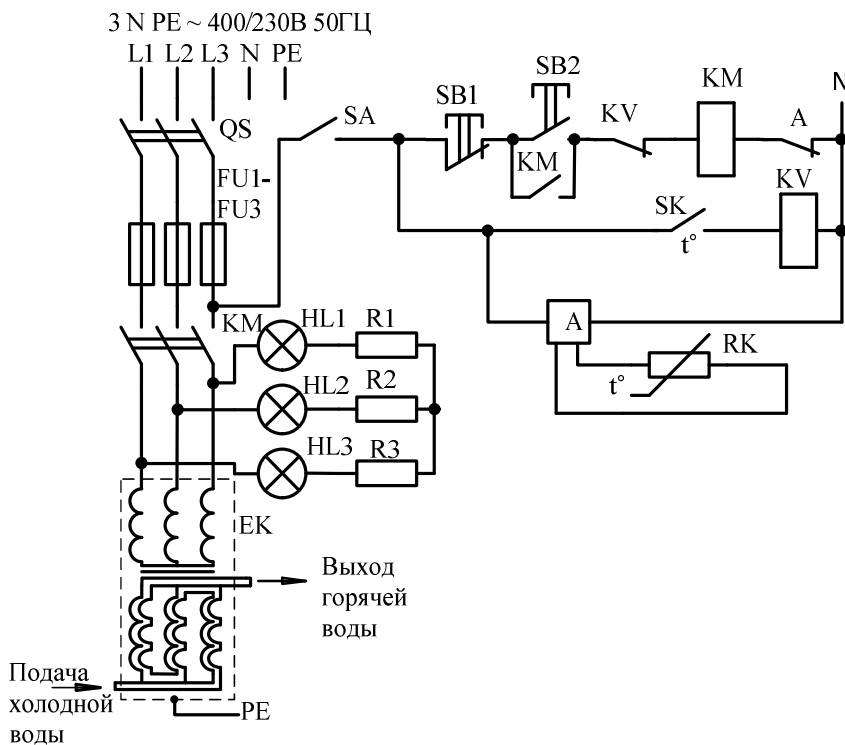


Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема управления индукционным водонагревателем 084.ПВ-1

Аккумуляционный водонагреватель представляет собой теплоизолированный бак определенного объема, в котором воду нагревают ТЭНами до 90 °С за несколько часов и сохраняют горячей в течение необходимого времени.

Наиболее распространены аккумуляционные водонагреватели типов САОС и САЗС (рис. 4.3) с объемом бака от 400 до 1600 литров (С – нагрев сопротивлением, А – аккумуляционная, О – открытая, З – закрытая, С – система).

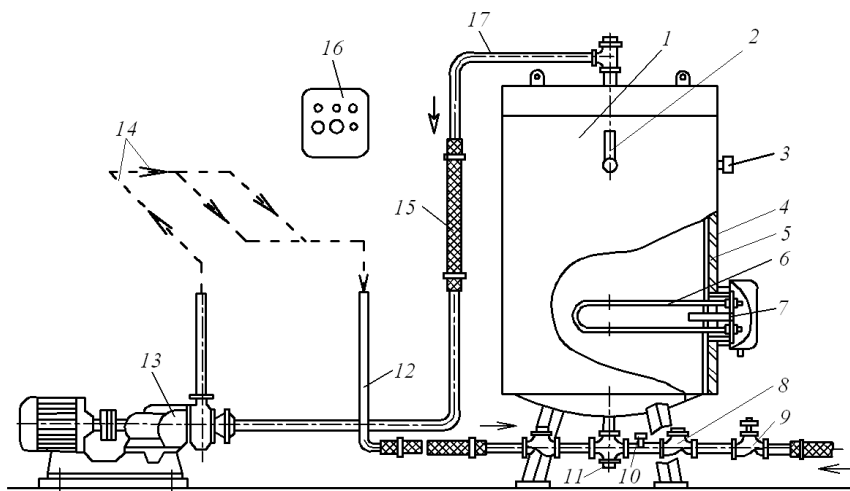


Рис. 4.3. Водонагреватель САЗС-400/90И1:

- 1 – водонагреватель; 2 – термометр; 3 – аварийный датчик температуры;
- 4 – резервуар; 5 – теплоизоляция и кожух;
- 6 – блок нагревателей; 7 – датчик температуры воды;
- 8, 9 – обратный клапан и вентиль на трубопроводе холодной воды;
- 10 – клапан избыточного давления; 11 – пробка слива;
- 12 – трубопровод возврата воды; 13 – насос;
- 14 – система горячего водопотребления; 15 – изоляционная вставка;
- 16 – ящик управления; 17 – трубопровод горячей воды

Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем типа САЗС (рис. 4.4) автоматически поддерживает температуру с точностью $\pm 3 \dots 5$ °С около значения, заданного на блоке регулирования температуры ВК2, защищает водонагреватель от перегрева воды свыше 95 °С (терморегулятор ВК1), обеспечивает автоматическую работу насоса для перекачивания воды.

При нажатии кнопки SB2 напряжение подается на терморегулятор ВК1, который включает промежуточное реле KV. Реле KV блокирует кнопку SB2, подает напряжение на ВК2, который, в свою очередь, включает катушки магнитных пускателей КМ1, КМ2 и нагревательные блоки ЕК. При снижении температуры воды на 3...5 °С, по сравнению с заданной, ВК2 снова включает нагрев. Если температура воды превышает заданную и достигает 95 °С, то замыкается термоконттакт ВК3, первичный преобразователь РК2

которого установлен на трубопроводе SK, терморегулятор BK1 выключает KV, BK2 и нагреватели. Температуру воды в системе горячего водоснабжения поддерживают терморегулятором системы. При понижении температуры BK3 включает, а при достижении заданной температуры BK2 отключает KM1 и KM2. Циркуляционный насос пускают вручную выключателем SA2 или автоматически терморегулятором BK3.

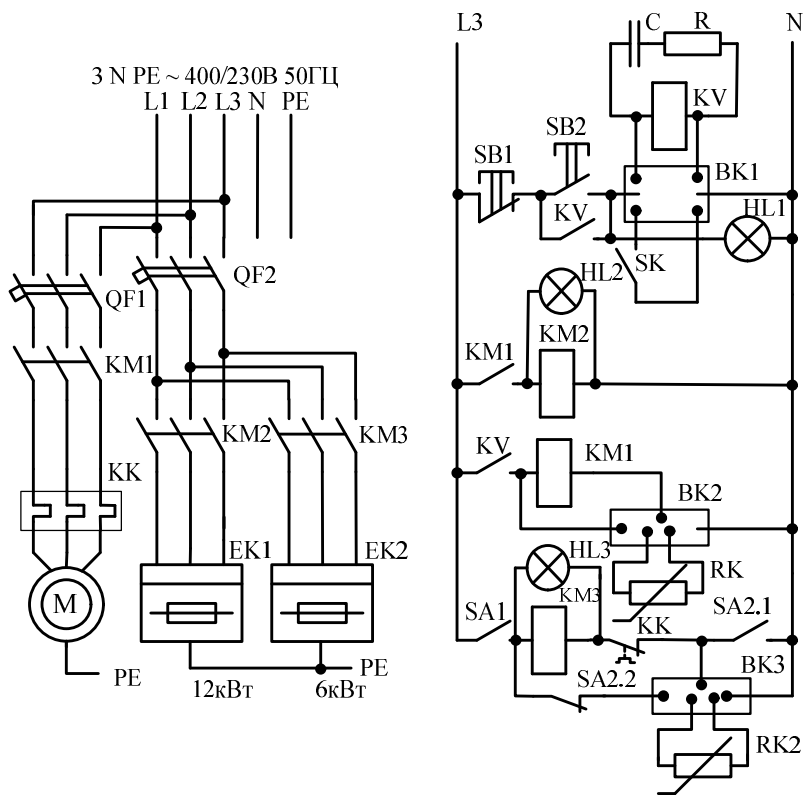


Рис. 4.4. Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем САЗС-800/90И1 и водяным насосом

Водонагреватель САОС конструктивно выполнен так же, как и САЗС, только в нем отсутствует насос для перекачивания воды по замкнутому контуру «водонагреватель – потребитель». Водонагреватели

вместимостью 800 литров и более оснащены двумя нагревательными блоками.

Баланс мощностей (подводимой к нагревателям, отдаваемой от нагревателей к воде и расходуемой на нагрев воды без учета теплопотерь) в элементных водонагревателях рассчитывается по формуле

$$\frac{U^2}{R_i} n = \alpha A (t_n - t_b) = m_t c (t_2 - t_1), \quad (4.1)$$

где U – напряжение на нагревателе, В; n – общее количество нагревателей, шт.; R_i – сопротивление каждого нагревателя, Ом; α – коэффициент теплоотдачи от нагревателя к воде, Вт/(м²·°С); A , t_n – соответственно площадь, м², и температура поверхности нагревателя, °С; t_1 , t_2 , t_b – температура воды начальная, конечная и на поверхности нагревателя соответственно, °С; m_t – подача (расход) воды, кг/с; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С).

Согласно выражению (4.1) температуру на выходе из водонагревателя можно регулировать изменением напряжения, количеством нагревателей или подачей воды.

Методика выполнения работы

1. Изучить устройство, принцип действия и способы регулирования мощности водонагревателей ЭВ-Ф-15, КВ-02, САОС, САЗС, 084.ПВ-1.

2. Поочередно включить водонагреватели в работу. Открыть вентиль и установить подачу воды m_t равной, указанной на водонагревателе. Включить автоматический выключатель QF, установить пакетный переключатель SA в положение КВ-02.

Включить автоматический выключатель QF1 на пульте управления водонагревателем КВ-02. С помощью измерителей-регуляторов через каждые 2 минуты измерить температуру на входе t_1 , выходе t_2 водонагревателя и трубки ТЭНа t_n , контролируя время нагрева τ и мощность P . Опыт проводить до установившейся температуры t_2 , результаты записать в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Энергетические характеристики электрических водонагревателей

Измерено							Вычислено			
Тип водонагревателя	m_{τ} , кг/с	τ , с	t_1 , °C	t_2 , °C	t_n , °C	P , Вт	α , Вт/(м ² ·°C)	η , о.е.	$\Delta t / \tau$, °C/с	q , Дж/(кг·°C)
КВ-02		0 2 4 ...								
ЭН-1В		0 2 4 ...								
084.ПВ-1		0 2 4 ...								

По результатам исследований определить следующие показатели:
– коэффициент теплоотдачи от поверхности нагревателя к воде

$$\alpha = \frac{P}{(t_n - t_2)A}, \quad (4.2)$$

где A – площадь теплоотдающей поверхности (ЭН-1В – 0,82 м², КВ-02 – 0,2 м², 084.ПВ-1 – 0,965 м²);

– коэффициент полезного действия водонагревателя:

$$\eta = \frac{m_{\tau}c(t_2 - t_1)}{P}, \quad (4.3)$$

где $c = 4190$ Дж/(кг·°C) – удельная теплоемкость воды;

– скорость нагрева:

$$\frac{\Delta t}{\tau} = \frac{t_2 - t_1}{\tau}; \quad (4.4)$$

– удельный расход энергии на нагрев воды:

$$q = \frac{P}{m_{\tau}(t_2 - t_1)}. \quad (4.5)$$

По результатам исследований сделать выводы об энергетической эффективности водонагревателей.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы, результаты измерений и расчетов.
2. Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем 084.ПВ-1.
3. Графические зависимости $t_2(\tau)$.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Как классифицируют элементные водонагреватели?
2. Как устроены и по какому принципу работают элементные водонагреватели?
3. Чем отличаются аккумулирующие и проточные водонагреватели? Перечислите их достоинства и недостатки.
4. Как устроен и по какому принципу работает индукционный водонагреватель?
5. Какие способы регулирования температуры воды обеспечивают принципиальные электрические схемы управления элементными нагревателями?
6. Перечислите основные энергетические характеристики элементных водонагревателей.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: изучить устройство, принцип действия, схемы управления, исследовать основные характеристики электрокалориферных установок.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия электрокалориферных установок СФОО-10/0,4И2, СФОЦ-25/0,5И3.
2. Изучить принципиальные электрические схемы управления ЭКУ с плавным и ступенчатым регулированием мощности.
3. Исследовать влияние мощности электрокалорифера и подачи воздуха на температуру поверхности ТЭНов и выходящего воздуха, коэффициент теплоотдачи, КПД электрокалорифера.
4. Исследовать зависимость напряжения на ТЭНах и их мощности от величины заданной и фактической температур воздуха в помещении.

Общие сведения

Основными узлами электрокалориферной установки являются электрокалорифер и вентилятор (осевой или центробежный). Унифицированный электрокалорифер (типа СФО или ЭКО) представляет собой блок нагревательных элементов, смонтированных в общем корпусе. При протекании электрического тока элементы нагреваются и отдают теплоту контактирующему с ними воздуху.

Полное обозначение ЭКУ (например, типа СФОО-10/0,4-И2, СФОЦ-25/0,5-И3) включает: С – нагрев резистивный; Ф – калорифер; О – окислительная среда (воздух); О или Ц – осевой или центробежный вентилятор; 10, 25 – мощность электрокалорифера, кВт; 0,4 или 0,5 – максимальное превышение температуры выходящего воздуха над температурой входящего воздуха в сотнях градусов (т. е. 40 или 50 °С); И2, И3 – номер исполнения.

Используют калориферы мощностью от 10 до 250 кВт и вентиляторы с подачей воздуха от 800 до 10 000 м³/ч, согласованные между собой по условию, что температура поверхности оребрения ТЭНа не должна превышать 180 °С (во избежание возгонки воздуха и подгорания пыли).

ЭКУ с осевыми вентиляторами используют в безнапорных системах отопления и вентиляции, в овоще- и фруктохранилищах, а также и в других помещениях, где не требуется больших перепадов температур нагреваемого воздуха (8...10 °С). Электрический калорифер размещен на нагнетающем патрубке осевого вентилятора и содержит 6 оребренных ТЭНов в один ряд.

ЭКУ типа СФОЦ имеют исполнения И2, И3 (рис. 5.1), И4 и состоят из электрокалорифера типа СФО и центробежного вентилятора типа Ц4-70, соединенных между собой матерчатой виброизолирующей вставкой.

В установках исполнения И2 мощность и, следовательно, температуру воздуха регулируют ступенчато, путем изменения числа включенных ТЭНов электрокалорифера (100, 66, 33 % от номинальной мощности).

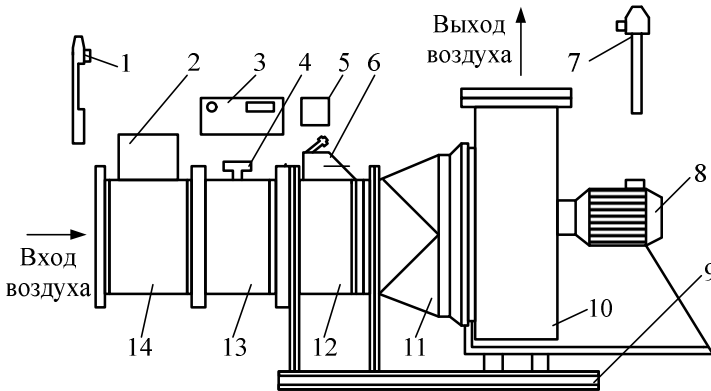


Рис. 5.1. Общий вид электрокалориферной установки типа СФОЦ-25/0,5-И3:

- 1 и 7 – датчики температуры воздуха снаружи и внутри помещения;
- 2 – тиристорный регулятор; 3 – ящик управления электродвигателем;
- 4 – датчик температуры поверхности ТЭНов;
- 5 – ящик преобразования и задания температуры;
- 6 – регулятор подачи воздуха из помещения; 8 – электродвигатель; 9 – рама;
- 10 – центробежный вентилятор; 11 – соединительная вставка;
- 12 – камера смешивания воздуха (байпасная камера); 13 – электрокалорифер;
- 14 – патрубок притока воздуха

ЭКУ исполнения И3 оснащены устройством управления типа «Электротерм» и двухскоростным электродвигателем привода

вентилятора. Мощность регулируют плавно, изменением напряжения на нагревателях. Подача воздуха может быть 1500 и 3000 м³/ч.

В установках исполнения И4 используют односкоростной электродвигатель и устройство «Электротерм».

Количество теплоты, выделяющейся в электрокалорифере и передаваемой воздуху, определяется равенством

$$\frac{nU^2}{R_1} = \frac{\alpha A(t_n - t_b)}{\eta}, \quad (5.1)$$

где n – число нагревателей в электрокалорифере; R_1 – сопротивление одного нагревателя, Ом; U – напряжение на нагревателе, В; α – коэффициент теплоотдачи от нагревателей к воздуху, Вт/(м²·°С); A – площадь поверхности нагревателей, м²; t_n , t_b – температура поверхности нагревателей и воздуха в калорифере, °С; η – КПД электрокалорифера.

Равенство (5.1) показывает, что температура воздуха, выходящего из калорифера, может быть изменена числом включенных нагревателей, напряжением на ТЭНах, подачей воздуха. Обычно применяют все три способа.

Полезная мощность, необходимая для нагревания воздуха в диапазоне разности температур $t_2 - t_1$ при подаче V_τ , м³/с:

$$P = V_\tau \rho C(t_2 - t_1), \quad (5.2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; C – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С).

Наиболее эффективным является регулирование температуры изменением напряжения на нагревателях с помощью устройств управления типа «Электротерм». За счет плавного регулирования мощности путем изменения напряжения на ТЭНах по сравнению со ступенчатым переключением можно достичь экономии электроэнергии от 20 до 40 %.

Подача воздуха не влияет на тепловую мощность электрокалорифера. От нее зависит теплоотдача и температура выходящего

воздуха. Минимальная подача воздуха ограничена максимально допустимой температурой обрешетки нагревателей (не более 180 °С).

Принципиальная электрическая схема управления ЭКУ со ступенчатым регулированием мощности представлена на рис. 5.2.

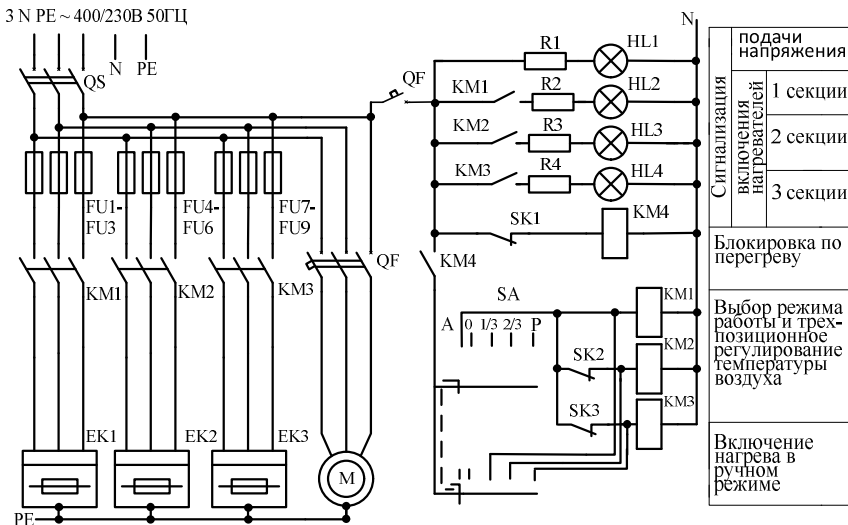


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема управления электрокалориферной установкой СФОЦ-25/0,5-И2

Ручной и автоматический режим работы задается переключателем SA. Если температура в помещении ниже заданной, то при первоначальном включении калорифера в сеть в автоматическом режиме включается 100 % мощности. Изменение тепловой мощности от 100 до 33 % номинальной осуществляется путем включения и отключения секций калорифера в зависимости от температуры воздуха в помещении (контакт терморегулятора SK2 размыкается при достижении нижнего предела требуемой температуры воздуха, а SK3 – при достижении ее верхнего предела).

Схема обеспечивает световую сигнализацию о включении двигателя вентилятора (лампочка HL1) и каждой из трех секций калорифера (лампочки HL2...HL4), защиту нагревательных элементов от перегрева выше 180 °С (терморегулятор SK1), защиту электродвигателя от перегрузки и короткого замыкания (автоматический

выключатель QF), защиту калорифера от короткого замыкания (предохранители FU1...FU9), блокировку от включения секций калорифера при не выключенном двигателе вентилятора (контакт QF в цепи управления калорифером).

Блочная принципиальная электрическая схема управления электрокалориферной установкой СФОЦ-XX/0,5-ИЗ показана на рис. 5.3.

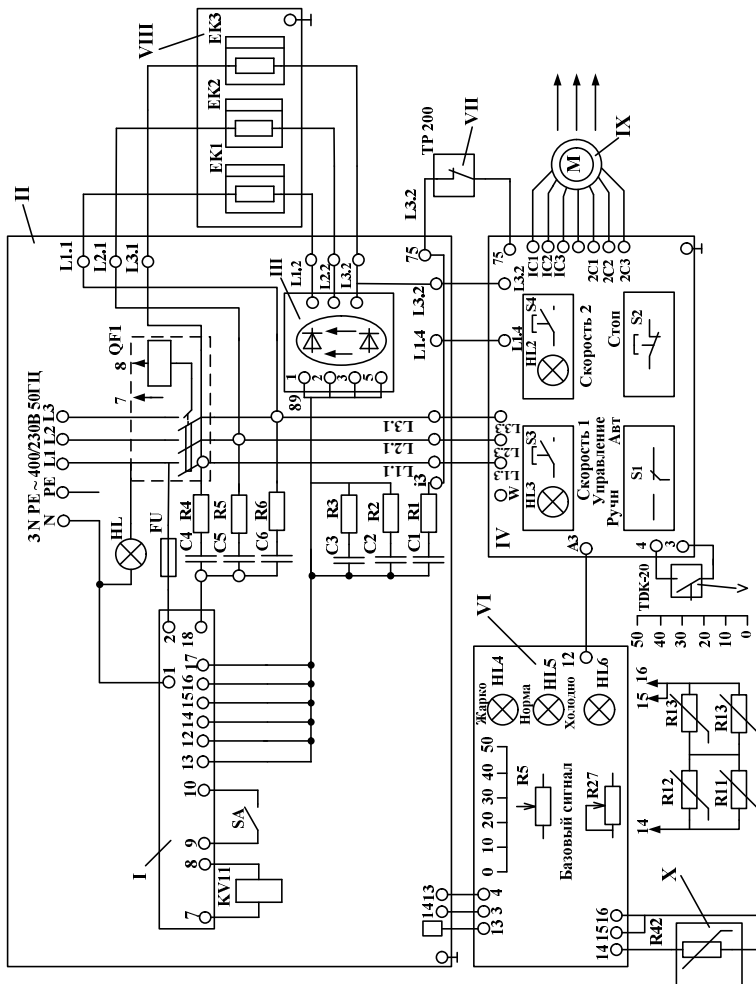


Рис. 5.3. Блочная принципиальная электрическая схема управления электрокалориферной установкой СФОЦ-XX/0,5-ИЗ

В схеме (рис. 5.3): I – панель управления; II – тиристорный регулятор мощности; III – силовая панель тиристорного регулятора; IV – блок регулирования частоты вращения вентилятора; V – термометр наружного воздуха; VI – блок измерения и задания температуры воздуха в помещении; VII – устройство защиты нагревателей от перегрева; VIII – нагреватели электрокалорифера; IX – электродвигатель вентилятора; X – датчик температуры воздуха в помещении.

Схема управления ЭКУ с устройствами управления «Электро-терм-ХХТВУХЛЗ.1» (ХХ – мощность регулирования, ТВ – автоматическое и ручное регулирование тепло- и воздухопроизводительности, УХЛЗ.1 – климатическое исполнение и категория размещения) обеспечивает плавное, по пропорциональному закону, автоматическое и ручное регулирование мощности калорифера от 1 до 100 % в зависимости от температуры воздуха в помещении, ступенчатое регулирование подачи воздуха за счет изменения частоты вращения электродвигателя вентилятора в соотношении 1:2, защиту от ненормальных режимов работы.

Блок II (ящик Я4301-ХХ7ВУХЛЗ.1) представляет собой тиристорный регулятор мощности, который в зависимости от величины сигнала управления изменяет напряжение на нагревателях электрокалорифера.

Блок IV (ящик Я5701-ХХ74УХЛЗ.1) регулирует частоту вращения электродвигателя вентилятора в зависимости от температуры наружного воздуха.

В общем виде схема (рис. 5.3) работает следующим образом. Напряжение от датчика R42 и задатчика R5 температуры воздуха в помещении суммируется в блоке VI и поступает в блок II управления тиристорами. В зависимости от этого напряжения тиристоры изменяют величину напряжения на ТЭНах и, следовательно, мощность калорифера и температуру воздуха в помещении.

Схема управления двигателем вентилятора (рис. 5.4) обеспечивает ручное и автоматическое изменение частоты вращения электродвигателя 1:2 и подачу воздуха 1500 и 3000 м³/ч.

В автоматическом режиме частота вращения двигателя вентилятора зависит от температуры наружного воздуха.

В зимний период, когда температура воздуха ниже заданной на контактном термометре, контакт SK разомкнут, электродви-

гатель работает на скорости I и обеспечивает подачу воздуха $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3 N PE ~ 400/230В 50Гц

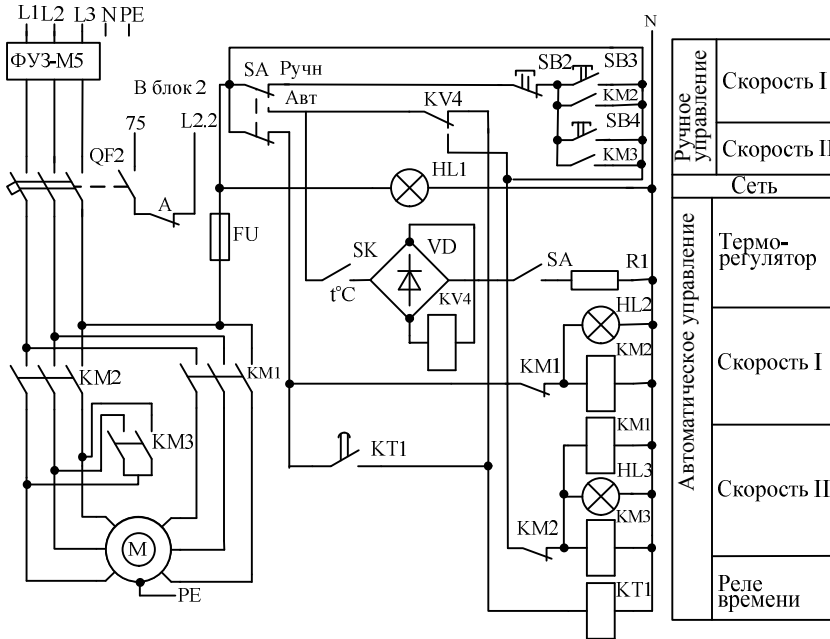


Рис. 5.4. Принципиальная электрическая схема управления двигателем вентилятора (блок IV)

В переходной период (весна–лето) увеличивается температура наружного воздуха, контакт SK замыкается, обмотки электродвигателя переключаются на большую частоту вращения, и вентилятор подает $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха.

Электрокалориферные установки применяют для создания и регулирования микроклимата в различных сельскохозяйственных помещениях (свиноматочниках, родильных отделениях, сооружениях защищенного грунта и др.), в качестве резервных источников отопления ответственных объектов, пиковых источников (доводчиков температуры приточного воздуха), а также для активного вентилирования и сушки материалов.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить устройство, принцип действия, схемы управления, области применения электрокалориферных установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с натурными образцами ЭКУ, представленными в лаборатории.

2. Подготовить к работе ЭКУ СФОЦ-25/0,5 ИЗ.

На панели управления электродвигателем вентилятора установить ручной режим работы. Включить установку с помощью автоматических выключателей QF2 и QF1, нажать кнопку включения электродвигателя «Скорость I» (подача воздуха 1500 м³/ч).

Установить максимальную мощность электрокалорифера. Для этого открыть крышку блока измерения и задания температуры. Установить ручку задатчика температуры R27 в положение, при котором электрокалорифер потребляет максимальную мощность (по показаниям приборов).

Температуру воздуха на входе и выходе ЭКУ, температуру трубки ТЭНов измерить регулятором температуры «Сосна-004», подключенным к компьютеру. Включить регулятор температуры и компьютер в сеть.

На рабочем столе монитора найти значок SysView. Открыть этот файл. Появится окно «Начальные установки». Нажать на слово «Принять». Появится таблица с тремя столбцами, в которых с заданным интервалом (10 секунд) начнет появляться информация о температурах на входе ЭКУ, на выходе из ЭКУ, трубки ТЭНа.

Подождать пока температура трубчатого нагревателя достигнет установившегося значения. Установившейся считается температура, которая не изменилась за опыт три раза в каждом столбце. Записать результаты измерений в табл. 5.1.

Опыт повторить при любых других трех–четырёх значениях мощности электрокалорифера и подаче воздуха 3000 м³/ч (скорость II).

Полезную мощность определить по формуле (5.2), приняв $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ и $c = 1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$.

Таблица 5.1

Влияние мощности калорифера и подачи воздуха на КПД ЭКУ
и коэффициент теплоотдачи от ТЭНов к воздуху

Задано		Измерено			Вычислено		
$V_t, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_k, \text{ Вт}$	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$P, \text{ Вт}$	$\eta, \text{ о.е.}$	$\alpha, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

В табл. 5.1: V_t – подача воздуха; P_k – мощность, потребляемая электрокалорифером; t_1, t_2, t_n – температура воздуха на входе, выходе установки и трубки ТЭНов соответственно; P – полезная мощность на нагревание воздуха; η – КПД электрокалорифера; α – коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНов к воздуху.

Коэффициент полезного действия электрокалорифера:

$$\eta = \frac{P}{P_k}. \quad (5.3)$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНов к воздуху:

$$\alpha = \frac{P_k}{A(t_n - t_b)}. \quad (5.4)$$

Площадь поверхности одного нагревателя $A = 0,3 \text{ м}^2$.

В калорифере используют 3 нагревателя, остальные (6 шт.) отключены с целью снижения мощности.

Средняя температура воздуха в электрокалорифере:

$$t_b = 0,5(t_1 + t_2). \quad (5.5)$$

3. На панели управления электродвигателем вентилятора установить автоматический режим работы.

На термометре ТПК, показывающем температуру наружного воздуха, задать любую температуру, при которой контакты термометра разомкнуты, и, следовательно, двигатель будет работать на скорости I.

В блоке регулирования и задания температуры задать температуру, которая должна поддерживаться в помещении. Рекомендуется включить электрокалорифер на полную мощность.

Включить устройство, имитирующее изменение температуры в помещении (вентилятор с электронагревателем).

Температуру воздуха на выходе вентилятора регулируют напряжением на нагревателе. С помощью имитатора изменять температуру воздуха в помещении до полного снятия напряжения с нагревателей калорифера.

Исследование провести для нескольких значений заданной температуры воздуха в помещении, результаты записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Зависимость напряжения на нагревателях от температуры воздуха в помещении

Задано		Измерено		Вычислено	
$V_T, \text{ м}^3/\text{с}$	$t_3, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{п}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$U_{\text{н}}, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$	Графические зависимости $U_{\text{н}}, P(t_{\text{п}})$

В табл. 5.2: t_3 – температура в помещении, указанная на шкале блока задания температуры; $t_{\text{п}}$ – фактическая температура воздуха в помещении, создаваемая имитатором; $U_{\text{н}}$ – напряжение на нагревателях калорифера.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Результаты измерений.
3. Рисунок общего вида установки СФОЦ-25/0,5-ИЗ.
4. Графические зависимости $t_{\text{н}}(V_T, P_K)$, $\alpha(V_T)$, $U_{\text{н}}(t_{\text{п}})$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены и как устроены калориферы разных видов?
2. Как устроены и по какому принципу работают ЭКУ?
3. Какие нагревательные элементы используют в электрических калориферах?
4. Расшифруйте полное обозначение ЭКУ с осевым и центробежным вентилятором.
5. Какая формула используется при расчете полезной мощности для нагревания воздуха?
6. Как работает схема управления ЭКУ СФОЦ-ХХ/0,5-И2?
7. Чем принципиально отличается схема управления ЭКУ СФОЦ-ХХ/0,5-ИЗ?
8. Какие есть способы регулирования температуры воздуха на выходе из ЭКУ?
9. Перечислите основные энергетические характеристики ЭКУ.
10. Какие вы знаете области применения ЭКУ в сельском хозяйстве?

6. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЛОКАЛЬНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Цель работы: изучить назначение, устройство, принцип действия, исследовать режимы работы и схемы управления установками локального и комбинированного электрообогрева.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия электрообогреваемых полов, панелей и ковриков.
2. Изучить устройство, схему управления установками комбинированного электрообогрева ЭИС-11-И1 «Комби».
3. Исследовать температурное поле и определить зону обогрева, создаваемую установкой ЭИС-11-И1 «Комби», проверить исправность блока защиты от токов утечки, определить соответствие температуры, заданной на терморегуляторе, фактической на поверхности обогреваемой панели.

Общие сведения

Локальный и комбинированный электрообогрев применяют в помещениях для содержания молодняка животных и птицы, при совместном содержании животных разных возрастных групп, а также в родильных отделениях, профилакториях, ветлечебницах и других помещениях. Преимущество установок и устройств локального и комбинированного обогрева в том, что их максимально приближают к зонам обитания животных или встраивают непосредственно в эти зоны, обеспечивая таким образом требуемые параметры микроклимата при существенно меньших затратах энергоресурсов.

Локальный электрообогрев создают установками лучистого, контактного, конвективного и комбинированного обогрева. Для лучистого обогрева применяют различные облучательные установки, содержащие источники инфракрасного обогрева, например, ИКУФ, «Луч», «Сож», ССПО1-250 и др.

К установкам контактного обогрева относят электрообогреваемые полы (рис. 6.1, а), электрообогреваемые бетонные плиты (рис. 6.1, б), различного рода панели и коврики (рис. 6.2, 6.3).

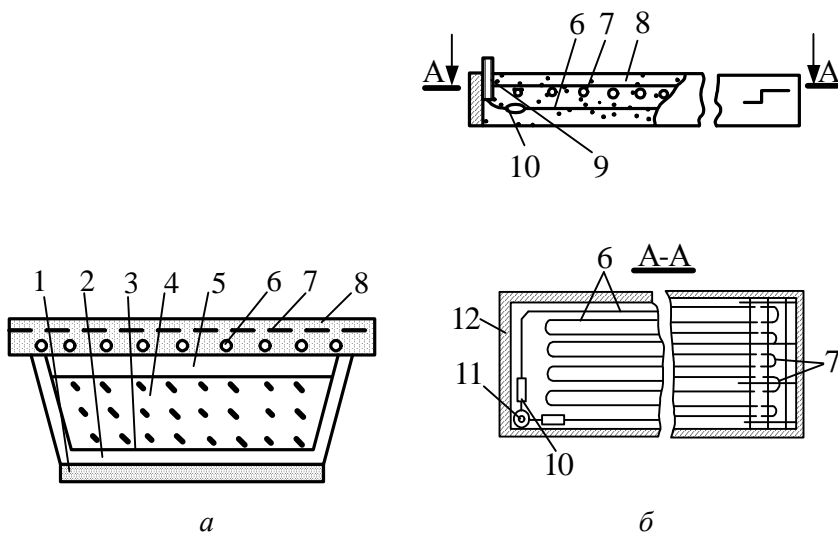


Рис. 6.1. Поперечные разрезы и планы электрообогреваемых пола (а) и бетонной плиты (б):

- 1 – грунт; 2, 8 – бетонные стяжки; 3 – гидроизоляция (рубероид);
 4 – теплоизоляция (шлак); 5 – песок; 6 – провод нагревательный;
 7 – металлическая сетка; 9 – коробка подключений;
 10 – узел соединения токопроводящего и нагревательного проводов;
 11 – стальная труба; 12 – металлический каркас

Электрообогреваемые полы (рис. 6.1, а) могут быть сплошными, либо в виде полос или площадок, расположенных в зоне содержания животных. Достоинством электрообогреваемых полов являются их большая аккумуляционная способность, позволяющая применять внепиковую электроэнергию и безболезненно переносить перерывы в электроснабжении, отсутствие подстилки, пониженная влажность и концентрация вредных газов в зоне нахождения животных.

В качестве нагревательных элементов используют нагревательные провода и кабели, укладываемые в бетонный пол и подключаемые на сетевое или пониженное напряжение. В последнем случае используют специальные понижающие трансформаторы. Для выравнивания потенциалов в пол укладывают металлическую сетку из стальной проволоки диаметром 3 мм с ячейками

800×200 мм. Температуру пола поддерживают его включением и отключением. Основные недостатки электрообогреваемых полов – их высокая материалоемкость и сложность ремонта.

Электрообогреваемые бетонные плиты в значительной мере лишены недостатков электрообогреваемых полов (рис. 6.1, б). Плита представляет собой бетонный блок определенных размеров, например 1400×80×700 мм, внутрь которого уложены нагревательный провод, сетка для выравнивания потенциалов и узел соединения токопроводящих проводов с нагревателями. Напряжение питания одной плиты – 36 или 110 В. Плиты соединяют последовательно и подключают на сетевое напряжение. Их применяют для обогрева небольших помещений (родильные отделения КРС, профилактории, бытовки и т. д.), устанавливая их, подобно отопительным батареям, на стенки, или для монтажа электрообогреваемого пола, что экономичнее сооружения стационарного пола.

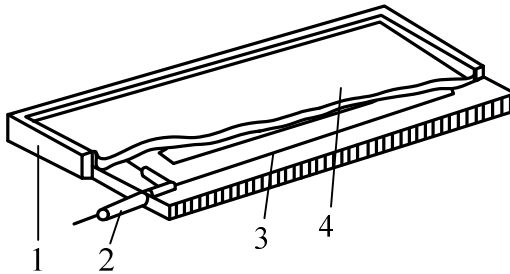


Рис. 6.2. Электрообогреваемый коврик ЭП-935:
1 – металлический каркас; 2 – токоподводящий провод;
3 – нагревательный провод; 4 – химостойкая резина

Электрообогреваемый коврик ЭП-935 (рис. 6.2) относится к напольным средствам обогрева. Коврики применяют для обогрева отдельных участков пола, например, при содержании животных в станках. Нагревательный провод уложен зигзагом между листами винипласта, что обеспечивает ему двойную электрическую изоляцию.

Установка комбинированного обогрева поросят ЭИС-11-И1 «Комби» (рис. 6.3) состоит из 30 обогревателей и шкафа управления.

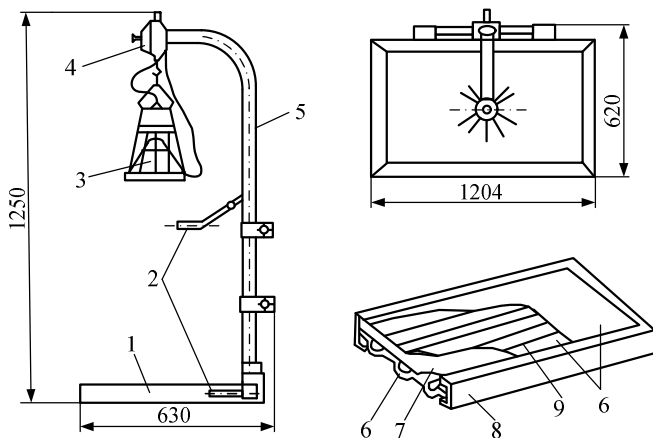


Рис. 6.3. Установка комбинированного электрообогрева ЭИС-11-И1 «Комби»:
 1 – напольная нагревательная панель; 2 – термопреобразователи;
 3 – инфракрасный нагреватель; 4 – коробка с тумблером; 5 – трубостойка;
 6 – пластины из винипласта; 7 – экран из алюминиевой фольги; 8 – каркас;
 9 – нагревательный провод (нихром)

Обогреватель содержит инфракрасный керамический облучатель мощностью 250 Вт и электрообогреваемую панель мощностью 120 Вт. Нагревательным элементом является нихромовая проволока, уложенная в керамику облучателя и в панель.

Схема управления установкой ЭИС-11-И1 «Комби» (рис. 6.4) поддерживает в заданном диапазоне температуру воздуха в зоне действия инфракрасного облучателя и панели, защищает установку от несимметричных режимов работы и замыканий на землю.

Температуру регулируют двумя терморегуляторами (BK1, BK2) типа T419 с термопреобразователями типа TCM (RK1, RK2). Местоположение термопреобразователей показано на рис. 6.3.

Защита от токов утечки выполнена на реле утечки РУД 0,5 (A2). Датчик тока утечки (A1) представляет собой катушку, которая охватывает фазные провода (рис. 6.4).

При несимметричной нагрузке фаз в катушке наводится ЭДС, под действием которой срабатывает реле блока A2 и отключает установку. Исправность реле утечки проверяют кнопкой SB1. При нажатии SB1 реле A2 должно размыкать свой контакт в цепи питания катушек пускателей KM1, KM2 и включать сигнальную

лампу HL3. В исходное состояние схему возвращают отключением и включением QF1.

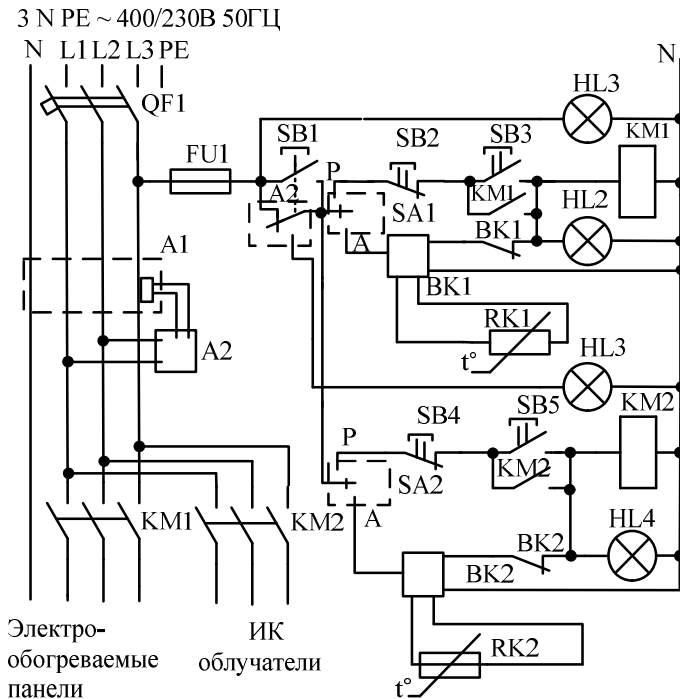


Рис. 6.4. Принципиальная электрическая схема управления установкой ЭИС-11-И1 «Комби»

Методика выполнения работы

1. Изучить устройство, принцип действия, схемы управления установок ЭИС-11-И1 «Комби», коврика ЭП-935 на образцах, представленных в лаборатории, электрообогреваемых полов и панелей по рекомендуемой литературе, методическим указаниям и моделям в лаборатории.

2. Проверить исправность блока защиты от токов утечки в установке «Комби». Для этого включить установку в ручном или автоматическом режиме управления. Нажать кнопку SB1 (рис. 6.4), после чего должно сработать устройство защиты A2. Отключить

установку. Для возврата установки в рабочее состояние выключить и снова включить.

3. Измерить температуру на поверхности обогреваемой панели в зоне размещения датчика температуры и сравнить ее с заданной на шкале терморегулятора.

4. Приборами МТ2 и ЭТП-М измерить температуру на поверхности обогреваемой панели и в пространстве между облучателем и панелью (рис. 6.5). Результаты измерений записать в табл. 6.1. Построить график распределения температуры в зоне обогрева в зависимости от высоты над панелью и расстояния от центра панели (рис. 6.5, б).

Таблица 6.1

Распределение температуры в зоне обогрева установки ЭИС-11-И1 «Комби»

Расстояние от облучателя до обогреваемой панели, м	Расстояние от центра панели, м				
	$l_1 =$	$l_2 =$	$l_3 = 0$	$l_4 =$	$l_5 =$
	Температура t , °C				
H1 =					
H2 =					
H3 =					

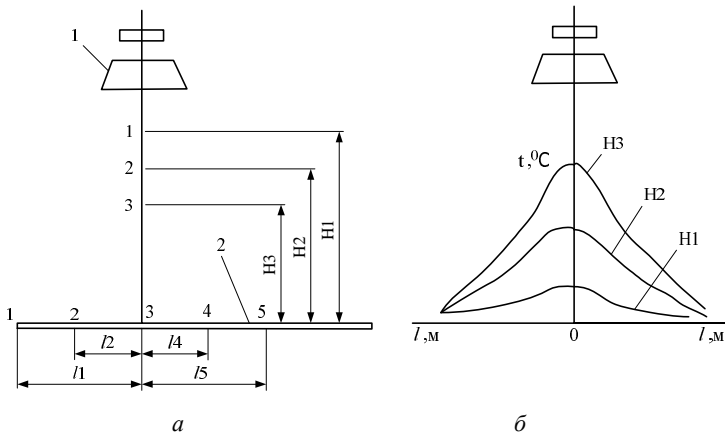


Рис. 6.5. Точки измерения температуры (а) и распределение температуры (б) в зоне обогрева ЭИС-11-И1 «Комби»:

1 – ИК-облучатель; 2 – электрообогреваемая панель

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Общий вид и принципиальная электрическая схема управления установкой ЭИС-11-И1 «Комби».
3. Таблицы с результатами измерений.
4. График распределения температуры в зоне обогрева установки ЭИС-11-И1 «Комби».

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют проблемы и пути их решения при создании оптимального микроклимата для разных возрастных групп животных и птицы?
2. Что означают понятия локального и комбинированного обогрева?
3. Каковы назначение и устройство электрообогреваемых полов? Какие нагревательные элементы используют?
3. Каковы назначение и устройство электрообогреваемых плит, ковриков, панелей?
4. Опишите устройство и перечислите технические характеристики электроустановки ЭИС-11-И1 «Комби».
5. Как работает электрическая схема управления ЭИС-11-И1 «Комби»?
6. Какие есть особенности эксплуатации установок локального электрообогрева?

7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: изучить физические основы электродугового и электроконтактного нагрева, классификацию источников питания, исследовать режимы работы и электрические схемы сварочного выпрямителя ВД-306У3 и машины электроконтактной точечной сварки МТ-501.

Задачи работы:

1. Изучить физические основы электродугового и электроконтактного нагрева, классификацию источников питания.
2. Изучить назначение, устройство, принцип действия, электрические схемы сварочного выпрямителя ВД-306У3 и машины электроконтактной точечной сварки МТ-501.
3. Изучить назначение, устройство, принцип действия сварочного инвертора.
4. Определить внешние характеристики сварочного выпрямителя ВД-306У3.

Общие сведения

Электросварка – это способ получения неразъемного соединения путем прямого электрического нагрева отдельных участков металлических тел до жидкого или пластического состояния с их последующим соединением и охлаждением.

Электрическая дуга – устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах или парах металлов, характеризующийся высокой плотностью тока и низким падением напряжения на катоде.

В сельскохозяйственном производстве основная область применения электродугового нагрева – дуговая электросварка, использующая энергию электрического разряда, возбуждаемого и поддерживаемого между электродом и изделием.

Различают сварку открытой, закрытой под слоем флюса и защищенной в среде газа дугой. Сварка может быть на постоянном и переменном токе, однофазной или трехфазной дугой, плавящимся или неплавящимся электродом с использованием для наплавки присадочного прутка.

В зависимости от степени механизации работ говорят о ручной, полуавтоматической и автоматической сварке.

При питании сварочной дуги постоянным током свариваемые детали чаще всего соединены с положительным полюсом источника (прямая полярность сварки). Вблизи анода выделяется больше теплоты, чем у катода, и металл изделия плавится интенсивнее, чем электрод. Источники питания сварочной дуги должны обеспечивать надежное зажигание и устойчивое горение дуги в процессе сварки, возможность регулирования сварочного тока, безопасность обслуживания. Они должны иметь достаточно высокие технико-экономические (КПД, $\cos\varphi$) и другие показатели.

Надежность зажигания дуги повышается с возрастанием напряжения холостого хода источника питания U_0 , которое должно быть больше напряжения дуги U_d в установившемся режиме. Значения U_d лежат в пределах 25...50 В для ручной сварки открытой дугой, 30...40 В – для сварки под флюсом и 20...30 В – для сварки в среде защитных газов. По условиям техники безопасности напряжение холостого хода источника питания ограничивают величиной 90 В.

Основной характеристикой источника питания является его внешняя характеристика, представляющая собой зависимость напряжения источника от тока нагрузки $U_{и} = f(I_d)$. По форме внешняя характеристика источника может быть крутопадающей, пологопадающей, жесткой (рис. 7.1), а также возрастающей.

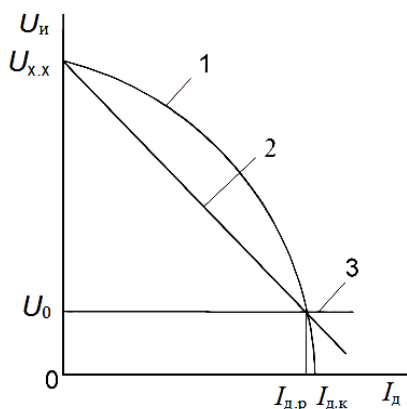


Рис. 7.1. Внешние характеристики источника питания сварочной дуги:
1 – крутопадающая; 2 – пологопадающая; 3 – жесткая

Для устойчивого горения дуги форма внешней характеристики источника питания $U_{и} = f(I_{д})$ должна соответствовать форме статической характеристики дуги $U_{д} = f(I_{д})$.

Аналитически устойчивость дуги определяют коэффициентом устойчивости

$$K_y = \left(\frac{\partial U_{д}}{\partial I} - \frac{\partial U_{и}}{\partial I} \right)_{I=I_p} > 0. \quad (7.1)$$

Условие (7.1) выполняется, если при падающей характеристике дуги внешняя характеристика источника будет более падающей, а при возрастающей – более возрастающей. Для ручной сварки используют источники питания с крутопадающей характеристикой. Такая форма обеспечивает устойчивость горения дуги и ограничивает ток короткого замыкания ($I_{д.к}$), который по отношению к рабочему току ($I_{д.р}$) не должен выходить за пределы $I_{д.к} / I_{д.р} = 1,25 \dots 2,0$.

При автоматической сварке под флюсом, в среде защитных газов и некоторых других видах сварки применяют источники с пологопадающей и жесткой характеристиками.

Для ручной дуговой сварки переменным током источниками питания служат *сварочные трансформаторы* с первичным напряжением 220 или 380 В. Однопостовые сварочные трансформаторы имеют падающую внешнюю характеристику и по способу регулирования сварочного тока подразделяются на две группы: трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой-дресселем и трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием, к которым относятся три основных типа: трансформаторы с подвижными катушками, трансформаторы с магнитным шунтом, трансформаторы с витковым (ступенчатым) регулированием.

Наиболее распространены трансформаторы с подвижными катушками, у которых регулирование сварочного тока осуществляют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Источниками для сварки постоянным током служат сварочные генераторы (преобразователи) и сварочные выпрямители.

Выпрямитель сварочный ВД-306УЗ предназначен для питания электрической сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов при трехфазном питании от сети переменного тока.

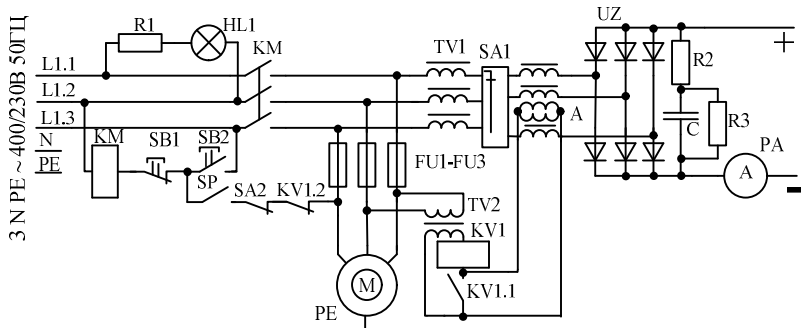
Технические данные сварочного выпрямителя ВД-306УЗ:

номинальное первичное напряжение, В	220 или 380
вторичное напряжение холостого хода, В	60...70
номинальное вторичное напряжение, В	22...32
номинальный сварочный ток при ПВ = 60 %, А	315
пределы регулирования сварочного тока, А:	
– основной диапазон	126...315
– вспомогательный диапазон	45...125
потребляемая мощность, кВА	24
коэффициент полезного действия	0,7.

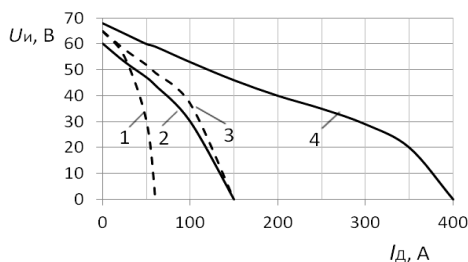
Установка (рис. 7.2) состоит из понижающего трехфазного силового сварочного трансформатора TV1 с подвижными катушками, выпрямительного кремниевого блока UZ с вентилятором, пусковой и защитной аппаратуры, тележки, кожуха. Все составные части выпрямителя смонтированы на тележке и защищены кожухом.

Напряжение, необходимое для сварки, падающая внешняя характеристика выпрямителя и регулирование сварочного тока обеспечиваются трехфазным силовым трансформатором TV1 с повышенной индуктивностью рассеяния. Повышенная индуктивность рассеяния создается специальной конструкцией первичной и вторичной обмоток с расположением их вдоль стержней сердечника на некотором расстоянии друг от друга.

Выпрямитель ВД-306 УЗ имеет два диапазона регулирования сварочного тока, устанавливаемых переключателем SA1: диапазон малых токов (при соединении первичной и вторичной обмоток трансформатора по схеме Y/Y) и диапазон больших токов (по схеме Δ / Δ). Для исключения возможности переключения диапазонов под нагрузкой служит микровыключатель SA2, смонтированный в переключатель SA1. Плавное регулирование сварочного тока внутри каждого диапазона производят путем изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками.



a



б

Рис. 7.2. Принципиальная электрическая схема управления сварочным выпрямителем ВД-306 У3 (а) и его внешние характеристики (б):
 — диапазон больших токов (Δ/Δ); --- диапазон малых токов (Y/Y);
 1, 2 – при сдвинутых обмотках; 3, 4 – при раздвинутых обмотках

Установку включают кнопкой SB2, которую необходимо удерживать в нажатом состоянии до тех пор, пока не придет во вращение вентилятор и не сработает реле потока SP. Аварийное отключение в зависимости от причины аварии может осуществляться с помощью реле потока SP (при прекращении или снижении уровня обдува вентиляей) или узлом защиты А (при пробое вентиляей выпрямителя UZ или замыканиях на корпус вторичных обмоток трансформатора TV1).

Узел защиты состоит из магнитного усилителя А, вспомогательного трансформатора TV2 и реле KV1. Обмотками управления служат провода двух фаз вторичной обмотки трансформатора TV1, проходящие через окна двух тороидальных сердечников магнитного

усилителя. Эти провода соединяют вторичную обмотку трансформатора с выпрямительным блоком. Необходимость наличия в окнах сердечников проводов двух фаз объясняется тем, что узел защиты должен обеспечивать отключение выпрямителя при соединении фаз вторичной обмотки TV1 как в звезду, так и в треугольник. Обмотка реле KV1 и включенные параллельно рабочие обмотки магнитного усилителя питаются от вспомогательного трансформатора TV2.

В нормальных (неаварийных) условиях работы сердечники магнитного усилителя не насыщены, величина напряжения вторичной обмотки TV2 не достаточна для срабатывания реле KV1. В аварийных режимах (например, при пробое $p-n$ – перехода вентиля) в фазных вторичных обмотках трансформатора TV1 появляются постоянные составляющие, вызывающие насыщение сердечника усилителя А, реле KV1 срабатывает, снимает питание с катушки электромагнитного пускателя КМ, контакты которого размыкаются и отключают трансформатор и двигатель вентилятора, процесс сварки прерывается. В схеме предусмотрена самоблокировка реле KV1 с помощью замыкающего контакта KV1.1.

В настоящее время все шире применяются *сварочные инверторы*, имеющие лучшие эксплуатационные и экономические показатели.

Чаще используют схемы выпрямителя с транзисторным или тиристорным инвертором (рис. 7.3).

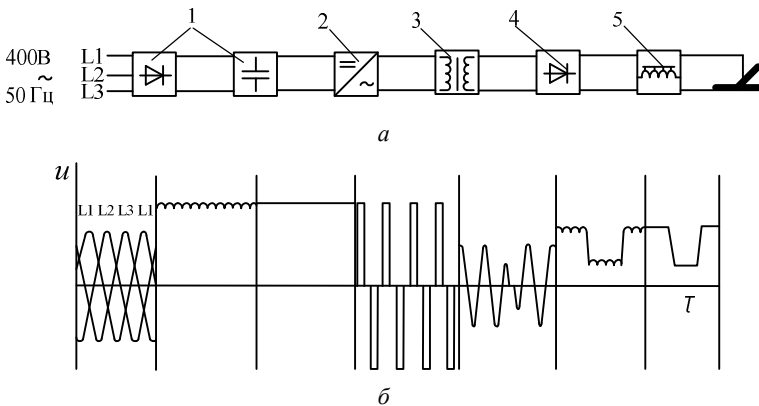


Рис. 7.3. Блок-схема (а) и осциллограммы напряжений (б) сварочного инвертора:
 1 – сетевой выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – высокочастотный трансформатор;
 4 – выходной выпрямитель; 5 – дроссель

Основные достоинства сварочных инверторов: малые габариты и масса (5...10 кг); уменьшенные размеры силового трансформатора; потребление в 2...3 раза меньшей мощности по сравнению с выпрямителями традиционной конструкции, КПД 85...90 %, высокая электробезопасность; микропроцессорное управление сварочного инвертора обеспечивает устойчивую обратную связь тока и напряжения на дуге с выходными параметрами аппарата (при зажигании дуги генерируется дополнительный импульс тока, а при коротком замыкании сварочный ток сразу отключается); значительно более широкий диапазон регулировки сварочного тока, что особенно важно при сварке тонкими электродами (диаметром 1,6 или 2,0 мм).

Электроконтактная сварка основана на использовании теплоты, выделяющейся непосредственно в свариваемом стыке за счет протекания через свариваемые детали электрического тока, и имеет следующие разновидности: стыковая, точечная, шовная (роликовая). Сварку выполняют переменным однофазным током большой силы (до тысяч и десятков тысяч ампер) при малых напряжениях (единицы вольт) или мощными однополярными импульсами тока (точечная или стыковая сварка).

Машина МТ-501 (рис. 7.4) предназначена для электроконтактной точечной сварки деталей из листовой стали и состоит из корпуса, сварочного трансформатора, устройства зажима деталей, системы водяного охлаждения электродов, регулятора режимов сварки.

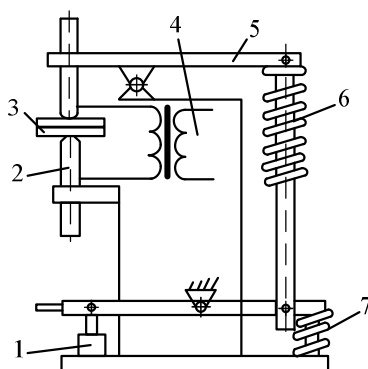


Рис. 7.4. Конструктивная схема машины для электроконтактной точечной сварки:
 1 – электропневматический привод сжатия электродов; 2 – электроды;
 3 – свариваемое изделие; 4 – сварочный трансформатор;
 5...7 – элементы рычажного привода сжатия электродов

Принципиальная электрическая схема машины (рис. 7.5) включает силовые цепи питания, сварочный трансформатор TV1 с переключателями ступеней мощности SA1...SA3, электропневматический клапан Y, контактор включения трансформатора KM, двухпозиционный регулятор цикла сварки, собранный на электронной лампе VL, обеспечивающий регулировку времени нагрева и времени паузы. Регулирование силы сварочного тока осуществляют ступенчато, путем изменения коэффициента трансформации TV1 с помощью переключателей SA1...SA3, которые имеют по две рабочие позиции и одну холостую.

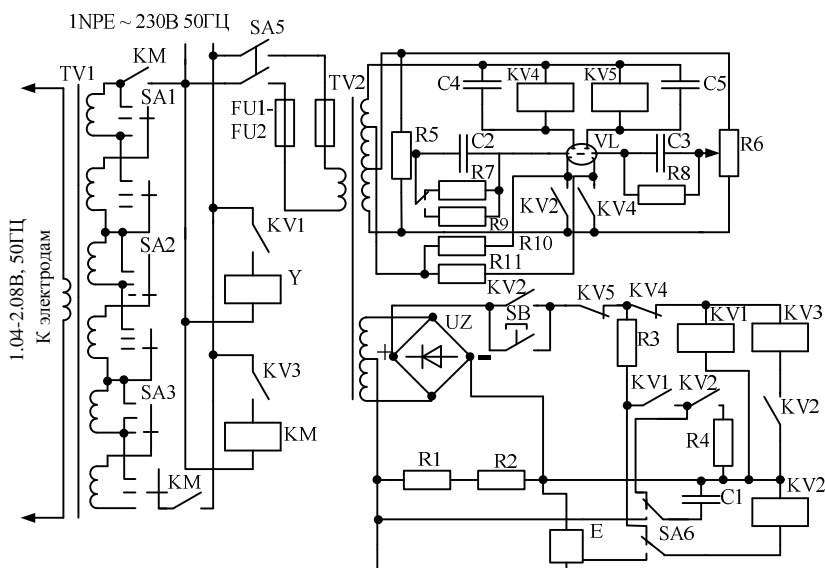


Рис. 7.5. Принципиальная электрическая схема машины электроконтактной точечной сварки МТ-501

Регулятор времени подключают к питающей сети пакетным выключателем SA5. После включения питания происходит запитка электронной лампы VL и заряд конденсаторов C2 и C3 через резисторы R10, R11 и электронную лампу.

Рабочий цикл машины начинается с момента нажатия на педальную кнопку SB, при этом замыкается цепь питания реле KV1, одновременно с включением реле начинается заряд конденсатора C1,

включенного параллельно катушке реле KV2. Когда напряжение на C1 достигает величины, необходимой для срабатывания реле KV2, последнее включается и своим контактом замкнет цепь питания реле KV3, управляющего контактором КМ. Сработав, контактор КМ включает в цепь нагревательный трансформатор TV1. Одновременно замыкающие контакты KV2 включают выдержку времени «Сварка», блокируют педальную кнопку SB и переключают конденсатор C1 на разряд через резистор R4. Выдержку времени «Сварка» определяют параметры электронного реле времени, выполненного на левом триоде электронной лампы VL и реле KV4.

Предварительно заряженный конденсатор C2 прикладывает к сетке триода запирающее напряжение. При замыкании контакта SA4 конденсатор C2 начинает разряжаться на резистор R9 (или R7). Как только напряжение на конденсаторе C2 станет достаточным для отпирания лампы, левый триод откроется, и реле KV4 сработает. Контакты в цепи правого триода включают выдержку времени «Пауза», а размыкающий контакт отключает цепь питания реле KV1 и KV3. Трансформатор отключается, и электроды (в режиме сварки) освобождают детали.

Выдержку времени «Пауза» определяют параметры электронного реле времени, выполненного на правом триоде лампы VL и реле KV5. По истечении выдержки времени «Пауза» (определяемой разрядом конденсатора C3) сработает реле KV5 и размыкающим контактом отключит реле KV2 и KV4, приведя схему в исходное состояние. Работа регулятора закончится выключением реле KV5.

Продолжительность выдержек «Сварка» и «Пауза» регулируется с помощью переменных резисторов R5 и R6. Выдержка времени «Сварка» имеет два диапазона, определяемых величиной резисторов R7 и R9.

Бесконтактный выключатель БВК (Е) используют при работе с педальным приводом. При нажатии на педаль срабатывает выключатель Е и включает реле KV2, которое приводит в действие реле KV3. Начинается протекание сварочного тока и отсчет интервала «Сварка». После отработки этой выдержки реле KV4 отключит KV3 и, следовательно, трансформатор. Цепь реле KV5 разомкнется, и схема окажется в исходном состоянии после того, как отпустят педаль и выключат БВК.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить основы электродугового и электроконтактного нагрева, классификацию и области применения электросварочных установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Испытание сварочного выпрямителя ВД-306У3 провести на лабораторном стенде (рис. 7.6) после изучения устройства, принципа действия, электрической схемы и правил обслуживания установки.

Выпрямитель включают нажатием кнопки «Пуск». Кнопку следует удерживать в нажатом состоянии до тех пор, пока не придет во вращение вентилятор и не сработает реле потока SP. Необходимо убедиться, что вентилятор вращается в нужном направлении – воздух должен засасываться со стороны лицевой панели.

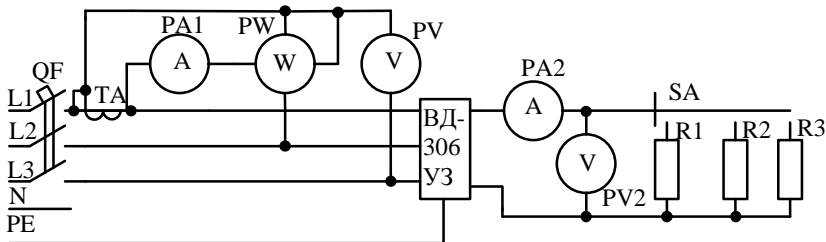


Рис. 7.6. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки:
R1, R2, R3 – нагрузочные сопротивления

В случае неправильного вращения вентилятора следует поменять местами два провода питания выпрямителя, предварительно отключив его от сети. При перерывах в работе выпрямитель должен быть отключен нажатием красной кнопки «Стоп».

Нагрузку выпрямителя в лабораторных условиях имитируют сопротивлениями R1, R2, R3, а расстояние между обмотками изменяют вращением ходового винта с помощью рукоятки на верхней крышке кожуха.

В работе необходимо снять и построить 5 внешних характеристик, соответствующих пяти положениям регулятора силы тока при изменении нагрузки (сопротивлений R1, R2, R3).

Силу тока в зависимости от расстояния между обмотками устанавливают по шкале регулятора (окошко в верхней крышке кожуха), на которой нанесены деления от 1 до 9. Большая цифра соответствует большей силе тока.

При выполнении работы для уменьшения износа механизма регулятора фиксируют его положения (2, 3, 4, 5, 6) и для каждого из них изменяют величину нагрузки: R = ∞ (холостой ход); R1 = 1,26 Ом; R2 = 0,63 Ом; R3 = 0,42 Ом.

Показания приборов и результаты вычислений записывают в табл. 7.1, где индекс 1 имеют величины, относящиеся к первичной цепи выпрямителя, индекс 2 – к вторичной.

Каждая цифра шкалы регулятора соответствует определенному расстоянию между обмотками (l = 2, 3, 4 и т. д.).

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1} .$$

КПД выпрямителя:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} .$$

Таблица 7.1

Внешние и энергетические характеристики сварочного выпрямителя ВД-306У3

Положение регулятора	R, Ом	Измерено					Вычислено		
		U ₁ , В	I ₁ , А	P ₁ , кВт	U ₂ , В	I ₂ , А	P ₂ , кВт	cosφ, о.е.	η, %
2	х.х. 1,26 0,63 0,42								

Положение регулятора	R, Ом	Измерено					Вычислено		
		U_1 , В	I_1 , А	P_1 , кВт	U_2 , В	I_2 , А	P_2 , кВт	$\cos\varphi$, о.е.	η , %
3	х.х. 1,26 0,63 0,42								
4	х.х. 1,26 0,63 0,42								
5	х.х. 1,26 0,63 0,42								
6	х.х. 1,26 0,63 0,42								

Содержание отчета:

1. Электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ.
2. Результаты измерений и вычислений.
3. Цель и задачи работы.
4. Графические зависимости $U_2(I_2)$, $U_2(I)$, $\cos\varphi(I_2)$, $\eta(I_2)$, $I_2(I)$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Объясните понятие «электрическая дуга».
2. Какие требования предъявляют к источникам питания сварочной дуги и какие условия устойчивого горения дуги?
3. Какие формы может иметь внешняя характеристика источника питания сварочной дуги?

4. В чем заключается практическая значимость статической вольт-амперной характеристики сварочной дуги?

5. Как работает принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ?

6. Опишите устройство и принцип действия сварочного инвертора.

7. Перечислите основные достоинства и недостатки сварочных инверторов.

8. Объясните физические основы электроконтактного нагрева.

9. Как работает принципиальная электрическая схема машины электроконтактной точечной сварки МТ-501?

10. Назовите основные правила техники безопасности при эксплуатации электросварочного оборудования.

8. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Цель работы: изучить физические основы индукционного нагрева, назначение, устройство, принцип действия, исследовать режимы работы и энергетические характеристики установки индукционного нагрева.

Задачи работы:

1. Изучить физические основы индукционного нагрева, назначение, устройство, принцип действия, энергетические характеристики установки ВЧИ4-10/0,44, конструктивное исполнение индукторов.

2. Установить зависимость между анодным напряжением и напряжением на индукторе, его мощностью и напряженностью магнитного поля.

3. Исследовать влияние удельного сопротивления и магнитной проницаемости металла на глубину проникновения тока и поглощаемую мощность.

4. Исследовать влияние зазора между изделием и индуктором на поглощаемую мощность, скорость нагрева, теплоперепад, КПД, коэффициент мощности.

Общие сведения

Установка индукционного нагрева (рис. 8.1) включает источник питания UZ , колебательный контур (конденсатор C – первичная обмотка L высокочастотного понижающего (согласующего) трансформатора TV), индуктор EK , внутрь которого помещается нагреваемое металлическое изделие A .

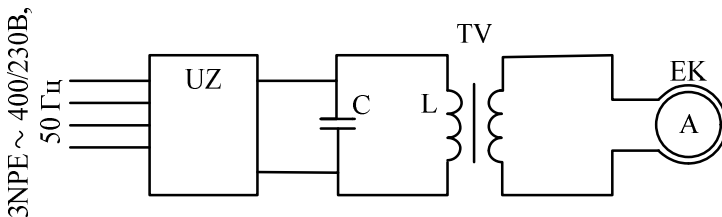


Рис. 8.1. Упрощенная блок-схема установки индукционного нагрева

Индукционный нагрев основан на законах электромагнитной индукции и Джоуля – Ленца. Переменный электрический ток, протекающий по индуктору, создает переменное магнитное поле, которое проникает в металлическое тело, наводит в нем переменную ЭДС и токи, нагревающие его. Для индукционного нагрева используют частоты от 50 Гц до 5 МГц.

Энергия электромагнитного поля, поступающая в металл и расходуемая на нагрев (P_S – поверхностная плотность потока энергии, Вт/м², в теле на расстоянии z_a , м, от его поверхности (рис. 8.2)), равна:

$$P_S = \frac{1}{2} \rho k H_0^2 e^{-2kz}, \quad (8.1)$$

где ρ – удельное сопротивление металла, Ом·м; k – коэффициент затухания волны, м⁻¹; H_0 – действующее значение напряженности магнитного поля на поверхности тела, А/м; $e = 2,71$ – основание натурального логарифма.

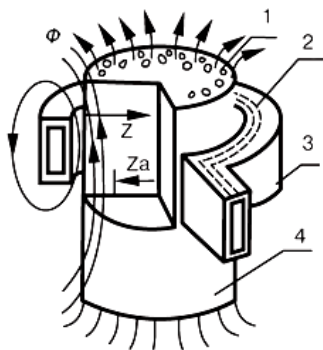


Рис. 8.2. Условное распределение магнитного потока Φ и токов в металлическом теле:

1, 2 – токи в нагреваемом металле и индукторе;

3 – индуктирующий провод; 4 – металлическое тело;

z – расстояние от поверхности вглубь тела; z_a – глубина проникновения тока

Величина поглощаемой мощности зависит от электрических свойств металла (удельного электрического сопротивления ρ ,

магнитной проницаемости μ) и параметров магнитного поля (частоты f , напряженности H). По мере проникновения электромагнитной волны вглубь тела ее мощность убывает по экспоненте, как указано в уравнении (8.1).

Глубиной проникновения тока z_a называют расстояние от поверхности металла вглубь, на которой амплитуда электромагнитной волны уменьшается в e (2,41) раз. Она зависит от свойств металла и частоты тока:

$$z_a = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} . \quad (8.2)$$

В слое толщиной z_a выделяется 86 % поглощенной мощности. С целью упрощения расчетов учитывают только эту мощность.

Индукторы классифицируют: по технологическому назначению – закалочные, нагревательные, сварочные и др.; по принципу действия – периодического или непрерывного; рабочей частоте и конструктивному исполнению.

Конструктивное исполнение индукторов может быть самым разнообразным и зависит главным образом от технологического назначения. Принципиально индуктор (рис. 8.3) состоит из индуктирующего провода, токоподводящих шин, узла подключения охлаждающей воды.

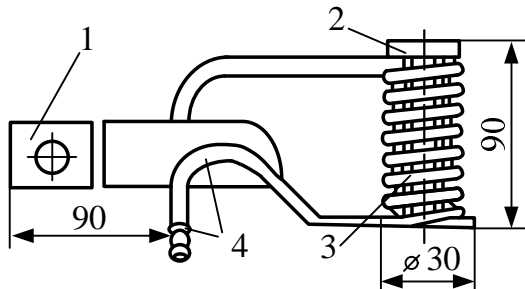


Рис. 8.3. Нагревательный индуктор периодического действия:
1 – токоподводящие шины; 2 – керамические втулки (тепловая изоляция);
3 – индукционный провод; 4 – водоохлаждаемая трубка со штуцером

Индуктирующий провод изготавливают из медной трубки круглого или прямоугольного сечения. Медь обладает низким удельным сопротивлением и меньшими потерями мощности в индукторе. Толщина стенки трубки индуктора составляет $(1,6 \dots 3,0) z_a$.

Индуктор и изделие образуют электрическую систему с общим сопротивлением, которую характеризуют мощностью, поглощаемой изделием, КПД, коэффициентом мощности.

Удельная поверхностная мощность, Вт/м^2 , поглощаемая изделием, при условии, что удельное сопротивление ρ_2 и магнитная проницаемость μ_2 изделия в процессе нагрева неизменны, определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_0 = 10^{-3} H_0^2 \sqrt{\rho_2 \mu_2} f. \quad (8.3)$$

Поглощаемая мощность в реальных условиях изменяется в процессе нагрева, так как электрические свойства металла зависят от температуры. При температуре выше точки Кюри ($\mu_2 = 1$, $\rho_2 = \text{const}$) мощность снижается до установившегося значения и дальше не изменяется. При изменении ρ_2 , μ_2 меняется ток индуктора и напряженность магнитного поля, что также влияет на мощность.

КПД системы «индуктор – изделие» зависит от частоты и зазора между индуктором и изделием. При оптимальном соотношении частоты и диаметра цилиндрической заготовки КПД достигает предельного значения:

$$\eta_{\text{пред}} = \frac{P_2}{P_1} = \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2 \mu_2}} \right), \quad (8.4)$$

где P_1 – активная мощность, подведенная к индуктору; P_2 – полезная мощность, переданная в изделие; r_1 , r_2 – радиусы индуктора и изделия; ρ_1 – удельное сопротивление индуктирующего провода; ρ_2 – удельное сопротивление изделия.

Коэффициент мощности снижается с увеличением частоты и зазора:

$$\cos \varphi = \frac{r_{\text{н}}}{z_{\text{н}}} = \frac{503}{a} \sqrt{\frac{\rho_2 \mu_2}{2f}}, \quad (8.5)$$

где r_H , z_H – активное и полное сопротивления системы «индуктор – изделие»; a – воздушный зазор между индуктором и изделием.

Основным фактором, влияющим на характеристики системы «индуктор – изделие», является частота тока. При закалке частоту тока выбирают исходя из требований высокого термического КПД и стремятся, чтобы при температуре свыше 800 °С $z_a = (1...3) X_k^2$. Это условие выполняется при частоте закалки

$$f_{\text{опт}} \approx \frac{0,06}{X_k^2}, \quad (8.6)$$

где X_k – глубина закаленного слоя, м.

При сквозном нагреве величину частоты определяют электрический КПД индуктора и равномерность нагрева. Диапазон частот при нагреве: $3/d_2^2 \leq f \leq 6/d_2^2$.

На практике при выборе частоты исходят из рекомендаций (табл. 8.1), где d_2 – диаметр цилиндра или ширина пластины.

Источники питания индукционных установок предназначены для преобразования токов промышленной частоты в токи высокой частоты. Различают машинные (0,5...10 кГц), статические (0,15...1,3 кГц), ламповые (66, 440 кГц) преобразователи.

Таблица 8.1

Рекомендуемая частота тока для сквозного нагрева стальных заготовок

f , кГц	0,05	0,5	1,0	2,5	4,0	8,1	66
d_2 , мм	160	70...160	60...120	40...80	30...60	20...40	10...20

Применительно к задачам работы рассмотрим устройство и принцип действия лампового преобразователя на примере генератора ВЧИ4-10/0,44 (рис. 8.4), который состоит из следующих основных узлов: источника питания, генераторного блока, аппаратуры управления и защиты. Источник питания содержит: блок регулирования напряжения А1, повышающий (анодный) трансформатор TV1, анодный выпрямитель VD1...VD6.

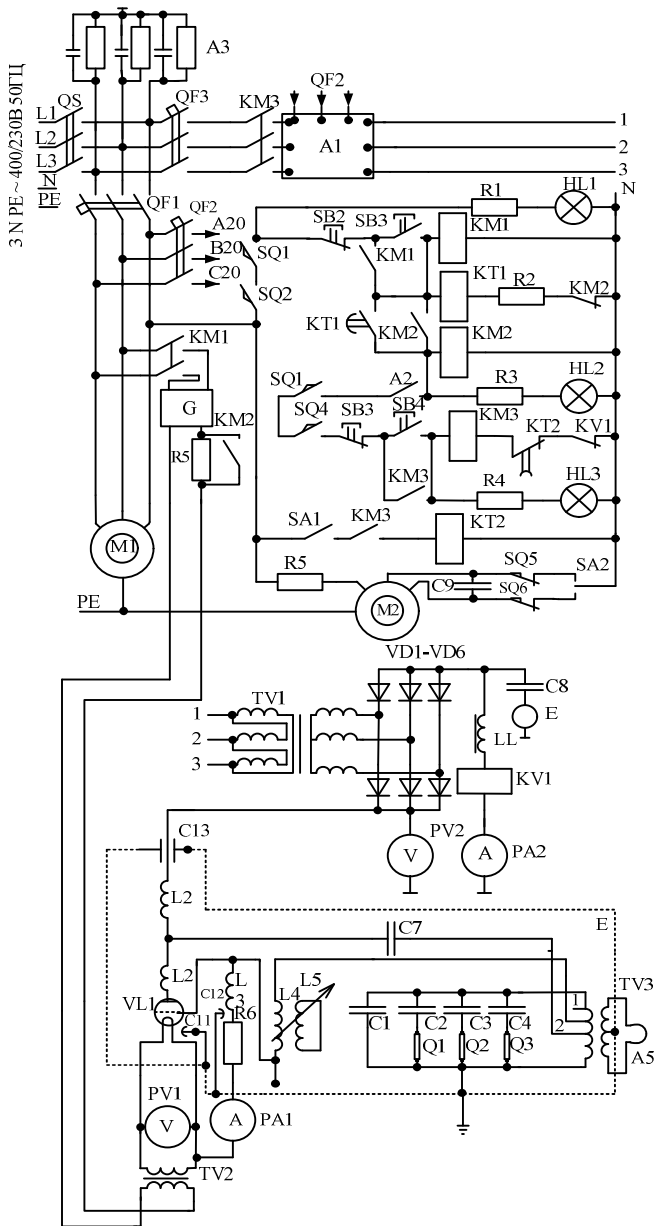


Рис. 8.4. Принципиальная электрическая схема установки ВЧИ4-10/0.44

Блок регулирования А1 может изменять величину сетевого напряжения от 0 до 380 В. При подаче напряжения постоянного тока от выпрямителя VD1...VD6 на генераторный блок Е в колебательном контуре автоматически возникает резонанс токов.

Генерируемая частота определяется величиной емкости C и индуктивности L колебательного контура:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (8.7)$$

Энергию, расходуемую в колебательном контуре на нагрев изделия, токоподводящих шин и проводов, восполняют подзарядкой конденсаторов С1...С4 от источника питания. Частота подзарядки конденсаторов совпадает с частотой колебаний и направлением токов в резонансной цепи, момент подзарядки определяют запирианием и отпиранием генераторной лампы.

Для этого на сетку лампы с конденсатора С6 подают напряжение обратной связи, изменявшееся в такт изменению напряжения на колебательном контуре, которое управляет лампой.

Индуктивность $L1$ и емкость $C7$ разделяют цепи переменного и постоянного токов. Индуктивности $L2$, $L3$ ограничивают, а конденсаторы $C11$, $C12$, $C13$ блокируют переменную составляющую анодной и сеточной цепей. При изменении индуктивности нагрузки колебательный контур настраивают подбором величины емкости переключками $Q1...Q3$.

Ток сетки согласуют с анодным током напряжением обратной связи за счет перемещения индуктивности $L5$ относительно $L4$ (тумблер SA2, электродвигатель M2). При этом изменяется полное сопротивление делителя $L4$, $C5$, $C6$, напряжение на $C6$ и угол между напряжением на сетке и колебательном контуре.

В оптимальном режиме ток сетки должен составлять 20...25 % величины анодного тока. Напряжение на индукторе изменяют за счет регулирования напряжения источника питания и коэффициентом трансформации TV3 (провод от $C7$ в положении 1 или 2).

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить

основы индукционного нагрева, классификацию и области применения установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Оборудование индукционного нагрева изучить на примере установки ВЧИ4-10/0,44 и индукторов, представленных в лаборатории.

Характеристики индуктора установки ВЧИ4-10/0,44 записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Характеристики индуктора

Индуктивный провод					Индуктор			
Материал	Форма	Сечение, мм ²	Толщина стенки, мм	Конструктивное исполнение	Количество витков, шт.	Высота, мм	Диаметр, мм	
							вн.	нар.

2. Прочитать краткую инструкцию «Подготовка и работа на генераторе ВЧИ4-10/0,44». Согласно инструкции и схеме управления (рис. 8.4) включить генератор.

Задатчиком «Регулятор напряжения» установить нужное анодное напряжение U_a и по приборам на лабораторном стенде определить напряжение U_1 и напряженность магнитного поля H индуктора, анодный I_a и сеточный I_c токи генератора. Результаты записать в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Зависимость напряженности магнитного поля и мощности ненагруженного индуктора от анодного напряжения

U_a , В	I_a , А	I_c , А	U_1 , В	H , А · м ⁻¹	P_1 , Вт

3. Заготовки одинаковых геометрических размеров из стали Ст.3 и меди М1 поочередно поместить в индуктор и нагреть при одинаковом напряжении и продолжительности. Продолжительность нагрева установить с помощью реле времени КТ2 (рис. 8.4). Глубину проникновения тока определить визуально по изменению цвета поверхности заготовок и расчетным путем.

Поглощаемую мощность найти методом калориметрирования. Для этого заготовки сразу после окончания нагрева сбросить специальным устройством в калориметр.

Измерить температуру воды в калориметре до и после погружения заготовок. Результаты измерений записать в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Влияние электрических свойств металла на глубину проникновения тока и поглощаемую мощность

Металл	ρ_2 , Ом·м	μ_2 , о.е.	C_2 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Измерено					Вычислено		
				m_2 , кг	m_b , кг	t_{B1} , $^\circ\text{C}$	t_{B2} , $^\circ\text{C}$	τ , с	$z_{a,x}$, м	$z_{a,g}$, м	P_2 , кВт
Сталь	$1,8 \cdot 10^{-7}$	5...10	0,67								
Медь	$0,18 \cdot 10^{-7}$	1	0,42								

В табл. 8.4: m_2 , m_b – масса заготовки и воды в калориметре; t_{B1} , t_{B2} – температура воды в калориметре до и после погружения заготовки; τ – продолжительность нагрева; P_2 – мощность, поглощенная заготовкой; $z_{a,x}$, $z_{a,g}$ – глубина проникновения тока в холодном ($t < 700^\circ\text{C}$) и горячем ($t > 800^\circ\text{C}$) режимах.

4. На индукторе установить требуемое напряжение. Заготовки различных диаметров из стали Ст.3 поочередно поместить в индуктор, обеспечив равномерный по периметру зазор. Термопары, приваренные к поверхности заготовки, подключить к прибору измерения температуры. Установить на реле времени продолжительность нагрева. Включить нагрев. После автоматического окончания нагрева заготовку сбросить в калориметр. Данные измерений записать в табл. 8.5 и 8.6.

Таблица 8.5

Влияние зазора между индуктором и изделием на характеристики нагрева
(исходные данные)

d_1 , мм	d_2 , мм	m_2 , кг	U_a , В	U_1 , В	I_{ay} , А	τ , с	m_B , кг	t_{B1} , °С	t_{B2} , °С

Таблица 8.6

Кинетика индукционного нагрева заготовок различного диаметра

τ , с	$d_1 =$ мм			$d_2 =$ мм		
	t_o , °С	$t_{ц}$, °С	Δt , °С	t_o , °С	$t_{ц}$, °С	Δt , °С

С учетом данных табл. 8.5 и 8.6 определить мощность, поглощаемую изделием, скорость нагрева, средний теплоперепад, КПД и $\cos\varphi$. Результаты записать в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Влияние зазора между индуктором и изделием
на характеристики индукционного нагрева

$a = \frac{d_1 - d_2}{2}$, мм	t_1 , °С	t_2 , °С	$\frac{\Delta t}{\Delta \tau}$, °С/с	Δt_{cp} , °С	P_2 , Вт	η , о.е.	$\cos\varphi$, о.е.

В табл. 8.5...8.7: d_1 , d_2 – диаметр индуктора (внутренний) и заготовки; t_o , $t_{ц}$ – температура поверхности и центра заготовки; Δt – теплоперепад; I_{ay} – анодный ток в установившемся (горячем) режиме нагрева; $\Delta t / \Delta \tau$ – средняя скорость нагрева; Δt_{cp} – средний теплоперепад; t_1 , t_2 – начальная и конечная температуры заготовки.

При вычислении глубины проникновения (по формуле 8.2) значение ρ_2 взять из табл. 8.4. Величину μ_2 в холодном режиме определить по величине H (табл. 8.3) на рис. 8.5, в горячем режиме $\mu_2 = 1$. Частота тока $f = 440$ кГц.

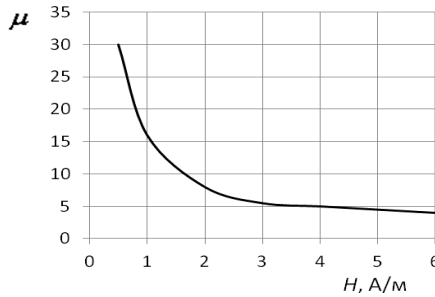


Рис. 8.5. Зависимость магнитной проницаемости сталей от напряженности магнитного поля

Мощность индуктора:

$$P_1 = U_a P_a / \eta_k, \quad (8.8)$$

где $\eta_k = 0,7$ – КПД генераторного блока.

Мощность, поглощаемая заготовкой, находится по методу калориметрирования:

$$P_2 = \frac{(m_B C_B + m_2 C_2)(t_{B2} - t_{B1})}{\tau}, \quad (8.9)$$

где C_B – удельная теплоемкость воды, $C_B = 4190$ Дж/(кг·°С); C_2 – удельная теплоемкость металла, Дж/(кг·°С) (см. табл. 8.4).

Температурный перепад и средний температурный перепад:

$$\Delta t = t_0 - t_{ц}; \quad (8.10)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2}. \quad (8.11)$$

Скорость нагрева:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{t_2 - t_1}{\tau}. \quad (8.12)$$

Коэффициент мощности определить в горячем режиме по формуле (8.5).

Коэффициент полезного действия определить приближенно по экспериментальным данным и по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{I_{a\text{cp}} U_a \cos \varphi}, \quad (8.13)$$

где $I_{a\text{cp}}$ – средний анодный ток, $I_{a\text{cp}} = 1,25I_{a\text{y}}$, А; P_1 – активная мощность, подводимая к индуктору, Вт.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Эскиз цилиндрического индуктора.
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Графические зависимости:
на одном графике – $U_1(U_a)$, $H(U_a)$, $P_1(U_a)$;
на втором – $t_o(\tau)$, $t_c(\tau)$;
на третьем – $P_2(a)$, $\frac{\Delta t}{\Delta \tau}(a)$, $\eta(a)$, $\cos \varphi(a)$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Какие законы определяют сущность индукционного нагрева?
2. Что означает понятие «глубина проникновения электромагнитной волны в материал»?
3. От каких параметров зависит удельная поверхностная мощность, поглощаемая изделием при индукционном нагреве?
4. Из каких элементов состоит упрощенная блок-схема установки индукционного нагрева?
5. Для чего предназначены и как конструктивно устроены индукторы? Как их классифицируют?
6. Перечислите основные характеристики системы «индуктор – изделие».
7. В чем заключается принцип работы генератора ВЧИ4-10/0,44?
8. В каких областях сельского хозяйства применяется индукционный нагрев?

9. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК КОНДЕНСАТОРНОГО НАГРЕВА

Цель работы: изучить физические основы конденсаторного нагрева, назначение, устройство, принцип действия, электрическую схему установки ВЧД2-2,5/81, исследовать режимы работы и энергетические характеристики конденсаторного нагрева.

Задачи работы:

1. Изучить физические основы конденсаторного нагрева, назначение, устройство, принцип действия установки ВЧД2-2,5/81.
2. Изучить принцип генерирования токов высокой частоты ламповыми преобразователями, электрическую схему управления установкой ВЧД2-2,5/81.
3. Определить мощность и КПД установки, расход электроэнергии на сушку, распределение температуры по толщине нагреваемого образца.

Общие сведения

Установка конденсаторного нагрева (рис. 9.1) включает источник питания UZ (высокочастотный генератор), колебательный контур (индуктивность L – рабочий конденсатор C), внутрь которого помещается нагреваемое изделие A.

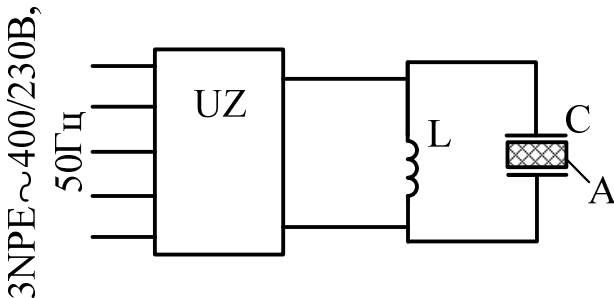


Рис. 9.1. Упрощенная блок-схема установки конденсаторного нагрева

Конденсаторный нагрев является прямым бесконтактным нагревом неэлектропроводящих материалов в электрическом поле частотой от 5 до 300 МГц. В основе конденсаторного нагрева лежит поляризация вещества (электронная, ионная, дипольная, межслойная и др.) и знакопеременное с частотой поля смещение связанных зарядов.

Кинетическая энергия смещения зарядов, дополнительно полученная в электрическом поле, передается элементарным структурам вещества диэлектрика, повышая интенсивность их теплового движения и в целом температуру.

Удельная объемная мощность, Вт/м³, выделяемая в диэлектрике:

$$P_V = 0,555 \cdot 10^{-10} \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot f \cdot E^2, \quad (9.1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость вещества; δ – угол диэлектрических потерь; f – частота электрического поля, Гц; E – напряженность электрического поля, В/м.

Произведение $\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$, отражающее электрофизические свойства диэлектрика, носит название фактора потерь. Из выражения (9.1) следует, что интенсивность нагрева пропорциональна фактору потерь, частоте поля и квадрату напряженности поля. Повышение P_V возможно за счет увеличения f и E . Но величина E ограничивается электрической прочностью диэлектрика, поэтому основным способом увеличения интенсивности высокочастотного нагрева диэлектриков является повышение частоты и, в конечном счете, переход к СВЧ нагреву.

Основные области применения конденсаторного нагрева в сельском хозяйстве: сушка (семян, зерна, чая, фруктов и т. д.); пастеризация и стерилизация (молока, молочных продуктов, фруктовых и ягодных соков, консервной продукции и др.); дезинсекция и обработка семян, шелковичных коконов; приготовление пищи; размораживание пищевых продуктов; борьба с сорняками; нагрев пластмасс; вулканизация резины в ремонтном производстве; в ветеринарии и др.

Установка ВЧД2-2,5/81 предназначена для предварительного подогрева таблетированных реактопластов и других материалов.

Технические характеристики установки ВЧД2-2,5/81:	
колебательная мощность, кВт	2,5
мощность, потребляемая от сети, кВт	5,1
частота рабочая, МГц	81
номинальное напряжение питающей сети, В	380
масса нагреваемых таблеток, кг	0,25...0,6
время нагрева таблеток до температуры 110 °С, с	30...50
КПД, %, не менее	50
размеры рабочего конденсатора, мм	250×250
масса, кг	310

Принципиальная электрическая схема управления установкой (рис. 9.2) включает: силовой блок, блок управления, выпрямитель, генераторный блок, систему стабилизации анодного тока, систему защиты, систему сигнализации. Силовой блок состоит из автоматического выключателя QF1, рубильника QS, анодного трансформатора TV1. Блок управления содержит аппаратуру управления подогревом верхней пластины конденсатора, вентилятором, охлаждением генераторной лампы VL, накалом лампы, устройствами включения и отключения питания лампы, реле времени автоматического отключения нагрева и др.

Выпрямитель UZ преобразует высокое напряжение анодного трансформатора в постоянное анодное напряжение, подаваемое на генераторную лампу. При помощи переключки напряжение можно изменять от 100 до 50 %. Ламповый генератор состоит из лампы VL, анодного колебательного контура C11, L2, нагрузочного контура C15, L3, сеточного контура C10, L1, фильтров, разделительного конденсатора C12, конденсаторов

C13, C14 и является генератором с общим анодом. Анодный ток замеряется амперметром pA1, сеточный ток – миллиамперметром pA2.

Система стабилизации анодного тока включает конденсатор C13 с электроприводом (электродвигатель M1) и элементами его управления. В процессе нагрева анодный ток возрастает. Система позволяет стабилизировать ток, тем самым повышая эффективность работы установки.

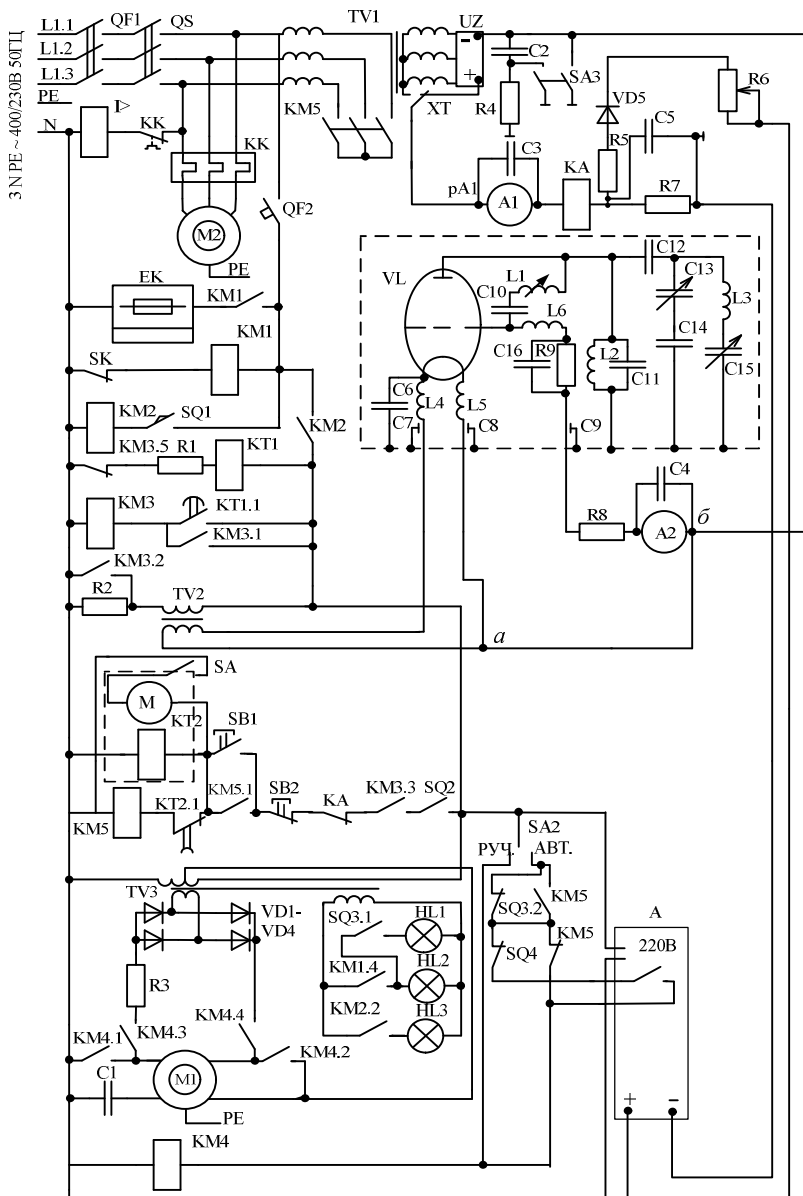


Рис. 9.2. Принципиальная электрическая схема управления установкой ВЧД2-2.5/81

Система защиты включает следующие ее виды: от длительной перегрузки и короткого замыкания (автоматические выключатели QF1, QF2); от перегрузки анодного тока (реле КА), от перегрузки электродвигателя М2 (тепловое реле КК), от повышения анодного напряжения в момент включения (фильтр С2, R4).

Для защиты персонала от попадания под напряжение служит блокировка, осуществляемая с помощью выключателя SA3, который при открывании дверей отключает напряжение, а остаточное напряжение на конденсаторах замыкает на землю.

Система сигнализации включает: сигнальные лампы HL2 «Накал» (при включении накала генераторной лампы), HL1 «Готов к нагреву» (когда конденсатор С13 занимает исходное положение) и HL3 «Нагрев» (при включении нагрева).

Ламповый генератор является преобразователем электрической энергии сетевых параметров (230/400 В, 50 Гц) в энергию высокой частоты и высокого напряжения, на которые рассчитан рабочий конденсатор.

С помощью ламповых генераторов получают частоты до 100 МГц, единичная их мощность может составлять от сотен ватт до сотен киловатт.

Подачу напряжения на схему управления осуществляют включением автоматического выключателя QF1 при включенном блокировочном рубильнике QS. Одновременно включается электрический двигатель М2 привода вентилятора охлаждения.

При включении автоматического выключателя QF2 срабатывает электромагнитный пускатель КМ1 и включает нагреватели ЕК подогрева верхней пластины рабочего конденсатора.

При наличии воздушного потока, создаваемого вентилятором, замыкается контакт реле потока SQ1, срабатывает пускатель КМ2 и через резистор R2 от трансформатора TV2 на лампу подается напряжение 1-й ступени накала катода. Одновременно получают питание реле времени КТ1 и трансформатор TV3. Примерно через 30 с контакт реле времени КТ1.1 включает пускатель КМ3, контактом КМ3.2 шунтирует пусковой резистор R2 и на лампу VL подается 2-я ступень накала, загорается лампа HL2 «Накал».

Для включения нагрева нажимают кнопку SB1, при этом пускатель КМ5 получает питание и замыкает силовые контакты КМ5, включая анодный трансформатор, загорается сигнальная лампа HL3 «Нагрев».

Конденсатор С13 (с приводом от электрического двигателя М1) служит для стабилизации анодного тока, который изменяется в течение цикла нагрева. В исходном положении С13 имеет максимальную емкость, и при этом микровыключатель SQ3 зажат (контакт SQ3.1 закрыт, а SQ3.2 открыт).

При превышении анодного тока выше заданного резистором R6 срабатывает блок сигнализации и регулирования А, который своим замыкающим контактом включает пускатель КМ4 и электродвигатель М1, который поворачивает конденсатор. Анодный ток при этом уменьшается, контакт блока А размыкается, КМ4 обесточивается, двигатель М1 останавливается и так несколько раз за цикл.

Во время остановки автоматически включается динамическое торможение (от выпрямителя VD1...VD4 через контакты КМ4). Поскольку ток динамического торможения на период остановки не отключается, происходит фиксация электродвигателя в остановленном положении. При повороте конденсатора на 180° срабатывает микропереключатель SQ4, и процесс стабилизации прекращается. После выключения нагрева конденсатор возвращается в исходное состояние. При этом размыкается контакт SQ3.2, замыкается SQ3.1 и загорается лампа НЛ1 «Готов к нагреву».

Устройство А представляет собой двухпозиционный регулятор, питающийся от сети 220 В. На вход его подается напряжение (около 15 В), снимаемое с резистора R7, через который протекает анодный ток.

При работе в автоматическом режиме включают тумблер SA1, подающий питание на реле времени КТ2. По окончании выдержки времени реле КТ2 разрывает цепь питания катушки магнитного пускателя КМ5 и нагрев прекращается. Режим стабилизации анодного тока (ручной или автоматический) задают переключателем SA2. Реле КА служит для защиты от перегрузки анодной цепи.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы диэлектрического нагрева, назначение, устройство, принцип действия установки ВЧД2-2,5/81, принцип генерирования токов высокой частоты ламповыми преобразователями, электрическую схему управления установкой ВЧД2-2,5/81, области

применения установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с натурным образцом установки ВЧД2-2,5/81.
2. После проверки руководителем занятий знания устройства, принципа действия и правил обслуживания с его разрешения включить установку под напряжение, прогреть на холостом ходу в течение не менее 5 минут.
3. Работу установки изучают на примере нагрева деревянных брусков с целью их сушки. Для этого необходимо:
 - бруски предварительно увлажнить, лишнюю влагу снять салфеткой;
 - измерить путем взвешивания начальную массу образца m_1 и с помощью потенциометра определить его температуру t_1 ;
 - поместить образец в рабочий конденсатор, закрыть камеру, поставить переключатель SA2 в положение «Авт» и кнопкой SB1 «Нагрев» подать напряжение на генератор.
4. В процессе нагрева (сушки) через 10 с и затем каждые 20 с измерять величины и заносить значения в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Кинетика нагрева образца № 1 со стабилизацией анодного тока

τ , с	10	20	40	60	...
U , В					
I , А					
$P_{\text{потр}}$, Вт					
I_a , А					

В табл. 9.1: τ – время от начала опыта; U – напряжение питания; I – сила тока; $P_{\text{потр}}$ – мощность, потребляемая из сети; I_a – анодный ток.

После окончания нагрева (4...5 мин), не извлекая образец из камеры, измерить температуру t_2 внутри образца и на его поверхности t_{2n} ,

а также температуру t_k нижней пластины конденсатора. Извлечь образец, взвесить его и данные записать в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты измерений и вычислений (образец № 1)

Измерено							Вычислено									
τ , с	m_1 , кг	m_2 , кг	t_1 , °С	t_2 , °С	t_{2n} , °С	t_k , °С	$\Delta\omega$, кг	$P_{\text{пол}}$, Вт	$P_{\text{потр}}$, Вт	I , А	η	$\cos\varphi$	η_T	P_V , Вт/м ³	E_M , В/м	a , кВт·ч/кг

В табл. 9.2: τ – продолжительность нагрева (сушки); m_1 и m_2 – масса влажного и высушенного образцов; t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры образца; t_{2n} – температура поверхности образца в конце нагрева; t_k – температура нижней пластины конденсатора; $\Delta\omega$ – количество удаленной влаги; $P_{\text{пол}}$ – полезная мощность, израсходованная на нагрев образца и испарение влаги; $P_{\text{потр}}$ – среднее за период нагрева значение потребляемой мощности; I – среднее за период нагрева значение потребляемого тока; η – полный КПД; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности установки; η_T – тепловой КПД рабочего конденсатора; P_V – удельная объемная мощность, выделяемая в древесине; E_M – напряженность электрического поля в древесине; a – удельный расход электроэнергии на испарение влаги.

Повторить опыт с образцом № 2 в режиме нагрева без стабилизации анодного тока и результаты представить в виде табл. 9.3 и 9.4.

Средние за период нагрева значения потребляемой мощности и тока вычисляют по формулам

$$P_{\text{потр}} = \frac{1}{\tau} \int_{\tau_0}^{\tau} P_{\text{потр}}(\tau) d\tau; \quad I = \frac{1}{\tau} \int_{\tau_0}^{\tau} I(\tau) d\tau,$$

или определяют путем графического интегрирования кривых $P_{\text{потр}}(\tau)$, $I(\tau)$.

Количество удаленной влаги:

$$\Delta\omega = m_1 - m_2 .$$

Полезная мощность на нагрев образца и испарение влаги:

$$P_{\text{пол}} = \frac{\Delta\omega [C_{\text{в}}(t_2 - t_1) + q] + m_2 C_{\text{д}}(t_2 - t_1)}{\tau} ,$$

где $C_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, $C_{\text{в}} = 4190$ Дж/(кг·°С);
 $C_{\text{д}}$ – удельная теплоемкость древесины, $C_{\text{д}} = 1760$ Дж/(кг·°С);
 q – удельная теплота испарения воды, $q = 2,96 \cdot 10^6$ Дж/кг.

КПД (полный, тепловой) и коэффициент мощности определяют по формулам

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{потр}}} ; \quad \eta_T = \frac{P_{\text{пол}}}{P_V V} ; \quad \cos\varphi = \frac{P_{\text{пол}}}{UI} ,$$

где V – объем образца, м³; P_V – вычисляются по формуле (9.1), приняв для древесины следующие средние за время нагрева значения: $\varepsilon \approx 2$; $\text{tg}\delta \approx 0,08$.

Напряженность поля в древесине приближенно равна

$$E_M = \frac{U}{d_M + \varepsilon d_B} ,$$

где U – напряжение, подводимое к обкладкам конденсатора (5000 В);
 d_M – толщина образца древесины, $d_M = 40 \cdot 10^{-3}$ м; d_B – величина воздушного зазора между образцом и второй обкладкой конденсатора, $d_B = 10 \cdot 10^{-3}$ м.

По результатам опытов (табл. 9.1 и 9.2) построить зависимости $I(\tau)$, $P_{\text{потр}}(\tau)$, $I_d(\tau)$ для образцов № 1 и № 2.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Таблицы измерений и вычислений.
3. Графические зависимости.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Объясните физические основы нагрева диэлектриков в высокочастотном электрическом поле.
2. Какой диапазон частот используют в установках конденсаторного нагрева?
3. Из каких элементов состоит упрощенная блок-схема установки конденсаторного нагрева?
4. Как работает принципиальная электрическая схема управления установкой ВЧД2-2,5/81?
5. Перечислите технические характеристики установки ВЧД2-2,5/81.
6. Какие факторы определяют мощность, выделяющуюся в материале при конденсаторном нагреве?
7. Перечислите основные области применения конденсаторного нагрева в сельском хозяйстве.
8. В чем заключаются особенности эксплуатации установок конденсаторного нагрева?

10. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ

Цель работы: изучить принцип термоэлектрического нагрева и охлаждения, назначение и устройство термоэлектрического холодильника, исследовать режимы работы и основные энергетические характеристики.

Задачи работы:

1. Изучить физические основы термоэлектрического нагрева и охлаждения.
2. Изучить назначение, устройство и принцип действия термоэлектрического холодильника.
3. Определить энергетические характеристики холодильника при различной силе тока, проходящего через термобатарею.

Общие сведения

Косвенное преобразование электрической энергии в тепловую (для получения холода и теплоты) осуществляют с помощью холодильных машин и тепловых насосов. Основу обоих классов машин составляют трансформаторы теплоты (ТТ), которые могут быть компрессионными (механическими), адсорбционными (термохимическими) и полупроводниковыми (термоэлектрическими).

Трансформатор теплоты переносит энергию от среды (тела) с более низкой температурой к потребителю теплоты с более высокой температурой. При этом температура источника теплоты понижается, а температура потребителя теплоты повышается.

Трансформатор теплоты может работать как в режиме охлаждения (в качестве холодильной машины), так и в режиме нагревания (в качестве теплового насоса), а при совмещенном режиме (цикле) осуществляет одновременно охлаждение и нагревание (производство холода и теплоты). Совмещенный режим является энергетически наиболее целесообразным.

Перенос теплоты осуществляется с помощью промежуточных энергоносителей. В компрессионных и адсорбционных ТТ в качестве промежуточных энергоносителей используют низкотемпературные жидкости: NH_2 (температура кипения $-33,4$ °С), фреон –

$12\text{CF}_2\text{Cl}_2$ (температура кипения $-29,8\text{ }^\circ\text{C}$), фреон-22 и др. В термоэлектрических ТТ используется энергия постоянного тока.

Принцип получения холода или теплоты с помощью термоэлементов основан на использовании эффекта Пельтье: при протекании постоянного тока I через спай разнородных полупроводников (с n - и p -проводимостями) он либо охлаждается и поглощает теплоту (теплоту Пельтье) из окружающей (или охлаждаемой) среды, либо нагревается и выделяет в окружающую (нагреваемую) среду теплоту Пельтье:

$$Q_{\text{П}} = \Pi I \tau = (\alpha_1 - \alpha_2) T \Pi \tau, \quad (10.1)$$

где Π – коэффициент Пельтье, $\Pi = (\alpha_1 - \alpha_2) T$, В; α_1 , α_2 – коэффициенты термоЭДС ветвей термоэлемента, В/К; T – температура спаия, К; τ – время протекания тока I , с.

Термоэлектрический ТТ представляет собой термоэлектрическую батарею (рис. 10.1) из последовательно соединенных термоэлементов, каждый из которых состоит из двух ветвей I , изготовленных из полупроводниковых материалов, в основном соединений на основе теллурия: теллуристый висмут Bi_2Te_3 , теллуристый свинец PbTe , теллуристая сурьма Sb_2Te_3 и др. Используют, например, термоэлемент, включающий пару соединений Sb_2Te_3 ($\alpha = +0,13\text{ В} \cdot \text{К}^{-1}$) и PbTe ($\alpha = -0,13\text{ В} \cdot \text{К}^{-1}$).

Одна ветвь термоэлемента обладает электронной (n), а вторая – дырочной (p) проводимостью. Ветви соединены при помощи коммутационных пластин 2. Места соединения пластин называют спаями. Для увеличения поверхности теплообмена с охлаждаемой и нагреваемой средами спая снабжают радиаторами 5.

Выделение теплоты в спае термоэлементов связано с переносом зарядов (электронов, дырок) силами электрического поля из проводника с высокой энергией элементарных частиц в проводник с меньшей энергией элементарных частиц. Заряды, перетекая из одного проводника в другой, взаимодействуют с узлами кристаллических решеток, передают им свою энергию движения и тем самым увеличивают температуру спаия.

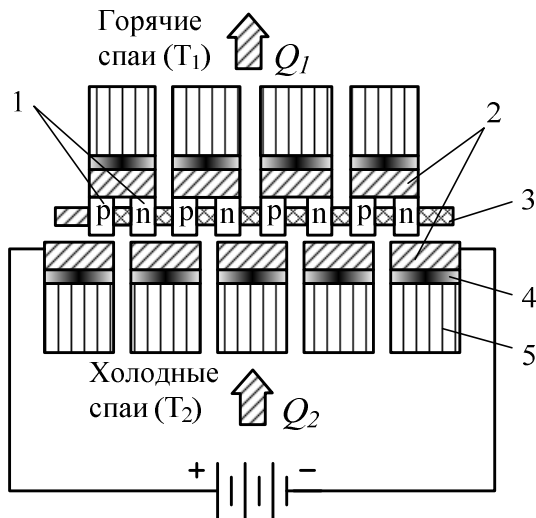


Рис. 10.1. Схема термоэлектрической батареи:
 1 – ветви термоэлементов; 2 – соединительные пластины;
 3 – перегородка теплоизоляционная; 4 – электрическая изоляция;
 5 – радиаторы

Поглощение теплоты (понижение температуры) в месте контакта проводников связано с перемещением под действием сил электрического поля зарядов из проводника, где они имеют низкую энергию, в проводник с более высокой энергией элементарных частиц. Перешедшие заряды поглощают энергию кристаллических решеток, повышают скорость своего движения и в целом понижают температуру спаи.

Поместив холодные спаи в холодильную камеру, а горячие спаи в нагреваемую (например, окружающую) среду, получим термоэлектрический холодильник. Если холодные спаи поместить в среду – источник теплоты (охлаждаемое молоко, почву, воду, поток дымовых газов и т. п.), то поглощаемая ими теплота будет переноситься током к горячим спаям и выделяться ими. Эту теплоту можно использовать для нагрева воды, отопления помещений и т. д. В таком случае термоэлектрический трансформатор теплоты работает как тепловой насос, «перекачивающий» теплоту от одной среды в другую.

При протекании тока по цепи термоэлемента сопротивлением R оба спая неизбежно нагреваются за счет выделения теплоты Джоуля. Если сравнить «джоулевый нагрев» и термоэлектрический, то в первом случае электрическое поле увеличивает скорость движения зарядов в проводнике и тем самым увеличивает его температуру. Во втором случае электрическое поле переносит заряды с большей или меньшей скоростью теплового движения (энергией) из одного проводника в другой, тем самым нагревая или охлаждая место контакта этих проводников между собой.

Энергетическую эффективность трансформаторов теплоты характеризуют энергетическими параметрами, зависящими от режимов их работы (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Режимы работы и соответствующие им энергетические параметры трансформаторов теплоты

Режим работы	Оборудование	Энергетические параметры, характеризующие работу трансформатора теплоты
Охлаждение (получение холода)	Холодильные машины	Холодильный коэффициент: $\varepsilon = \frac{Q_x}{W}. \quad (10.2)$
Нагрев (получение теплоты)	Тепловые насосы	Глубина охлаждения среды: $\Delta t = t_1 - t_2. \quad (10.3)$ Отопительный коэффициент: $\varphi = \frac{Q_x + W}{W} = 1 + \varepsilon. \quad (10.4)$
Охлаждение и нагрев (получение холода и теплоты)	Тепловые насосы, работающие по совмещенному циклу	Коэффициент преобразования энергии: $\psi = \varepsilon + \varphi = 1 + 2\varepsilon \quad (10.5)$

В табл. 10.1: Q_x – количество теплоты, отбираемое от охлаждаемой среды за один цикл работы, Дж; W – энергия, затраченная трансформатором теплоты за один цикл работы, Дж.

В зависимости от вида ТТ и режимов работы значения энергетических параметров могут достигать $\varepsilon = 2,5 \dots 3,0$, а $\psi = 3 \dots 4$ и более.

Например, тепловые насосы ТН-1,5, ТН-3, ТН-5 и ТН-7,5 имеют тепловую мощность соответственно 1,75, 3,5, 5,8 и 8,7 кВт, холодильную мощность 1,17, 2,34, 3,84 и 5,84 кВт, коэффициент преобразования энергии находится в пределах 2...4.

В термоэлектрическом холодильнике ХАТЭ-24 (рис. 10.2, а) питание от источника постоянного тока I подается на четыре термоагрегата 2 и электродвигатель вентилятора 6, размещенные в корпусе 5 со съемной крышкой 3.

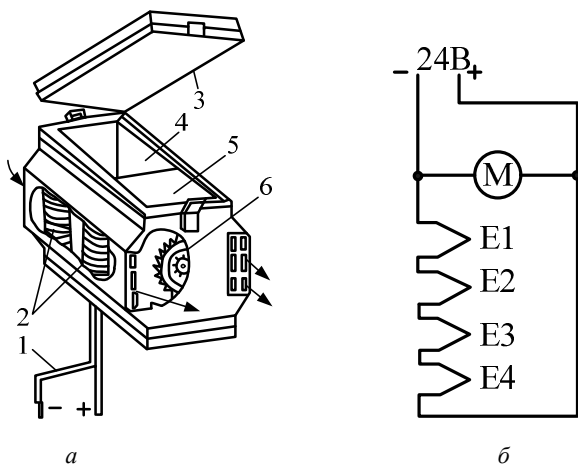


Рис. 10.2. Устройство (а) и электрическая схема (б) термоэлектрического холодильника

Холодильная камера 4 представляет собой емкость для хранения продуктов, выполненную из алюминия. К двум противоположным стенкам камеры попарно крепятся термоагрегаты, соединенные между собой последовательно (рис. 10.2, б). Каждый термоагрегат представляет собой блок термоэлектрической батареи. Холодные спаи каждого термоблока прижаты к холодильной камере и охлаждают ее. Горячие спаи термоблоков снабжены радиаторами – теплообменниками, предназначенными для отвода теплоты. Радиаторы охлаждаются воздухом, подаваемым вентилятором.

Технические характеристики холодильника ХАТЭ-24:	
напряжение питания, В	24
род тока	постоянный
потребляемая мощность, Вт, не более	170
перепад температур воздуха при окружающей температуре +30 °С, °С, не менее	28
время выхода на перепад температур 25 °С при окружающей температуре не менее 30 °С, ч, не более	1
внутренний объем холодильника, дм ³	7
масса, кг	15

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы термоэлектрического преобразования энергии, области применения установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Изучить устройство термоэлектрического холодильника ХАТЭ-24 на натуральном образце, нарисовать его эскиз и принципиальную электрическую схему. Подготовить к работе экспериментальную установку для исследования термоэлектрического холодильника (рис. 10.3).

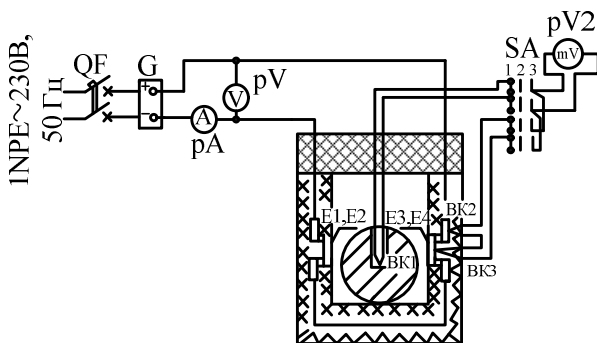


Рис. 10.3. Схема экспериментальной установки для исследования термоэлектрического холодильника

2. Охладить алюминиевое тело, помещенное в камеру (рис. 10.3), при различной величине тока, протекающего через термобатарейку. Работу произвести в следующей последовательности:

2.1. Измерить температуру t_1 охлаждаемого тела А с помощью термопары ВК1 и разность температур горячих и холодных спаев Δt , используя термопары ВК2 и ВК3 в начале опытов (при $\tau = 0$).

2.2. Включить холодильник, установить ток $I = 3 \text{ А}$ и через каждые 3 минуты в течение 15 минут охлаждения измерять и заносить в табл. 10.2 значения температуры охлаждаемого тела t_2 и разности температур горячих и холодных спаев Δt .

Таблица 10.2

Результаты измерений и вычислений

Измерено					Вычислено			
U , В	I , А	τ , мин	t_1 , °С	t_2 , °С	Δt , °С	W , Дж	Q , Дж	ε , о.е.

2.3. Увеличить ток до 4 А, через 3 минуты (через 18 минут от начала охлаждения) записать значения t_2 и Δt , продолжать так до 30 минут от начала процесса.

2.4. Следующий цикл измерений (от 31 до 45 минут) продолжать при токе 5 А, а затем заключительный цикл (от 46 до 60 минут) – при токе 6 А.

Энергия W , потребляемая холодильником для охлаждения содержимого камеры, равна

$$W = U I \tau, \quad (10.6)$$

где U , I , τ – напряжение, ток и время каждого (i -го) опыта при токе соответственно 3, 4, 5 и 6 А.

Количество теплоты Q_x , уносимое из камеры в каждом опыте:

$$Q_x = mc(t_1 - t_2)_i, \quad (10.7)$$

где $m = 1,5$ кг – масса охлаждаемого тела; $c = 880$ Дж/(кг·°C) – удельная теплоемкость алюминия; t_1 , t_2 – начальная и конечная температуры охлаждаемого тела в начале и конце i -го опыта, °C.

По результатам измерений и вычислений построить кривые охлаждения $t = f(\tau)$ для каждого значения тока I .

Определить постоянную времени охлаждения $\tau_{\text{охл}}$ и установившуюся температуру охлаждения $t_{\text{уст}}$, используя графики 1-го ($I = 3$ А) и 3-го ($I = 5$ А) опытов. Способ определения этих параметров показан на рис. 10.4.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Принципиальная схема термоэлектрической батареи.
3. Таблица измерений и вычислений.
4. Графические зависимости, построенные по результатам опытов.
5. Выводы по работе.

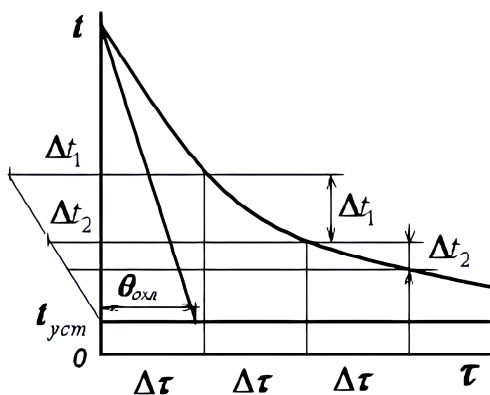


Рис. 10.4. Графическое определение установившейся температуры охлаждения $t_{\text{уст}}$ и постоянной охлаждения $\theta_{\text{охл}}$

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначены и в каких режимах могут работать трансформаторы теплоты?

2. В чем заключается физическая природа теплоты Пельтье? Как теплота Пельтье зависит от силы тока?

3. Каковы устройство и принцип работы термоэлектрической батареи?

4. Как зависит режим работы термоэлектрической батареи от направления тока в ветвях термоэлементов?

5. Опишите устройство, электрическую схему и принцип действия термоэлектрического холодильника.

6. Перечислите энергетические параметры трансформатора теплоты в режиме холодильной машины, теплового насоса, в совмещенном цикле.

7. Опишите методику экспериментального определения энергетических параметров трансформатора теплоты.

11. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗГОРОДЕЙ

Цель работы: изучить устройство электрической изгороди, принцип работы РС генератора импульсов релаксационного типа, исследовать режимы работы и определить основные параметры генераторов импульсов.

Задачи работы:

1. Изучить назначение, устройство электрических изгородей с генераторами импульсов ИЭ-200, ГИЭ-1, «Импульс».
2. Изучить работу принципиальных электрических схем.
3. Определить электрические и энергетические параметры импульсов, освоить способы регулирования частоты, силы импульсов генераторов ИЭ-200, «Импульс».

Общие сведения

Генераторы импульсов (ГИ) служат для создания импульсов электрической энергии требуемых параметров. В сельскохозяйственном производстве ГИ применяют в различных установках электроимпульсной технологии (электрических изгородях, установках электрогидравлической, электроэрозионной обработки материалов и т. д.).

В настоящей работе изучают генераторы импульсов электрических изгородей (ЭИ), применяемых для загонной пастбы скота, ограждения летних лагерей для животных, выгульных площадок, прогонов, посевов и т. п.

Электрическая изгородь (рис. 11.1) включает в себя генератор импульсов и собственно изгородь, в состав которой входят опорные стойки с изоляторами и токоведущая линия.

Применение электрических изгородей основано на биологическом действии электрического тока, который, проходя через тело животного, вызывает раздражение нервов и мышц, неприятное ощущение электрического «удара». В результате у животных через некоторое время вырабатывается условный рефлекс боязни прикосновения к ограждающей проволоке.

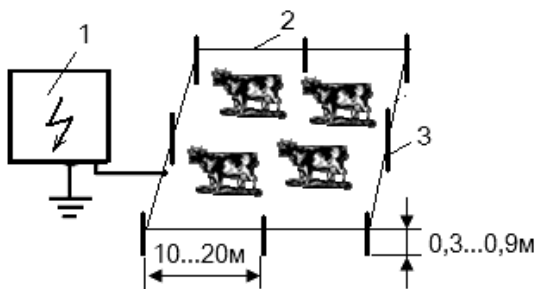


Рис. 11.1. Схема устройства электрической изгороди:
 1 – генератор импульсов; 2 – токоведущая линия (проволочная изгородь);
 3 – стойка с изолятором

В табл. 11.1 приведены рекомендуемые параметры импульсов, где нижнее значение диапазона характеризует их по условию эффективности воздействия, а верхнее – по условию безопасности.

Таблица 11.1

Рекомендуемые параметры импульсов генераторов электрических изгородей

Параметр	Значение
Амплитудное значение напряжения, кВ	2...10
Амплитудное значение тока в импульсе, мА	50...150
Частота импульсов, 1/мин	60...120
Количество электричества, протекающего через тело животного, мКл	2...2,5
Длительность импульса, не более, с	0,1
Скважность импульсов, не менее, о.е.	15

Преимущества ЭИ по сравнению со стационарными ограждениями: затраты материалов в 1,8...15 раз ниже, время на сооружение и ремонт значительно меньше.

Наиболее распространены независимые (релаксационные) генераторы импульсов типа RC (рис. 11.2, а).

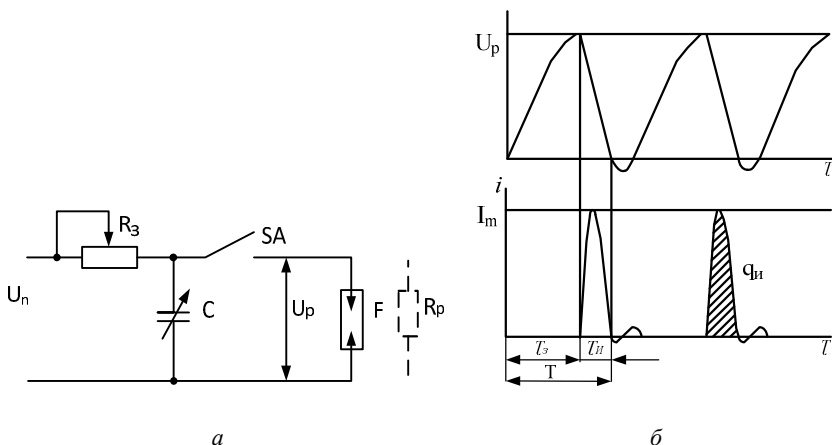


Рис. 11.2. Принципиальная схема простейшего релаксационного генератора импульсов (а) и графики изменения напряжения $u(\tau)$ на конденсаторе и импульсов тока $i(\tau)$ в разрядной цепи (б):

R_3 – сопротивление зарядной цепи; C – конденсатор; F – разрядник;

R_p – сопротивление разрядной цепи; SA – коммутирующее устройство

Питание генератора осуществляют от источника постоянного тока. В конденсаторе C происходит периодическое накопление электрического заряда с последующим разрядом на сопротивление R_p при срабатывании коммутирующего устройства SA .

Основными параметрами ГИ и импульсов являются:

– энергия импульса, Дж:

$$W = \frac{1}{2} C U_p^2, \quad (11.1)$$

где C – емкость конденсатора, Ф; U_p – напряжение разряда, В;

– количество электричества в импульсе (сила импульса), Кл:

$$q_{\text{и}} = \int_0^{\pi} i(t) dt; \quad (11.2)$$

– амплитудное значение тока разряда, А:

$$I_m = \frac{U_p}{R_p}; \quad (11.3)$$

– частота следования импульсов, Гц:

$$f = \frac{1}{\tau_3 + \tau_{и}} \approx \frac{1}{\tau_3} = \frac{1}{R_3 C \ln \frac{U_{н}}{U_{н} - U_p}}, \quad (11.4)$$

где τ_3 – время зарядки конденсатора, с; $\tau_{и}$ – длительность импульса, с; $U_{н}$ – напряжение источника питания, В;

– период колебаний, с:

$$T = \frac{1}{f}; \quad (11.5)$$

– скважность импульсов:

$$S = \frac{T}{\tau_{и}}. \quad (11.6)$$

В работе представлены генераторы импульсов ИЭ-200, ГИЭ-1, «Импульс», ИЭ-4.

Принципиальная электрическая схема генератора ИЭ-200 показана на рис. 11.3. Питание генератора осуществляют либо от сети переменного тока 220 В через выпрямитель, включающий диоды VD1, VD2, сопротивления R1, R2, конденсатор C1, либо от батареи сухих элементов G1...G4 (12 В). Генератор работает в двух режимах: *автоматическом* (непрерывно подавая импульсы на токоведущую линию (ТВЛ) независимо от прикосновения к ней животного) и *ждушем* (когда импульсы подаются только при прикосновении животного к изгороди). Включение производят

выключателем SA1, а режим работы задают переключателем SA3: верхнее положение – автоматический режим, нижнее – ждущий. Частоту и силу импульсов изменяют величиной емкости конденсаторов C2...C4 и резисторами R4, RP1, RP2.

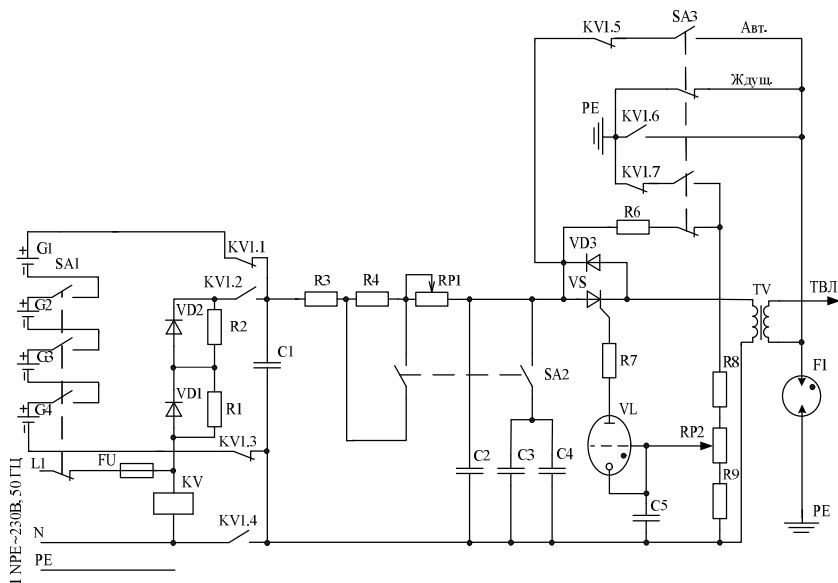


Рис. 11.3. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ИЭ-200

В автоматическом режиме при включении SA1 происходит зарядка конденсатора C2 (или C2, C3, C4 при включенном SA2). Одновременно напряжение от источника питания подается через резистор R6 и нижний контакт SA3 на делитель напряжения на резисторах R8, RP2, R9.

С делителя снимается часть напряжения для зарядки конденсатора C5. По мере зарядки C5 на нем возрастает напряжение до тех пор, пока не достигнет величины зажигания тиратрона VL. При открытии тиратрона конденсатор C5 разряжается через VL и ограничивающий резистор R7 на управляющий электрод тиристора VS, последний открывается, и конденсатор C2 разряжается через первичную обмотку повышающего трансформатора TV, вызывая во вторичной обмотке импульс высокого напряжения. Вторичная

обмотка заземлена через разрядник F1. Прикасаясь к проволоке ограждения, животное попадает под напряжение и получает «электрический удар».

Ждущий режим включают после «привыкания» животного к изгороди, выработки у него условного рефлекса боязни изгороди. Напряжение от источника питания (только батарея сухих элементов G1...G4) подается через верхний (замыкающий) контакт SA3 на вторичную обмотку трансформатора и через нее на ТВЛ изгороди. При прикосновении животного к ТВЛ возникает ток величиной 0,1 мА, протекающий по цепи: источник питания – замыкающий контакт SA3 – вторичная обмотка трансформатора TV – ТВЛ – тело животного – земля – резисторы R8, RP2, R9. Конденсатор C5 заряжается, после чего образуется импульс высокого напряжения (последовательность изложена выше), поступающий в линию до тех пор, пока животное касается проволоки. Импульсы в ТВЛ появляются через 0,2 с.

Генератор «Импульс» (рис. 11.4) включает источник питания A1, состоящий из батареи солнечных элементов типа БС-4,5-5; блокинг-генератор A2 (транзистор VT, трансформатор TV1), преобразующий постоянное напряжение в переменное; выпрямитель с удвоением напряжения A3 (диоды VD1, VD2, конденсаторы C2, C3); накопительный конденсатор C4; диностор VD3, VD4; высоковольтный трансформатор TV2.

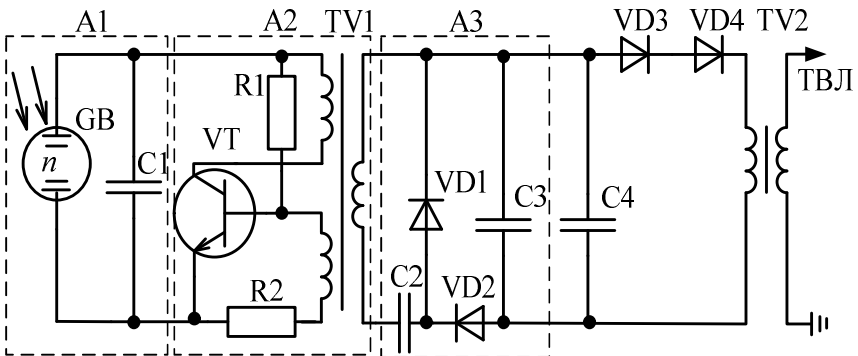


Рис. 11.4. Принципиальная электрическая схема генератора «Импульс»:
 A1 – источник питания; A2 – блокинг-генератор;
 A3 – выпрямитель с удвоением напряжения

Переменное напряжение, получаемое от блокинг-генератора, преобразуется в постоянное выпрямителем, от которого происходит зарядка конденсатора С4 до тех пор, пока напряжение на нем не превысит напряжение пробоя диодисторов. При пробое последних, конденсатор С4 разряжается через диодисторы на первичную обмотку высоковольтного трансформатора, во вторичной обмотке которого индуцируется импульс высокого напряжения, подаваемый на ТВЛ изгороди. После разрядки конденсатора диодисторы восстанавливаются, начинается новый процесс зарядки конденсатора С4, цикл повторяется.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить назначение, устройство электрических изгородей, принцип работы РС генератора релаксационного типа, работу принципиальных электрических схем по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с натурными образцами электрической изгороди с генераторами импульсов ИЭ-200, ГИЭ-1, «Импульс», ИЭ-4.

2. Определить амплитудное значение тока I_m , количество электричества в импульсе q_n , частоту f и период T следования импульсов, скважность S для генератора ИЭ-200. Для этого последовательно включить автоматический выключатель QF на стенде и осциллограф тумблером «Сеть» (рис. 11.5). При появлении на экране горизонтальной светящейся линии включить генератор ИЭ-200, устанавливая переключатель SA1 в положение I.

Настроить генератор на работу с силой импульса «Меньше» и минимальной, а затем максимальной частотой, определяя частоту следования импульсов f при помощи осциллографа. Результаты представить в виде табл. 11.2.

Зарисовать с экрана осциллографа кривую импульса тока, предварительно определив масштаб изображения импульса на экране с помощью переключателей «Время» и «Напряжение».

При определении масштаба напряжения учесть сопротивление делителя напряжения $R1:R2 = 100$, через который подключен осциллограф.

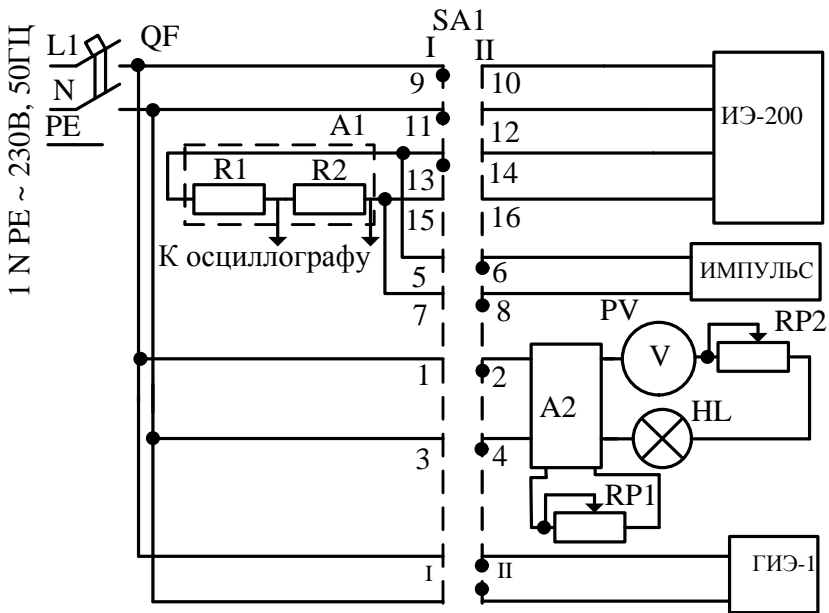


Рис. 11.5. Электрическая схема экспериментальной установки:
 А1 – делитель напряжения; А2 – тиристорный регулятор напряжения;
 RP1 – задачник тока

Таблица 11.2

Параметры импульсов генератора ИЭ-200

Положение переключателя «Сила импульса»	Частота, Гц		Амплитудное значение тока I_m , мА	Количество электричества в импульсе q_n , мКл	Период колебаний T , с	Скважность импульса S
	f_{\min}	f_{\max}				
«Меньше»						
«Больше»						

Произвести аналогичные исследования, настроив генератор на работу с силой импульса «Больше». Результаты занести в табл. 11.2.

По кривым импульса тока рассчитать параметры импульсов: амплитудное значение тока I_m по формуле (11.3), приняв R_p равным сопротивлению входа осциллографа, а U_p – равным амплитудному значению напряжения; количество электричества в импульсе $q_{и}$ по формуле (11.2) вычисляются графически интегрированием площади, ограниченной кривой импульса тока и осью абсцисс (ось времени), или упрощенно по формуле $q_{и} = \frac{U_p}{R_p} \tau_{и}$; период колебаний T по формуле (11.5); скважность импульса S по формуле (11.6).

3. Получить зависимость частоты f следования импульсов от освещенности E приемника фотоэлектрического преобразователя генератора «Импульс», включая его в работу переключателем SA1 в положение II (рис. 11.5).

Уровень освещенности изменить задатчиком RP1, устанавливая ток 1,2...1,8 А. Результаты представить в виде табл. 11.3. Построить графическую зависимость частоты импульсов f от освещенности E .

Таблица 11.3

Зависимость частоты f следования импульсов от освещенности E генератора «Импульс»

Ток I , А	1,8	1,6	1,4	1,2
Освещенность E , лк	220	150	110	80
Частота импульсов f , Гц				

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Принципиальная электрическая схема релаксационного генератора импульсов РС.
3. Таблица результатов исследований.
4. Рассчитанные параметры импульсов генератора ИЭ-200.
5. Графическая зависимость частоты импульса f от освещенности E .
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Каковы назначение и области применения генераторов импульсов в сельскохозяйственном производстве?
2. Как устроена электрическая изгородь?
3. Как обеспечивается работа релаксационного генератора импульсов типа RC?
4. Как работают принципиальные электрические схемы генераторов импульсов электрических изгородей ИЭ-200, «Импульс»?
5. Какие режимы работы обеспечивают электрической изгороди?
6. Для чего предназначен «ждуший» режим работы электрической изгороди?
7. Какие есть способы регулирования частоты и силы импульса генератора?
8. Какие существуют основные параметры ГИ и импульсов?
9. Какие существуют рекомендуемые параметры генераторов электрических изгородей?

12. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ СМЕСЕЙ

Цель работы: изучить устройство, принцип действия электрических сепараторов, исследовать режимы работы и электрическую схему диэлектрического сепаратора СДЛ-1.

Задачи работы:

1. Усвоить физическую сущность электрокинетической технологии, классификацию электрических сепараторов смесей, способы зарядки частиц в электрическом поле.
2. Изучить устройство, принцип работы коронного сепаратора.
3. Изучить устройство, электрическую схему, принцип действия сепаратора СДЛ-1.
4. Произвести испытание сепаратора в работе и установить технологическую эффективность разделения семян.

Общие сведения

Механические способы разделения (сепарации) семян культурных растений и сорняков основаны на механических признаках: геометрические размеры, масса, форма, парусность и некоторые другие. Для высококачественного разделения этого недостаточно, так как сорняки часто имеют такие же механические признаки, как и семена культурных растений.

Наиболее качественное разделение (сортировка) зерновых смесей достигается, когда используются не только механические параметры, но и электрические признаки (факторы) сортирования (электрическая проводимость, диэлектрические свойства, поляризуемость в электрическом поле, способность воспринимать и сохранять электрический заряд и др.).

В основе электрического разделения зерносмесей лежит способность семян, имеющих разные физико-механические и электрические параметры, получать разный по величине заряд, определяющий различную силу действия электрического поля.

Устройства, в которых посредством сил электрического поля разделяют зерносмеси, семена, другие сыпучие материалы, называют *электрическими сепараторами*.

Электрические сепараторы различают: по виду электрического поля (коронные, электростатические, переменного поля и др.); по способу зарядки частиц (коронные, электростатические, диэлектрические и др.); по конструктивному исполнению (камерные, барабанные, транспортерные).

Основные способы зарядки: ионная (чаще в поле коронного разряда), контактная (на электроде в электростатическом поле), комбинированная (на электроде и ионная), индукционно-поляризованная, электризацией (механической, химической или тепловой).

Принцип устройства и работы электрокоронного барабанного сепаратора представлен на рис. 12.1.

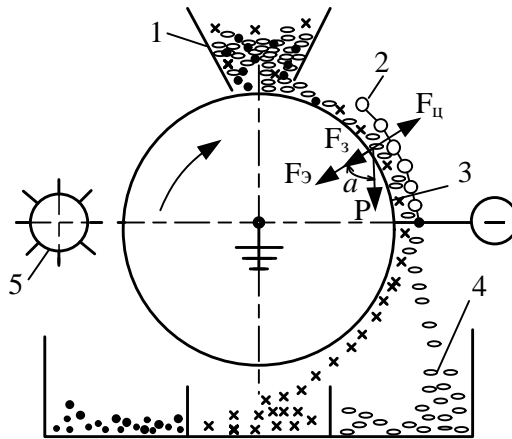


Рис. 12.1. Схема электрокоронного сепаратора барабанного типа:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – коронирующие электроды;
- 3 – осадительный электрод – барабан; 4 – классификатор;
- 5 – щетка-очиститель

Коронный разряд (корона) – неполный самостоятельный электрический разряд в газах (воздухе), возникающий в резко неоднородных полях, создаваемых электродами с малым радиусом закругления, когда размер коронирующего электрода намного меньше размера другого электрода и при напряженности электрического поля близкой к электрической прочности газа. Коронирующие электроды – система тонких (0,2...0,3 мм) проволок,

расположенных на одинаковом расстоянии от осадительных электродов (в данном случае барабана).

Частицы смеси поступают на вращающийся барабан с нулевой скоростью и получают заряд, находясь на некоронирующем электроде (совмещенная зарядка – ионная и контактная).

В поле короны на заряженную частицу действуют силы: тяжести $P = mg$; центробежная $F_{ц} = \frac{mV^2}{R_6}$; электрическая $F_3 = EQ$;

зеркального отображения (по закону Кулона) $F_3 = -\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(2h)^2}$.

В уравнениях: m – масса частицы, кг; V – линейная скорость барабана, м/с; R_6 – радиус барабана, м; Q – заряд частицы, Кл; E – напряженность электрического поля, В/м; h – расстояние от заряда до проводящей поверхности, м.

Условие отрыва частицы от барабана: $F_3 + F_3 + P\cos\alpha \leq F_{ц}$.

В работе представлен сепаратор диэлектрический лабораторный однокамерный СДЛ-1, предназначенный для разделения биологически ценных семян зерновых и других культур по их электрофизическим и иным свойствам с целью повышения посевных качеств. По конструктивному исполнению он относится к сепараторам барабанного типа (рис. 12.2).

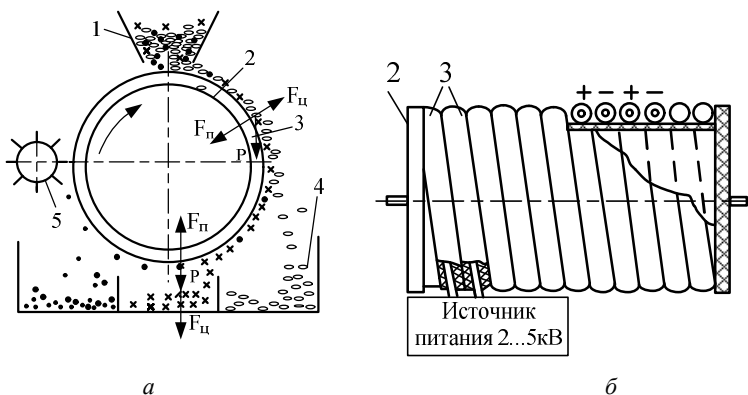


Рис. 12.2. Технологическая схема диэлектрического сепаратора (а) и конструкция барабана (б):

1 – загрузочный бункер; 2 – барабан; 3 – бифилярная обмотка; 4 – классификатор; 5 – щетка-очиститель

Основным рабочим органом сепаратора является барабан из диэлектрического материала с бифилярной (двухпроводной) обмоткой (рис. 12.2, б). К двум выводам обмотки подводится высокое напряжение (до 5 кВ) от повышающего маломощного трансформатора, а два других вывода изолируют.

Технические характеристики сепаратора приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Основные технические характеристики сепаратора СДЛ-1

Характеристики	Значение
Производительность, кг/ч, не менее: семена зерновых культур; семена овощных культур; семена травяных культур	10 7 5
Напряжение питающей сети, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Максимальное напряжение на обмотке, кВ	5
Потребляемая мощность, кВт	0,5
Частота вращения барабана, Гц	0,33
Масса, кг	70
Количество обслуживающего персонала, чел.	1

В неоднородном поле на поверхности семян, обращенной к положительно заряженному электроду, наводится отрицательный заряд $-Q$, а на противоположной стороне – положительный $+Q$ (рис. 12.3, а).

На эти заряды действует поле, и, если оно неоднородно (\bar{E}_1 не равно \bar{E}_2), возникают две разные по направлению и равные по величине силы:

$$\bar{F}'_n = Q\bar{E}_1; \quad \bar{F}''_n = Q\bar{E}_2, \quad (12.1)$$

где \vec{E}_1 , \vec{E}_2 – векторы напряженности электрического поля в местах нахождения зарядов $-Q$ и $+Q$.

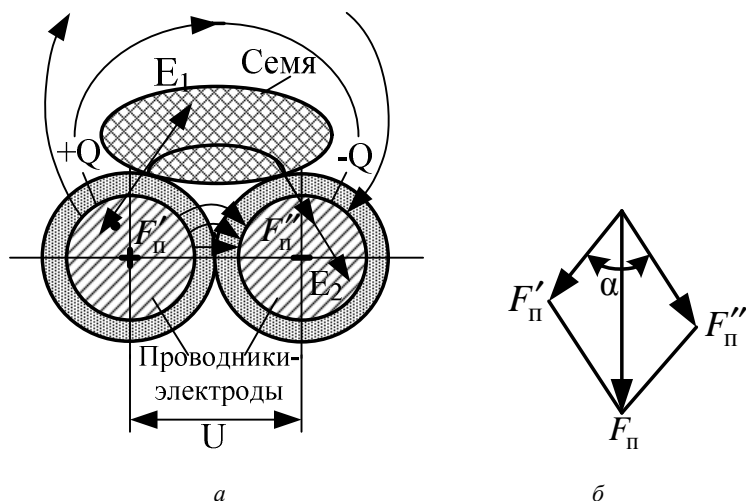


Рис. 12.3. Схема действия поляризационных сил $F'_п$ и $F''_п$ (а) на зерно и их векторное сложение (результатирующая сила $F_п$) (б)

Результирующая поляризационная сила равна

$$\vec{F}_п = \vec{F}'_п + \vec{F}''_п. \quad (12.2)$$

Значение силы $\vec{F}_п$ зависит от соотношения диэлектрической проницаемости частицы ϵ_1 и среды ϵ_2 . При $\epsilon_1 > \epsilon_2$ частица втягивается в область наибольшей напряженности поля, возникающей в точке соприкосновения проводников-электродов, а при $\epsilon_1 < \epsilon_2$ выталкивается из этой области. Диэлектрическая проницаемость семени ϵ_1 больше диэлектрической проницаемости воздуха ϵ_2 , поэтому семя прижимается к электродам.

Поляризационная сила зависит от напряженности электрического поля, диэлектрической проницаемости семян, других физико-химических параметров, а также от расстояния между электродами.

Так как поляризованная сила пропорциональна квадрату напряженности электрического поля $\bar{F}_n = k\bar{E}^2$, (где k – коэффициент пропорциональности), то при питании электродов переменным напряжением направление силы неизменно, но величина ее изменяется во времени с удвоенной частотой сети.

Переменное напряжение предпочтительнее, так как в этом случае нет необходимости использования выпрямляющего устройства. Отличительная особенность диэлектрических сепараторов состоит в том, что близкое расположение проводников-электродов позволяет создать высокую напряженность электрического поля в зоне разделения семян при сравнительно низких напряжениях питания, меньших по сравнению с электростатическими и коронными сепараторами. Поэтому они более безопасны в эксплуатации и имеют меньшую стоимость.

Принципиальная электрическая схема управления сепаратором приведена на рис. 12.4. При включении SA1 загорается индикатор VD1. Выключателем SA2 подают напряжение на мотор-редуктор. Конденсатор C3 обеспечивает однофазное включение трехфазного электродвигателя M1. Выключателем SA3 «Дозатор» включают электродвигатель M2 привода загрузочного валика бункера, при этом загорается индикатор VD3. Так как рабочее напряжение двигателя M2 составляет 127 В, питание его осуществляется через делитель C1...C4. Необходимое смещение фазы питающего напряжения в обмотке возбуждения осуществляется конденсатором C2.

Напряжение на барабан подается выключателем SA4 «Сепарация», при этом загорается индикатор VD4, включается автотрансформатор TV1 и подается напряжение на повышающий трансформатор TV2. Величину выходного напряжения регулируют (в пределах 0...1 и 0...5 кВ) переключателем SA5 «Режим».

Диапазон 0...1 кВ получают при включении первичной обмотки TV2 через конденсаторы C5 и C6.

Резисторами R7, R8, R9 осуществляют изменение пределов измерения напряжения вольтметром рV в диапазонах 0...1 и 0...5 кВ. Напряжение подводится к обмотке барабана с помощью скользящих контактов XA1, XA2.

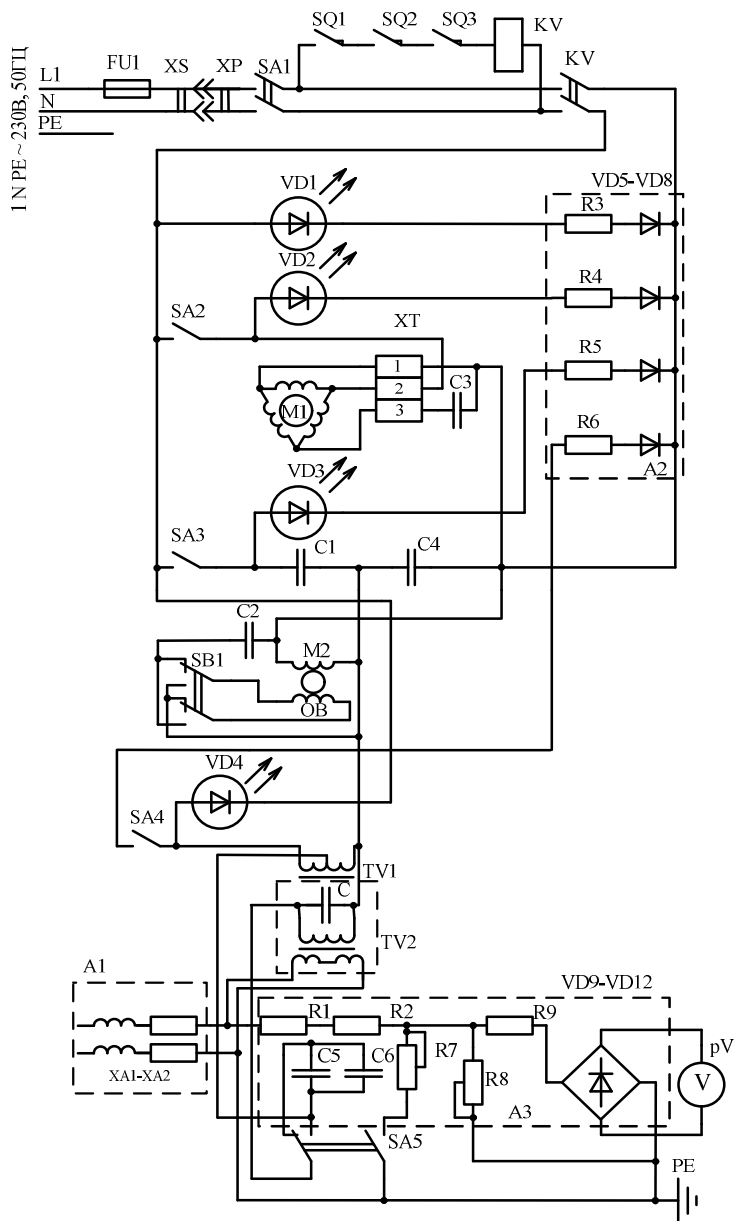


Рис. 12.4. Принципиальная электрическая схема управления сепаратором СДЛ-1

Порядок включения сепаратора в работу и обеспечение технологического процесса сепарации:

1. Убедиться в том, что защитные стенки закрыты полностью.
2. Включить сетевой шнур в розетку, установить выключатель «Сеть» в положение «Включено».
3. Установить выключатель «Сепаратор» в положение «Выключено». В зависимости от культуры семян по таблице, расположенной на панели управления, установить вращением ручки автотрансформатора напряжение сепарации, контролируя напряжение по вольтметру.
4. Засыпать в бункер семена и установить выключатели «Барабан» и «Бункер» в положение «Включено».
5. Отрегулировать положение заслонки бункера таким образом, чтобы семена поступали на рабочий орган барабана равномерно в один слой.
6. В тех случаях, когда после одного пропуска через сепаратор не удастся получить желаемый результат, рекомендуется двух- или трехкратная обработка семян.
7. Для окончательного удаления семян из бункера нажатием кнопки реверсировать загрузочный валик.
8. После очистки бункера установить выключатели «Сеть», «Сепаратор», «Барабан», «Дозатор» в положение «Выключено», ручку автотрансформатора повернуть против часовой стрелки до упора.
9. Отключить сепаратор от сети.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить способы зарядки частиц в электрическом поле, назначение, устройство, принцип работы коронного и диэлектрического сепараторов семян по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. На рабочем месте изучить устройство сепаратора, правила техники безопасности, последовательность операций по его подготовке к работе, включению и регулированию режимов.

Включить сепаратор в сеть и убедиться в исправной работе механизмов (подачи семян, регулирования напряжения на рабочем органе и др.). Установить заслонку бункера в положение, обеспечивающее поступление семян на барабан равномерно в один слой.

2. Провести опыты по определению эффективности разделения семян в сепараторе в зависимости от напряженности электрического поля и числа повторностей обработки. Напряженность поля изменять, регулируя напряжение, подводимое к обмотке.

Исследования провести в следующей последовательности:

2.1. Смешать и взвесить всю партию семян, представленную в опытах, определить их суммарную массу и записать в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Эффективность сепарирования семян в зависимости от напряжения на электродах

Напряжение U , кВ	Общая масса семян m_{Σ} , г	Распределение семян по фракциям						Степень очистки C , о.е.
		I		II		III		
		m_I , г	m_I , %	m_{II} , г	m_{II} , %	m_{III} , г	m_{III} , %	
0,2								
0,3								
0,4								
0,5								

2.2. Засыпать семена в бункер и выполнить операции в последовательности, приведенной в п. «Порядок включения и работы сепаратора».

2.3. После обработки отключить сепаратор, аккуратно собрать и взвесить семена каждой фракции (m_I , m_{II} , m_{III}), их массу записать в табл. 12.2.

2.4. Смешать семена всех фракций, снова взвесить, установить новое значение напряжения на электродах, сепарировать, повторить все операции предыдущего пункта и так для всех 4-х значений напряжения на электродах.

2.5. Произвести трехкратную обработку семян при одном и том же напряжении на электродах 0,5 кВ. Первый раз обработать как в предыдущем случае, в последующем – только семена первой фракции, полученные при предшествующей обработке. Данные записать в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Результаты исследования эффективности сепарирования семян

Число повторностей опыта, n	Общая масса семян m_{Σ} , г	Распределение семян по фракциям						Степень очистки C , о.е.
		I		II		III		
		m_I , г	m_I , %	m_{II} , г	m_{II} , %	m_{III} , г	m_{III} , %	
1								
2								
3								

Обработать результаты и определить:

1. Распределение семян (в %) по фракциям (классам) для каждого значения U на электродах. Для i -й фракции

$$\bar{m}_i = \frac{m_i}{m_{\Sigma}} \cdot 100. \quad (12.3)$$

2. Степень очистки C (в относительных единицах) для каждого значения U , которую упрощенно определить по массе отсепарированных малоценных семян и примесей, считая семена первой фракции наиболее качественными:

$$C = \frac{m_{\Sigma} - m_I}{m_{\Sigma}}. \quad (12.4)$$

Построить графические зависимости:

– степени очистки от напряжения на электродах $C = f(U)$ по данным табл. 12.2;

– степени очистки от числа повторностей обработки $C = f(n)$ по данным табл. 12.3.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Технологическая схема диэлектрического сепаратора и конструкция барабана.
3. Таблицы наблюдений и вычислений.
4. Графические зависимости.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается физическая сущность электрокинетической технологии?
2. Как классифицируют электрические сепараторы смесей?
3. Какие есть способы зарядки частиц в электрическом поле?
4. Чем отличаются электрические сепараторы смесей от механических?
5. Опишите устройство и принцип работы электрокоронного сепаратора.
6. Опишите устройство и принцип работы сепаратора СДЛ-1.
7. Какова природа сил электрического поля, действующих на семена в диэлектрическом сепараторе?
8. При каких условиях происходит удержание семени на барабане электрокоронного и диэлектрического сепаратора?

13. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАЦИИ И ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

Цель работы: изучить технологические процессы, устройство и принцип действия, исследовать режимы работы установок электрофильтрации и ионизации воздуха.

Задачи работы:

1. Усвоить классификацию, изучить устройство и принцип работы установок электрофильтрации воздуха.
2. Изучить устройство и принцип работы установок ионизации воздуха.
3. Изучить схему и принцип действия выпрямителя с умножением напряжения.
4. Изучить устройство и исследовать режимы работы установки УОВ-1:
 - 4.1. Исследовать влияние напряженности электрического поля на величину заряда частицы и степень очистки воздуха.
 - 4.2. Определить мощность фильтра, диапазон регулирования напряжения на электродах, расход энергии на очистку воздуха.
 - 4.3. Получить зависимость потока аэроионов от напряжения на разрядной линии, определить мощность установки и расход энергии на ионизацию воздуха.

Общие сведения

В различных помещениях агропромышленного комплекса, особенно в животноводческих, птичниках, в цехах перерабатывающих предприятий при высокой интенсивности производства образуется пыль, микроорганизмы и другие загрязнители воздуха в концентрациях выше нормативных. При очистке воздуха можно довести концентрацию взвешенных частиц и микробов до нормы, обеспечить его регенерацию, что улучшает микроклимат и повышает эффективность производства.

Электрические фильтры по конструкции электродных систем бывают трубчатые и пластинчатые, а по расположению зон зарядки и осаждения – одно- и двухзонные. У однозонных фильтров зоны

зарядки и осаждения совмещены, у двухзонных (рис. 13.1) – разнесены в пространстве.

Технологический процесс электрофильтрации воздуха включает следующие стадии: подачу загрязненного воздуха или газа, содержащего взвешенные частицы (пыли, дыма, тумана и т. п.), в зону поля униполярного коронного разряда; ионную зарядку частиц; силовое действие поля по перемещению заряженных частиц к осадительным электродам; накопление частиц на поверхности осадительных электродов; утилизацию частиц.

Энергия, затрачиваемая на выделение взвешенных частиц из газового потока, пропорциональна току, потребляемому электрофильтром, и напряжению на его электродах. Рабочий ток в электрофильтрах составляет $(0,1 \dots 0,5) \cdot 10^{-3}$ А/м длины коронирующего электрода. Напряжение на электродах может достигать 50 кВ и более. Мощность, потребляемая фильтром, незначительна, зависит от объема фильтруемого воздуха. Ее величина лежит в диапазоне от нескольких до 70...100 Вт.

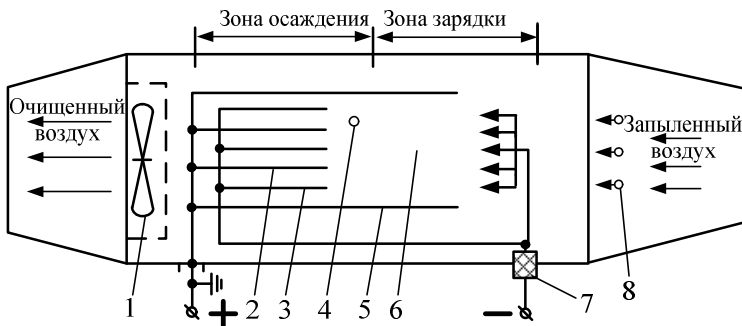


Рис. 13.1. Схема устройства двухзонного электрического фильтра воздуха:
 1 – вентилятор; 2, 3, 5 – осадительные и заряжающие электроды;
 4 и 8 – заряженная и нейтральная частицы; 6 – коронирующие электроды;
 7 – проходной изолятор

На заряженную частицу, находящуюся в воздушной среде в электрическом поле, действуют:

– сила тяжести:

$$F_t = mg; \quad (13.1)$$

– сила электрического действия:

$$F_3 = qE; \quad (13.2)$$

– сила, обусловленная неравномерностью электрического поля.
Для сферической частицы

$$F_H = 2\pi\epsilon_0 a^3 \text{grad}E^2 (\epsilon_q - 1) / (\epsilon_q + 2); \quad (13.3)$$

– сила сопротивления среды:

$$F_c = 0,5C_x \rho_{cp} (v_q - v_{cp})^2 S_q, \quad (13.4)$$

где m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; q – электрический заряд частицы, Кл; E – напряженность электрического поля, В/м; ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$; ϵ_q – относительная диэлектрическая проницаемость частицы; a – радиус частицы, м; ρ_{cp} – плотность среды, кг/м^3 ; S_q – площадь миделева сечения для сферической частицы, $S_q = \pi a^2$, м^2 ; v_q , v_{cp} – скорости движения частицы и среды, м/с.

Коэффициент сопротивления среды:

$$C_x = \frac{24(1 + 0,167Re^{2/3})}{Re}, \quad (13.5)$$

где Re – число Рейнольдса; в электрофильтрах $Re = (2...8) \cdot 10^3$.

Суммарная сила

$$\bar{F} = \bar{F}_T + \bar{F}_3 + \bar{F}_H + \bar{F}_c \quad (13.6)$$

может перемещать или ориентировать частицу в электрическом поле и тем самым способствовать определенному технологическому

процессу (например, направлять заряженные частицы пыли на осадительные электроды или аэрозоли краски на окрашиваемое изделие).

Наиболее распространенный способ зарядки – путем осаждения ионов на поверхность частицы в поле коронного разряда. Предельный (максимальный) заряд наступает в тот момент, когда сила отталкивания между зарядами, находящимися на частице, равна сумме сил, притягивающих приближающиеся заряды.

Для непроводящих частиц размером более 2 мкм

$$q_m = 4\pi\epsilon_0 k_\Sigma a^2 E, \quad (13.7)$$

для проводящих

$$q_m = 12\pi\epsilon_0 a^2 E, \quad (13.8)$$

где

$$k_\Sigma = 1 + 2(\epsilon_q - 1) / (\epsilon_q + 2). \quad (13.9)$$

Заряд сферических частиц, находящихся на электроде в электрическом поле:

$$q_m = \frac{2\pi^3 E a^2}{3}. \quad (13.10)$$

Реальные значения заряда существенно ниже предельного из-за влияния контактного сопротивления, концентрации частиц, стекания заряда и других факторов.

Основной характеристикой электрофильтров является степень очистки газов:

$$\eta = 1 - \exp(-\chi v_{oc} S / \omega), \quad (13.11)$$

где χ – поправочный коэффициент, $\chi = 1, 1.1, 1.3$; v_{oc} – скорость движения частиц к осадительному электроду, м/с; S – площадь осадительных электродов, м²; ω – объемный расход воздуха (газа), м³/с.

Скорость осаждения частиц в пластинчатых электрофильтрах:

$$v_{oc} = B_k q_{cp} E_{oc}, \quad (13.12)$$

где B_k – подвижность частицы с учетом поправок, $m^2/(B \cdot c)$; q_{cp} – средний заряд частицы, $q_{cp} = 0,5q_m$, Кл; E_{oc} – напряженность поля у осадительного электрода, В/м.

Ионное состояние атмосферы является одной из характеристик климата, а в помещении – микроклимата, и его характеризуют содержанием электризованных частиц в воздухе.

Благотворное влияние на организм оказывают легкие отрицательные ионы и, прежде всего, отрицательно заряженные молекулы кислорода. Положительно заряженные легкие аэроионы также необходимы для живых организмов, приученных природой за длительный период эволюции к тому, что в воздухе содержится почти равное количество отрицательных и положительных зарядов (примерно 4:5).

В основе процесса *ионизации воздуха* лежит искусственное придание отрицательного заряда молекулам кислорода и другим частицам с целью положительного влияния на продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы (табл. 13.1). Предельная концентрация аэроионов составляет не более 10^{12} ионов в $1 м^3$.

Таблица 13.1

Зоотехнические рекомендации по дозам ионизации воздуха в помещениях

Виды животных, птиц	Концентрация отрицательных аэроионов, 10^{11} ион/м ³	Режим аэроионизации
Телята до 11 месяцев	2...3	Ежедневно по 6...8 ч
Коровы	2...3	В течение 15...20 дней по 5...8 ч/сут
Быки-производители	2,5	В течение 2 месяцев по 8...10 ч/сут, перерыв на 20...30 дн., повтор

Виды животных, птиц	Концентрация отрицательных аэроионов, 10^{11} ион/м ³	Режим аэроионизации
Поросята, свиньи	3...5	В течение 3...4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, повтор через 1 месяц
Цыплята 3...60 дней	0,25	Ежедневно по 1...4 ч
Бройлеры	0,6...0,7	С 3-х по 65-е сутки продолжительность увеличивают с 0,5 до 3 ч/сут, 7 дней – воздействие, 5 дней – пауза
Молодняк птицы 2–5 месяцев	0,2...1,6	Увеличение продолжительности аэроионизации с возрастом от 0,5 до 9...12 ч/сут
Куры-несушки	1,5...2,5	Увеличение продолжительности аэроионизации с возрастом от 4 до 12 ч/сут. Чередование: 1 месяц – ионизация, 1 месяц – перерыв
Инкубаторы	0,13	19 дней круглосуточно

Существует ряд способов искусственной ионизации воздуха: электрокоронный, ультрафиолетовым излучением, термоэлектронный, радиоактивным излучением и др. Наиболее безопасный и распространенный – ионизация воздуха в поле электрического коронного разряда.

В однополярных ионизаторах используют постоянный ток, в биполярных – постоянный и переменный ток напряжением 12 кВ и более. Биполярные ионизаторы генерируют в одном устройстве отрицательные и положительные аэроионы.

В общем случае ионизатор воздуха состоит из высоковольтного источника постоянного тока ИП, токоограничивающего резистора R , кабеля высоковольтного ВК и коронирующего (разрядного) устройства F (рис. 13.2).

В качестве разрядного устройства применяют системы: с коронирующим электродом в виде листа, на котором закреплены иглы (люстра Чижевского); одножильный тонкий провод диаметром 0,08...2,00 мм или многожильный провод-трос, натянутый между изоляторами и закрепленный на стенах или потолке на высоте 2,5...3,0 м от пола (рис. 13.2, б); жгуты из кусков провода, укрепленные на общем токопроводящем тросе; промышленные керамические резисторы, из которых выведены заостренные концы проводников и др.

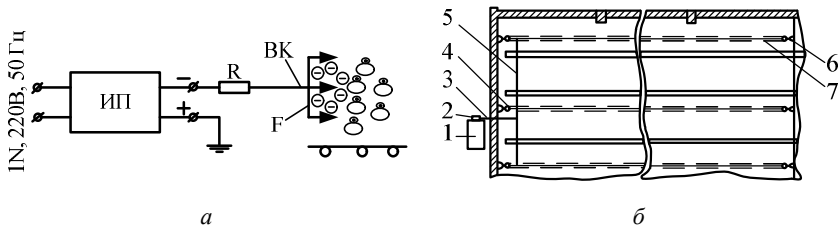


Рис. 13.2. Схема устройства электрического ионизатора воздуха (а) и схема размещения проволочного ионизатора в животноводческом помещении (б):

- 1 – силовой щит; 2 – блок питания аэроионизатора;
3, 5 – кабель РК-75-17-21, соединяющий блок питания с разрядной линией;
4 – изоляторы; 6 – трос; 7 – разрядная линия

Осадительным электродом, к которому направляются отрицательные аэроионы, служат элементы помещения (пол, стены) и технологическое оборудование.

Сопротивление $R = (20...50)$ МОм (рис. 13.2, а) ограничивает ток источника питания до величины, безопасной для человека (4 мА). Мощность блока питания не превышает 10 Вт.

Минимальное напряжение U_i на разрядной линии (рис. 13.2), необходимое для зажигания коронного разряда:

$$U_i = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{R_1}}\right) R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (13.13)$$

где R_1 , R_2 – радиусы кривизны коронирующего и осадительного электродов, м.

Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации n аэроионов:

$$U = U_i + \frac{neR_2^2}{4\epsilon_0}, \quad (13.14)$$

где e – заряд аэроиона, принятый равным заряду электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Напряжение на разрядной линии с учетом падения напряжения на сопротивлении, ограничивающем ток в самой линии:

$$U_0 = \frac{U^2}{(1-C)(2U - U_i)}, \quad (13.15)$$

где C – коэффициент стабильности разряда, $C = 0,4$.

Разрядный ток на единицу длины линии:

$$i = \frac{8\pi\epsilon_0 k U (U - U_i)}{R_2^2 \ln(R_2 / R_1)}, \quad (13.16)$$

где k – подвижность отрицательных ионов кислорода, $k = 1,84 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с).

Ток разрядной линии:

$$I = il, \quad (13.17)$$

где l – длина линии, м.

Поток аэроионов с единицы длины коронирующего электрода:

$$N = \frac{i}{l}. \quad (13.18)$$

Источниками питания установок электрофильтрации и ионизации воздуха служат высоковольтные выпрямители, собранные по схеме умножения напряжения (рис. 13.3). Их используют при высоких напряжениях и малых потребляемых токах (до 0,1 мА).

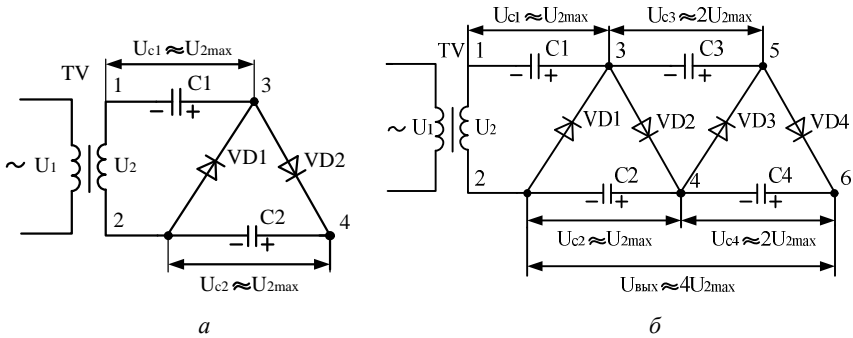


Рис. 13.3. Принципиальная электрическая схема каскадного выпрямителя с удвоением (а) и учетверением (б) напряжения

К первой ступени относятся конденсаторы C_1 , C_2 и вентили VD_1 , VD_2 ; ко второй – конденсаторы C_3 , C_4 и вентили VD_3 , VD_4 . Нагрузку обычно присоединяют параллельно конденсаторам к точкам 2 и 4 при наличии одной ступени, к точкам 2 и 6 – при наличии двух и т. д.

Пусть в начальный момент времени ЭДС вторичной обмотки трансформатора направлена от точки 1 к точке 2. Тогда конденсатор C_1 заряжается через открытый вентиль VD_1 до тех пор, пока напряжение на вторичной обмотке трансформатора TV не достигнет амплитудного значения. Когда направление ЭДС вторичной обмотки изменится, будет заряжаться конденсатор C_2 по цепи: точка 1 – конденсатор C_1 – вентиль VD_2 – конденсатор C_2 – точка 2 вторичной обмотки трансформатора. Поскольку в это время конденсатор C_1 и вторичная обмотка трансформатора оказываются включенными последовательно, конденсатор C_2 заряжается до напряжения $U_{c2} \approx U_{2max} + U_{c1} \approx 2U_{max}$.

В следующий полупериод заряжается конденсатор C_3 по цепи: точка 2 – конденсатор C_2 – вентиль VD_3 – конденсатор C_3 – конденсатор C_1 – точка 1 вторичной обмотки. Конденсатор C_3 заряжается до напряжения $U_{c3} \approx U_{2max} + U_{c2} - U_{c1} \approx U_{2max} + 2U_{2max} - U_{2max} \approx 2U_{2max}$.

При очередном изменении полярности ЭДС вторичной обмотки конденсатор C_4 зарядится до напряжения $U_{C_4} \approx 2U_{2\max}$.

В установившемся режиме суммарное напряжение на выходе схемы (между точками 2 и 6) $U_{\text{вых}} \approx U_{C_2} + U_{C_4} \approx 4U_{2\max}$.

В общем случае выходное напряжение каскадной схемы $U_{\text{вых}} \approx 2nU_{2\max}$, где n – число ступеней каскада.

Установка УОВ-1 (рис. 13.4, а) предназначена для очистки (электрофилтрации) и ионизации воздуха в птицеводческих и животноводческих помещениях. Ее размещают или в помещении, где очищают воздух, или в подсобном помещении (рис. 13.4, б), в котором желательно иметь водопровод для промывки фильтра один раз в две недели и слив для загрязненной воды.

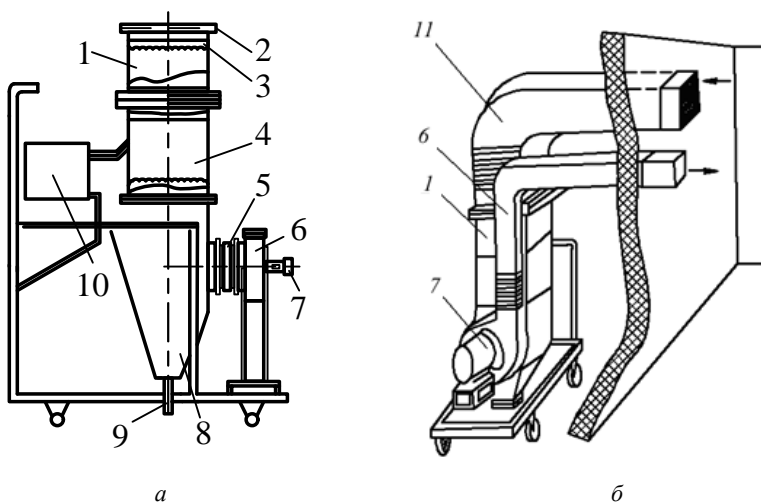


Рис. 13.4. Установка очистки и ионизации воздуха УОВ-1 (а) и схема размещения ее в помещении (б):

- 1 – электрофильтр-аэроионизатор; 2 – защитная сетка;
- 3 – пластины заряжающей секции; 4 – пластины осадительной секции;
- 5 – виброгасительная вставка; 6 – нагнетательный воздуховод;
- 7 – электропривод вентилятора; 8 – пылеуловитель; 9 – патрубок удаления пыли;
- 10 – блок управления и питания; 11 – заборный воздуховод

Запыленный воздух из помещения проходит между заряжающими и осадительными пластинами фильтра, очищается и поступает

опять в помещении. Частицы пыли получают заряд в заряжающей секции и оседают на электродах осадительной секции.

Пыль удаляют с пластин путем их периодической мойки водой из шланга. Нижние кромки стальных электродов выполнены в виде острых зубьев, провоцирующих коронный разряд, в поле которого происходит ионизация воздуха.

Блок управления установкой (рис. 13.5) состоит из панели управления работой вентилятора и блока повышения напряжения до 8 кВ.

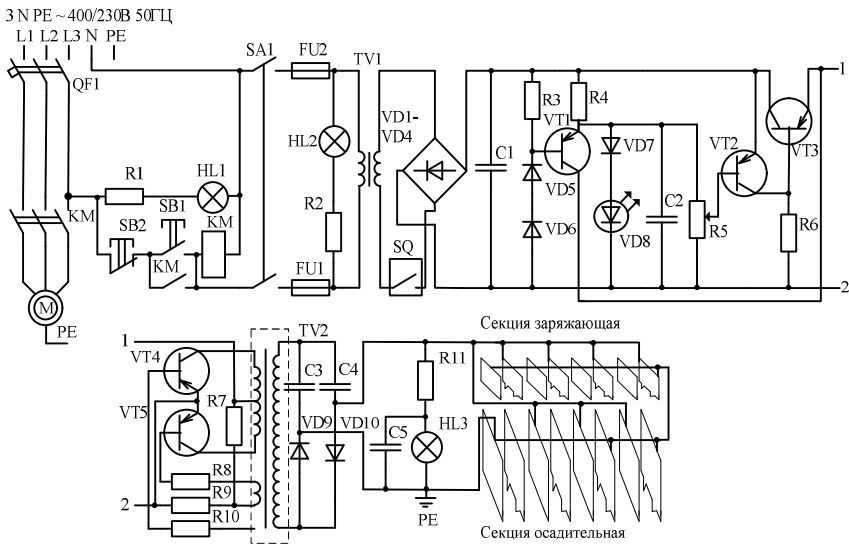


Рис. 13.5. Принципиальная электрическая схема управления установкой УОВ-1

Высоковольтный блок содержит: понижающий трансформатор TV1 220/32В; выпрямитель UD1...VD4; конденсатор C1, сглаживающий пульсацию выпрямленного напряжения; стабилизатор-регулятор напряжения со схемой защиты от перегрузки и короткого замыкания, выполненный на транзисторах VT1, VT2, VT3; преобразователь постоянного тока в ток повышенной частоты на транзисторах VT4, VT5 и трансформаторе TV2; схему удвоения напряжения, выполненную на конденсаторах C3, C4 и диодах VD9, VD10. Высокое напряжение регулируют резистором R5.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы и устройство установок электрофльтрации и ионизации воздуха, области их применения по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Изучить на лабораторном оборудовании и по рисункам устройство и принцип работы установок.

2. Измерить конструктивные параметры установки очистки и ионизации воздуха УОВ-1 и электрического ионизатора, необходимые для дальнейших расчетов (табл. 13.2).

Таблица 13.2

Значения параметров установки УОВ-1

Секция очистки воздуха				Секция ионизации воздуха		
$S_1, \text{ м}^2$	$n, \text{ шт.}$	$d, \text{ м}$	$V_t, \text{ м}^3/\text{с}$	$R_1, \text{ м}$	$R_2, \text{ м}$	$L, \text{ м}$

В табл. 13.2: S_1 – площадь электрода осадительной секции; n_3 – число электродов осадительной секции; d – расстояние между электродами в осадительной секции; $V_t = 0,33 \text{ м}^3/\text{с}$ – подача воздуха; R_1, R_2 – радиусы кривизны коронирующего и осадительного электродов.

Радиус коронирующего электрода R_1 принять равным радиусу волокон хлопчатобумажной оплетки разрядного провода. Замерить микрометром. Радиус осадительного электрода R_2 принять равным высоте подвеса разрядной линии.

3. Определить влияние напряженности электростатического поля E на степень очистки воздуха и величину заряда частицы $q_{\text{ср}}$ расчетным методом по формулам (13.2), (13.6), (13.11).

Принять $B_k = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $\epsilon_v = 2 \dots 6$, $a = (1 \dots 4) \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Значения η и $q_{\text{ср}}$ найти для 3...4 значений E . Напряжение на

электродах регулировать резистором R4 в диапазоне от U_{\min} до U_{\max} (рис. 13.5).

Мощность фильтра, Вт:

$$P = UI, \quad (13.19)$$

где U, I – напряжение и ток фильтра соответственно.

Расход энергии на фильтрацию воздуха, Дж/м³:

$$W = \frac{P}{V_t}. \quad (13.20)$$

Результаты вычислений представить в виде табл. 13.3.

Таблица 13.3

Зависимость параметров ионизации от напряженности электрического поля

$U,$ В	$I,$ А	$E,$ В/м	$q_{cp},$ Кл	$U_{\infty},$ м/с	$\eta,$ о.е.	$P,$ Вт	$W,$ Дж/м ³

4. Зависимость потока N аэроионов от напряжения U разрядной линии, мощность P аэроионизатора и расход энергии W определить расчетным и экспериментальным методами, используя формулы (13.18)...(13.20). Результаты расчетов записать в табл. 13.4.

Таблица 13.4

Зависимость параметров ионизации от напряжения на разрядной линии

$U,$ В	$I,$ А	$i,$ А/м	$N,$ ион/м	$n,$ ион/м ³	$P,$ Вт	$W,$ Дж/м ³	$l_p,$ м

В табл. 13.4: I – ток разрядной линии; i – разрядный ток на единицу длины линии; $n = NI_p / V$ – средняя концентрация аэроионов в помещении объемом V ; $P = UI$ – мощность аэроионизатора; $W = P\tau / V_t$ – расход энергии на ионизацию воздуха.

Расчетная длина разрядной линии в помещении (рис. 13.2, б):

$$l_p = \frac{n_p V_{\text{п}}}{N}, \quad (13.21)$$

где n_p – рекомендуемая концентрация аэроионов в помещении, ион/м³ (принять из табл. 13.1); $V_{\text{п}}$ – объем помещения, м³.

Размеры помещения: длина – 60 м, ширина – 30 м, высота – 4 м.

Напряжение на разрядной линии в помещении определить по формулам (13.13) и (13.14).

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Таблицы с результатами исследований.
3. Схема электрического фильтра.
4. Графические зависимости $\eta(E)$, $q_{\text{ср}}(E)$; $N(U)$, $n(U)$.
5. Мощность и расход энергии на электрофильтрацию и ионизацию воздуха.
6. Расчетные значения l_p и U_o для разрядной линии в помещении.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Опишите устройство и принцип действия электрического фильтра воздуха.
2. Какие есть стадии технологического процесса электрофильтрации воздуха?
3. Перечислите преимущества и недостатки электрических фильтров воздуха.
4. Какие существуют основные способы получения аэроионов?
5. Опишите устройство и принцип действия электрического ионизатора воздуха.
6. Какое технологическое значение имеет ионизация воздуха для животных и птицы?
7. Объясните назначение и опишите устройство установки УОВ-1.
8. Как работает принципиальная электрическая схема управления установкой УОВ-1?
9. Как устроена и работает схема выпрямления и умножения напряжения?

14. ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: изучить свойства и технологические проявления ультразвука, устройство, принцип действия, исследовать режимы работы ультразвуковых установок.

Задачи работы:

1. Изучить природу, характеристики, свойства и технологические проявления, области применения ультразвука.

2. Изучить устройство, принцип действия генераторов УЗГ-3-04 с ванной лужения УЗВЛ-0,4 и ультразвуковой установки УЗУ-0,25 с ванной для мойки, приобрести навыки работы с ними.

3. Исследовать интенсивность, уровень кавитации ультразвуковых колебаний в ванне установки УЗУ-0,25, провести опыты по некоторым технологическим проявлениям ультразвука.

Общие сведения

Ультразвук – это упругие механические колебания в газообразных, жидких или твердых средах в диапазоне частот от $16 \cdot 10^3$ до 10^8 Гц.

Ультразвуковые волны возбуждают в упругих средах с помощью вибраторов, преобразующих подводимую к ним механическую или электрическую энергию в механические колебания самих вибраторов и окружающей их среды.

Основными параметрами, характеризующими ультразвуковое поле в среде, являются: звуковое давление p , плотность энергии W , интенсивность ультразвука I , скорость распространения ультразвуковой волны c .

Звуковое давление ультразвуковой волны в некоторой точке поля, определяемой координатой x , является переменным, изменяясь по гармоническому закону:

$$p = \rho c B \omega \cos \omega(\tau - x / c) = p_{\max} \cos \omega(\tau - x / c), \quad (14.1)$$

где p_{\max} – амплитуда звукового давления, $p_{\max} = \rho c B \omega = \nu z_a$, Па; ν – амплитуда скорости распространения звуковой волны, $\nu = B \omega$, м/с; B – амплитуда смещения частицы, м; ω – угловая частота колебаний, с^{-1} ;

ρc – удельное акустическое сопротивление среды, $\rho c = z_a$, (Па·с)/м;
 ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость распространения ультразвуковой волны, м/с; x – текущая координата частицы, м. Величину $\omega(\tau - x/c)$ называют фазой волны.

Скорость распространения продольной ультразвуковой волны:
 – в жидких средах:

$$c = \sqrt{1/\rho\beta}; \quad (14.2)$$

– в твердых телах:

$$c = \sqrt{E/\rho}, \quad (14.3)$$

где β – сжимаемость среды (для воды $\beta = 47 \cdot 10^{-11}$ Па⁻¹); E – модуль упругости Юнга (для железа $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па).

Плотность энергии (средняя за период колебаний T):

$$W = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \rho B^2 \omega^2. \quad (14.4)$$

Интенсивность (сила) ультразвука – поток ультразвуковой энергии в единицу времени через единичную поверхность, расположенную перпендикулярно направлению распространения ультразвуковой волны:

$$I = \frac{1}{2} \rho v = \frac{1}{2} \rho c v^2 = \frac{1}{2} z_a v^2. \quad (14.5)$$

Интенсивность ультразвуковых колебаний, используемых в технике изменяется от 10^{-2} до 10^6 Вт/м², а в установках специального назначения достигает 10^7 Вт/м².

Ультразвук используют в технологических процессах и измерительной технике в соответствии с его проявлениями (эффектами):
 а) *первичными* – кавитация (образование и захлопывание микро-

пузырьков); звуковой ветер (постоянное движение частиц в направлении излучения); поверхностное трение; переменное давление (звуковое, радиационное); фонтанирование жидкости; б) вторичными – механические (коагуляция, дегазация, диспергирование); акустические (распространение, преломление, отражение); термические (нагрев сред); химические (изменение скорости реакций, возникновение новых); биологические (изменение скорости физиологических процессов вследствие микромассажа, локального нагрева, физико-химических превращений).

Слабые УЗ колебания применяют в измерительной технике и дефектоскопии (определение толщины заготовок, сред, глубины залегания дефектов, измерение толщины жира у свиней, содержания жира и белка в молоке и т. п.).

Средние УЗ колебания (удельной мощностью $1 \dots 12 \text{ кВт/м}^2$) используют в ветеринарной медицине (для профилактики и терапии глаз, лечения костных заболеваний, фурункулеза и др.), для отпугивания насекомых, грызунов, предпосевной обработки семян, пастеризации и гомогенизации молока и т. п.

Мощные УЗ колебания применяют для очистки и мойки деталей; сверления, фрезерования, резки, долбления глухих отверстий в материалах, обладающих хрупкостью (стекло, керамика, кварц, сверхтвердые сплавы), сварки и пайки металлов (в том числе алюминия), пластмасс с металлами, очистки дымовых газов и др.

Установка для ультразвуковой обработки материалов (рис. 14.1) состоит из электрического генератора 1, преобразователя 2, концентратора 3 и рабочего инструмента 4.

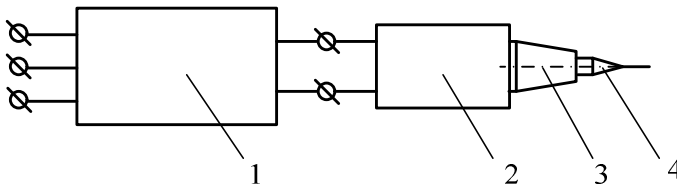


Рис. 14.1. Схема устройства технологической УЗ установки

Генератор преобразует токи промышленной частоты в токи ультразвукового диапазона частот. Преобразователь (вибратор) трансформирует электрическую энергию высокой частоты в механические

колебания той же частоты. Концентратор увеличивает амплитуду механических колебаний и подводит их к инструменту или излучателю, которые передают эти колебания в обрабатываемую среду.

Преобразователи – источники ультразвуковых волн – могут быть механическими (свистки, сирены и др.) и электроакустическими (магнестрикционные и пьезоэлектрические). Конструктивное выполнение преобразователей может быть весьма разнообразно в зависимости от технологического назначения, мощности, частоты, условий работы. Некоторые виды преобразователей приведены на рис. 14.2 и в составе технологических установок – на рис. 14.3.

Магнестрикционные преобразователи основаны на магнестрикционном эффекте, состоящем в изменении геометрических размеров тел, выполненных из магнестрикционных материалов (железо, никель, сплавы: альфер, пермендюр и др.) в переменном магнитном поле.

Пьезоэлектрические преобразователи основаны на обратном пьезоэлектрическом эффекте, состоящем в изменении геометрических размеров некоторых тел (кристаллы кварца, керамика, титанат бария, цирконат, титанат свинца и др.) в переменном электрическом поле.

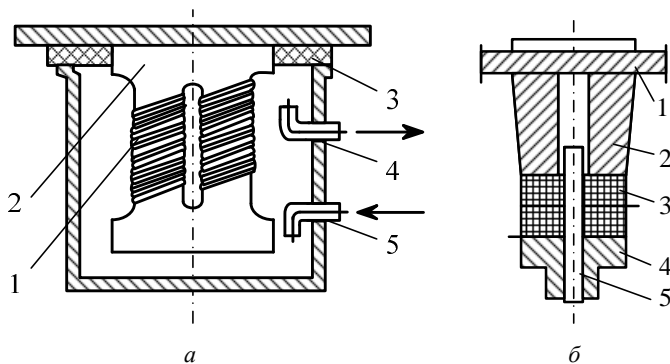


Рис. 14.2. Схемы преобразователей:

а – магнестрикционного типа ПМС: 1 – обмотка;

2 – магнестрикционный пакет; 3 – излучающая пластина;

4, 5 – выход и вход охлаждающей воды;

б – пьезокерамического: 1 – дно или стенка оборудования; 2, 4 – накладки;

3 – пьезокерамическая пластина; 5 – стяжной болт с излучающей головкой

Акустические трансформаторы – волноводы и концентраторы – служат для ввода ультразвуковых колебаний в ту зону, где обрабатывают материал, а также для согласования параметров преобразователя с нагрузкой.

В устройстве *ультразвуковой пайки* (рис. 14.3, а) на стержне имеется нагревательный элемент и обмотка, создающая ультразвуковые колебания.

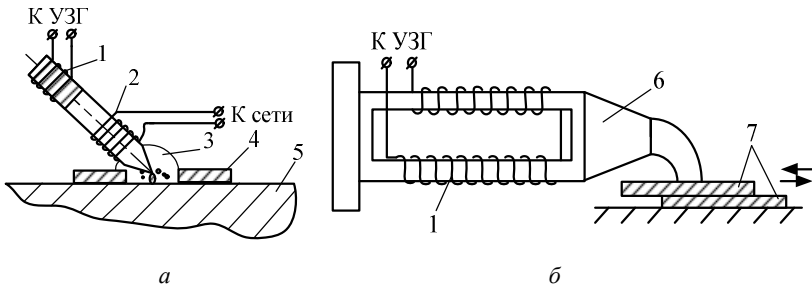


Рис. 14.3. Схемы устройств ультразвуковой пайки (а) и ультразвуковой сварки (б):
 1 – магнитострикционный излучатель; 2 – нагревательный элемент; 3 – припой;
 4 – окисная пленка; 5 – алюминиевая пластина; 6 – концентратор;
 7 – свариваемые детали

При нагревании стержня припой расплавляется, а ультразвуковые колебания вызывают в нем кавитацию, разрушающую окисные пленки на соединяемых деталях. Их частицы всплывают, и очищенная поверхность, например, алюминия, хорошо поддается лужению. Применяемая частота – 18...23 кГц, интенсивность ультразвука – $(0,25...1) \cdot 10^6$ Вт/м², мощность – 0,01...0,6 кВт.

Ультразвуковую сварку (рис. 14.3, б) применяют для соединения различных материалов, трудновыполнимого другими методами. Соединяемые детали прижимают друг к другу, причем одну из них надежно закрепляют. Под действием преобразователя приводят в колебательное движение с частотой ультразвука другую деталь. На границе трения деталей образуются общие кристаллы, связывающие свариваемые поверхности. Наиболее легко свариваются легкоплавкие металлы (алюминий, медь и их сплавы, никель, серебро и т. п.) как между собою, так и с твердыми малопластичными материалами (керамикой, стеклом, полупроводниковыми материалами). Тугоплавкие металлы (вольфрам, ниобий, цирконий

и др.) сваривают через прослойку из третьего материала, например через алюминий, а также заготовки, покрытые оксидами, лаками, полимерами и т. п. Сварка происходит без заметного нагрева и поэтому называется холодной.

В лаборатории представлены *ультразвуковой генератор УЗГ-3-04* (для питания ванн очистки и лужения, сварочного пистолета, паяльника) и *ультразвуковая установка УЗУ-0,25* (для мойки и очистки мелких деталей в ультразвуковой ванне).

Технические характеристики приведенного оборудования представлены в табл. 14.1, схема установки УЗУ-0,25 – на рис. 14.4.

При включении тумблера SA питание от трансформатора TV1 через диод VD1 подается на задающий генератор, собранный на транзисторе VT1 по схеме с индуктивной обратной связью и колебательным контуром.

Электрические колебания ультразвуковой частоты от задающего генератора подаются трансформатором TV2 на вход предварительного усилителя мощности, первая ступень которого собрана на транзисторах VT2, VT3, а вторая – на транзисторах VT4, VT5. Обе ступени предварительного усиления мощности собраны по последовательно двухтактной схеме, работающей в режиме переключения, что позволяет получить достаточно высокий КПД.

Таблица 14.1

Технические характеристики УЗ установок

Параметры	УЗГ-3-04	УЗУ-0,25
Мощность генератора, кВт: – выходная; – потребляемая	0,4 1,1	0,25 0,45
Напряжение, В: – выходное; – питающее сетевое	20...220 220	– 220
Преобразователь	магнитострикционный	пьезоэлектрический
Частота генератора, кГц, в положении: – очистки; – лужения; – пайки и сварки	17,5...19,3 20,4...23,0 39,6...45,0	18

Параметры	УЗГ-3-04	УЗУ-0,25
Ток подмагничивания, А	2...6	—
Масса, кг	60	30

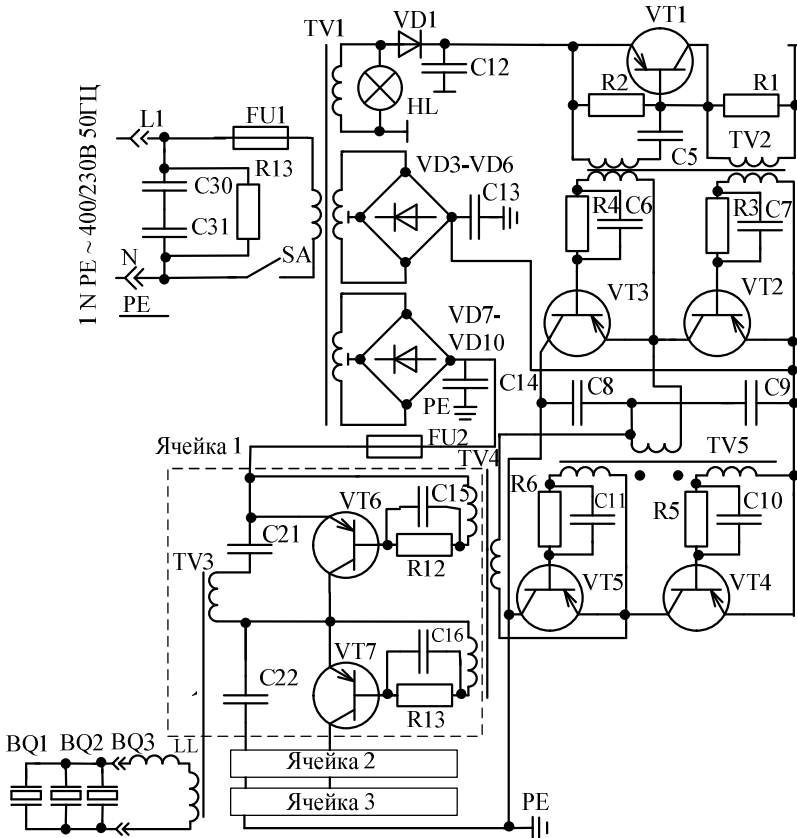


Рис. 14.4. Схема электрическая принципиальная установки УЗУ-0,25

Цепи без транзисторов первой и второй ступени усиления мощности подключены к отдельным, включенным встречно, обмоткам возбуждения TV2 и TV5, что обеспечивает двухтактную работу транзисторов, т. е. поочередное включение.

Автоматическое смещение транзисторов обеспечивается резисторами R3...R6 и конденсаторами C6, C7 и C10, C11, включенными в цепь базы каждого транзистора. Переменное напряжение возбуждения подается на базу через конденсаторы C6, C7 и C10, C11, а постоянная составляющая базового тока на резисторах R3...R6 создает падения напряжения, обеспечивающие надежное открывание и закрывание транзисторов.

Четвертая ступень усилителя мощности состоит из трех ячеек, каждая из которых собрана на двух транзисторах, работающих в режиме переключения. Возбуждение от предварительного усилителя мощности подается на каждый транзистор с отдельной обмотки трансформатора TV4, причем в каждой ячейке эти напряжения противофазные.

С трансформаторных ячеек переменное напряжение подается на обмотки трансформатора TV3, где происходит сложение мощностей, и с выходной обмотки трансформатора – на пьезоэлектрические преобразователи BQ1...BQ3. Катушка индуктивности LL и собственная емкость преобразователя составляют колебательный контур, настроенный на первую гармонику напряжения, что позволяет преобразовать прямоугольную форму выходного напряжения с транзисторов, работающих в режиме переключения, в синусоидальное напряжение на нагрузке.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы и принципы получения ультразвука, устройство, принцип действия, области применения технологических ультразвуковых установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Изучить устройство генератора УЗГ-3-04 с ванной лужения УЗВЛ-0,4.
2. Изучить устройство и исследовать работу установки УЗУ-0,25, укомплектованной ванной для мойки деталей с пьезоэлектрическими преобразователями.

2.1. Перед включением установки ванну заполнить измеренным количеством воды до уровня 0,12 м. Обработать воду в течение $\tau = 10 \dots 15$ мин и записать в табл. 14.2 ее массу m , объем V , начальную t_1 и конечную t_2 температуры.

Плотность энергии, Дж/м³, поглощенной водой:

$$W = \frac{mC(t_2 - t_1)}{V}, \quad (14.6)$$

где C – удельная теплоемкость воды, $C = 4190$ Дж/(кг·°С).

Интенсивность ультразвука, Вт/м³:

$$I = cW, \quad (14.7)$$

где c – скорость ультразвука в воде, $c = 1495$ м/с.

Измерения и вычисления выполнить с трехкратной повторностью (табл. 14.2), не меняя воду в ванной.

Таблица 14.2

Результаты исследования плотности энергии и интенсивности ультразвука в ванне установки УЗУ-0,25

№ повторности опыта	Измерено					Вычислено	
	m , кг	V , м ³	τ , с	t_1 , °С	t_2 , °С	W , Вт/м ³	I , Вт/м ²
1							
2							
3							
Среднее значение							

2.2. С помощью трубки (капилляра) исследовать поле радиационного давления в ванне. Радиационное давление S складывается из звукового давления и эффекта взаимодействия ультразвука с невозмущенной средой (дно и стенки емкости, излучатели и др.), оно пропорционально интенсивности ультразвука:

$$I = \frac{1}{2} Sc = \frac{1}{2} \rho g h c, \quad (14.8)$$

где ρ – удельная объемная масса жидкости, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; h – высота уровня жидкости в капилляре над уровнем в ванне, м.

Эти зависимости используют в качестве одного из методов измерения интенсивности ультразвуковых колебаний в жидких средах.

2.3. Изучить методику работы с кавитометром ICA – 6D, состоящего из электронного блока и широкополосного датчика с волноводом. Так как в мощном ультразвуковом поле кавитационная область состоит из двух типов пузырьков – стабильно пульсирующих и захлопывающихся (нестационарных), поэтому в кавитометре есть два режима измерений: полная активность кавитации (Total) и активность нестандартной кавитации (Transient).

2.4. С помощью кавитометра определить наличие и распределение интенсивности кавитации в ванне с водой установки УЗУ–0,25:

2.4.1. В различных точках над одним из излучателей (1, 2 или 3), между излучателями (точка 4) и в наиболее удаленной зоне (точка 5) при заполненной водой ванне до уровня 0,12 м на расстоянии от излучателя 0,06 м (табл. 14.3).

2.4.2. На разных расстояниях от одного из пьезоэлектрических преобразователей при двух разных уровнях заполнения ванны в соответствии с табл. 14.4.

Таблица 14.3

Результаты исследования распределения интенсивности кавитации в различных зонах ванны установки УЗУ-0,25

Параметры			Измерено	
Уровень воды в ванне H , м	Расстояние от излучателя до датчика кавитометра h , м	№ точки измерения	Полная активность кавитации K_{Π} , о.е	Активность нестандартной кавитации $K_{Н}$, о.е
0,12	0,06	1, или 2, или 3		
		4		
		5		

2.5. По результатам измерений (табл. 14.4) построить графические зависимости $K_{П}(h)$ и $K_{Н}(h)$.

2.7. Поместить в ванну с водой пробирку, заполненную водой и трансформаторным маслом, и наблюдать явление смешивания жидкостей.

2.8. Пробирку, заполненную маслом, несколько раз энергично встряхнуть, поместить в ванну и наблюдать эффект дегазации жидкости.

Таблица 14.4

Результаты исследования распределения интенсивности кавитации в ванне установки УЗУ-0,25 в зависимости от расстояния до излучателя

Параметры		Измерено	
Уровень воды в ванне H , м	Расстояние от излучателя до датчика кавитометра h , м	Полная активность кавитации $K_{П}(h)$, о.е	Активность нестандартной кавитации $K_{Н}$, о.е
0,12	0,02		
	0,04		
	0,06		
	0,08		
	0,10		

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Схема устройства ультразвуковой технологической установки.
3. Схемы устройств ультразвуковой пайки и ультразвуковой сварки.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов, графические зависимости $K_{П}(h)$ и $K_{Н}(h)$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Каковы природа, технологические свойства и проявления ультразвука?
2. В чем состоит физическая сущность пьезоэлектрического и магнитострикционного эффектов?
3. Как устроен пьезоэлектрический преобразователь?
4. Как устроен магнитострикционный преобразователь?
5. Перечислите области применения ультразвука в сельском хозяйстве.
6. Опишите схему устройства технологической УЗ установки.
7. На каких эффектах основана работа ультразвуковых преобразователей?
8. Опишите схему и принцип действия установки ультразвуковой пайки.
9. Опишите схему и принцип действия установки ультразвуковой сварки.

15. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить технологические действия магнитного поля, устройство, принцип действия, электрические схемы установок магнитной обработки материалов, исследовать режимы работы семяочистительной машины.

Задачи работы:

1. Изучить параметры, характеризующие магнитное поле и определяющие его энергию, технологические свойства, механические действия (силы).

2. Ознакомиться с технологией магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов, магнитной обработки воды, устройством и принципом действия производственных установок.

3. Изучить технологию магнитной очистки семян, устройство, принцип действия, электрическую схему семяочистительной машины К-295, приобрести навыки ее обслуживания.

4. Провести экспериментальное исследование машины К-295 и установить зависимость эффективности ее работы от магнитодвижущей силы (МДС) магнитного отделителя.

Общие сведения

Магнитное поле как составляющая электромагнитного поля оказывает определенные физико-химические и биологические воздействия на объекты.

Физико-химическое воздействие проявляется как деформация материалов, их перемещение в пространстве, изменение химических и физических свойств сред (для очистки семян и кормов, магнитной обработки воды, магнитоимпульсной обработки металлов и др.). На биологические объекты магнитное поле может оказывать стимулирующее или подавляющее воздействие.

Объемная энергия магнитного поля ($\text{Дж}/\text{м}^3$) в вещественной среде:

$$W = \frac{1}{2}BH = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0\mu} = \frac{1}{2} \mu_0\mu H^2, \quad (15.1)$$

где B магнитная индукция, Тл; H – напряженность магнитного поля, А/м. Это основные величины, характеризующие магнитное поле. Они связаны известной зависимостью:

$$\bar{B} = \mu_0 \mu \bar{H} = \mu_a \bar{H}, \quad (15.2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ – относительная магнитная проницаемость вещества; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость вещества, $\mu_a = \mu_0 \mu$, Гн/м;

Законы механики определяют силу как частную производную энергии по некоторой координате x , в направлении которой находят силу поля. Прделав эту операцию с выражением (15.1), получим формулу для плотности механических сил поля, Н/м³:

$$f = \frac{B}{\mu_0 \mu} \text{grad} B = \mu_0 \mu H \text{grad} H. \quad (15.3)$$

Равенство $\text{grad} B = \text{grad} H$ имеет место лишь в средах, где зависимость $B = f(H)$ линейная (в неферромагнитных средах).

Из уравнения (15.3) следует, что механические (пондеромоторные) силы поля имеют место лишь в неоднородных магнитных полях, так как в противном случае $\text{grad} B = 0$ и $f = 0$.

На тело объемом V , м³, действует сила

$$\bar{F} = \frac{\bar{B}}{\mu_0 \mu} V \text{grad} \bar{B}. \quad (15.4)$$

Механические силы магнитного поля используются в установках магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов от ферромагнитных частиц.

Установки магнитной очистки различают по назначению (для зерна, комбикормов, стебельчатых кормов и т. д.), виду магнитных систем (с постоянными магнитами, электромагнитами), способу транспортирования материала и др.

В производстве используют магнитные колонки (БКМ2-1,5; БКМ2-3; БКМП2-3; БКМА2-5), электромагнитные сепараторы ЭМ-10А, А1-ДЭС и др.

Установки магнитной очистки семян (рис. 15.1) применяют для отделения семян культурных растений, имеющих гладкую поверхность (клевер, люцерна, лен и т. п.) от семян сорняков с шероховатой поверхностью (повилика, горчак, василек, лебеда, герань и др.).

Принцип магнитной очистки семян заключается в том, что в результате предварительной обработки зерновой смеси магнитным порошком (с добавлением масла или воды) шероховатая поверхность семян сорняков легко покрывается частицами ферромагнитного порошка, благодаря чему они притягиваются к магнитам (электромагнитам), на гладкой же поверхности семян культурных растений порошок не удерживается, и магнитное поле на них не воздействует.

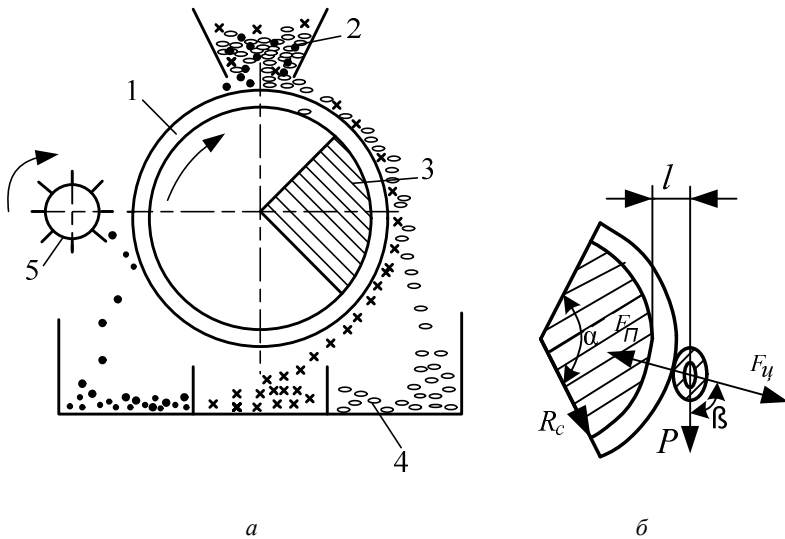


Рис. 15.1. Технологическая схема магнитной семяочистительной машины (а) и диаграмма сил, действующих на семя, покрытое магнитным порошком (б):

- 1 – барабан из немагнитного материала;
- 2 – приемный бункер семяочистительной машины;
- 3 – неподвижный магнитный сектор; 4 – классификатор фракций;
- 5 – щетка-очиститель

Технические данные некоторых магнитных семяочистительных машин приведены в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Технические данные магнитных семяочистительных машин

Показатель	ЭМС-1А	СМЩ-0,4	К-295
1. Производительность, кг/ч:			
– по клеверу;	180–200	400	10
– по льну	–	500	15
2. Расход (в % к массе неочищенных семян):			
– магнитного порошка;	1–2,5	1,1–2,5	0,3–1,3
– воды;	–	0,2–1,1	–
– масла	–	0,025–0,0	–
3. Чистота очистки, %	95–96	97– 98	96–98
4. Магнитная система	электромагнит	постоянный магнит	электромагнит
5. Установленная мощность, кВт	2,5	2,6	0,27
6. Масса, кг	1100	806	165

На семя, находящееся на поверхности вращающегося барабана, действуют следующие силы (рис. 15.1, б):

– сила тяжести:

$$P = mg, \quad (15.5)$$

где m – масса семян с порошком, кг; g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

– центробежная сила:

$$F_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R}, \quad (15.6)$$

где v – линейная скорость барабана, м/с; R – радиус барабана, м;

– сила магнитного поля, удерживающая семя с магнитным порошком:

$$F_M = \frac{m_{\text{п}}}{\rho} \cdot \frac{B}{\mu_0 \mu} \text{grad} B \sqrt{b^2 - 4ac}, \quad (15.7)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса порошка на семени, кг; ρ – плотность металла, кг/м³.

Условие удержания семени, покрытого магнитным порошком, на барабане:

$$F_M \geq F_T \cos \beta + F_{\text{Ц}}. \quad (15.8)$$

Неравенство (15.8) служит основой для расчета параметров установок магнитной очистки материалов.

В лаборатории представлена машина К-295 небольшой производительности, предназначенная для селекционных центров. Схема электрическая принципиальная управления приведена на рис. 15.2.

Вибратор У обеспечивает подачу смеси на барабан. Интенсивность вибрации регулируют автотрансформатором TV1, ручка которого выведена на лицевую сторону панели управления.

Питание магнитного барабана осуществляется от выпрямителя UZ, имеющего на выходе фильтр из конденсатора С1 и узла, собранного на транзисторе VT, резисторе R и конденсаторе С2. Питание подводится к катушке электромагнита с помощью щеток и коллектор ХТ.

Время работы смесителя задают механическим реле времени КТ путем вращения часовой стрелки крышки-задатчика, выведенной на панель управления. После поворота задатчика на некоторый угол, соответствующий задаваемому времени, замыкается контакт КТ.1, получает питание КМ1 и включается электродвигатель смесителя М1. Отключение после отработки заданного времени производится контактом КТ.2.

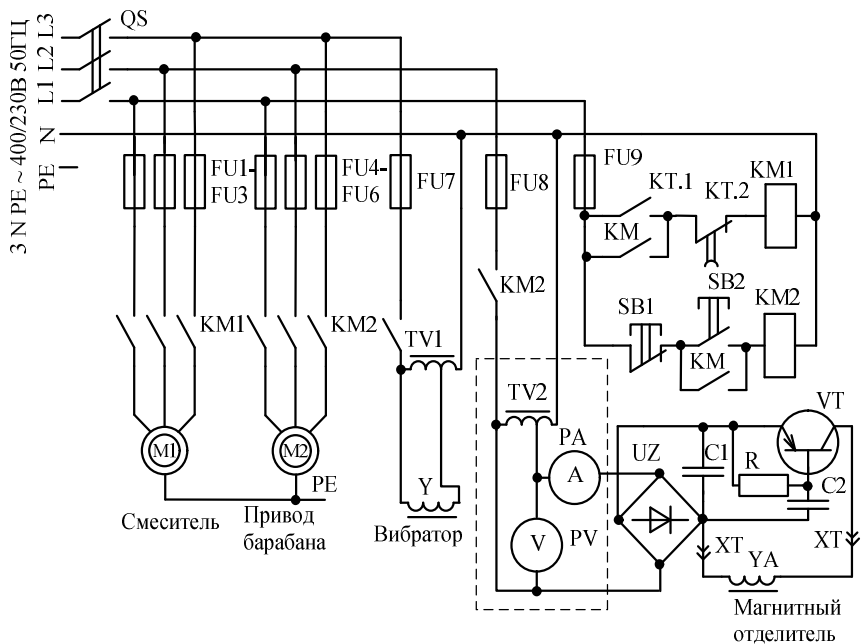


Рис. 15.2. Схема электрическая принципиальная управления семяочистительной машиной К-295

В узел, обведенный пунктиром, внесены измерительные приборы амперметр и вольтметр для целей исследования машины.

Пуск и остановку магнитного барабана и одновременно с ним подачу питания в вибратор и электромагнит YA осуществляют кнопками SB1 и SB2, выведенными на лицевую сторону панели управления. Смесь по лотку вибратора подается на барабан магнитного отделителя, где происходит разделение семян. Разделенные семена попадают в классификационные отсеки ящика, из которого в последующем извлекаются и подвергаются качественному и количественному анализу.

Магнитную обработку воды используют для умягчения воды в теплообменных аппаратах, увеличения урожайности при поливе растений омагниченной водой, упрочнения цементных растворов, бактерицидной обработки воды, поения животных и других целей.

Установки магнитной обработки воды размещают на вводных патрубках теплообменных устройств, чувствительных к накипи, образующейся на внутренних стенках труб паровых котлов, теплообменников, водонагревателей и других аппаратов в виде твердых отложений гидрокарбонатных, сульфатных, хлоридных, силикатных солей кальция, магния и железа.

Повышенная жесткость делает воду непригодной для хозяйственно-бытовых нужд, приводит к уменьшению диаметра трубопроводов, повышает гидравлическое сопротивление, снижает теплоотдачу поверхности аппаратов, ускоряет их коррозию и повреждение.

Предполагают, что магнитное умягчение воды основано на воздействии магнитного поля на растворенные в воде гидратированные катионы металлов, структуру гидратов и водных ассоциатов, что приводит к изменению скорости электрохимической коагуляции дисперсных частиц в потоке намагниченной жидкости и образованию многочисленных центров кристаллизации, ведущих к выпадению в осадок гидратированных катионов.

Промышленность выпускает два типа аппаратов для магнитной обработки воды – на постоянных магнитах и электромагнитах, работающих от источников переменного и постоянного тока. Кроме этих аппаратов применяют иногда устройства импульсного магнитного поля, способные генерировать сильные и сверхсильные магнитные поля с индукцией 5...100 Тл в импульсе.

Постоянные магниты изготавливают из порошков, в состав которых входят, например, неодим, железо, титан и бор. Они обладают большим сроком службы, высокой намагниченностью (1500...2400 кА/м), остаточной индукцией поля (280...320 кДж/м³) и не теряют своих свойств при нагреве до 150 °С.

Электромагниты состоят из катушки и сердечника, который может иметь различную форму – цилиндрическую, ш-образную и др. Катушка питается однополупериодным выпрямленным напряжением.

Конструктивно большинство аппаратов магнитной обработки воды представляют собой стальную трубу, внутри которой расположены магниты или электромагниты (рис. 15.3), защищенные от воды кожухом из немагнитного материала (алюминий, медь, латунь).

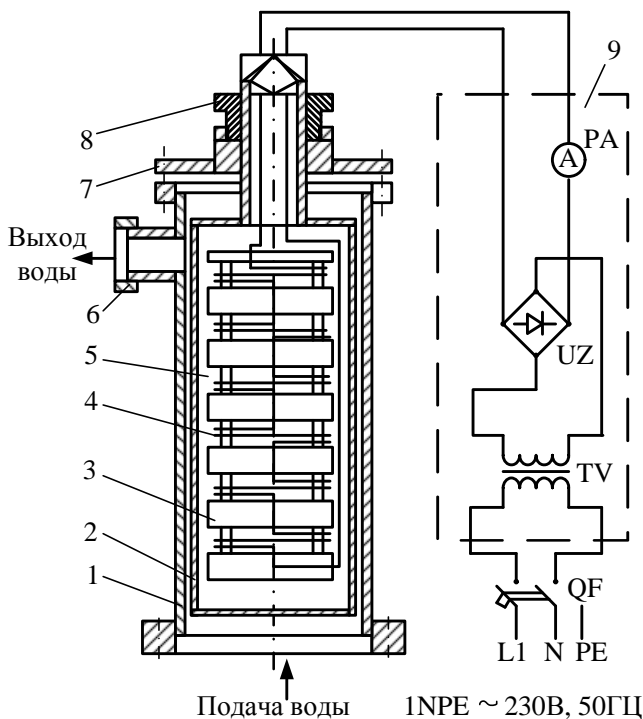


Рис. 15.3. Схема устройства электромагнитного аппарата для обработки воды и включения его в электрическую сеть:

- 1 – стальной корпус; 2 – латунный кожух; 3 – магнитный сердечник;
- 4 – обмотка подмагничивания; 5 – трансформаторное масло;
- 6 – выходной патрубок; 7 – крышка; 8 – гайка уплотнения; 9 – блок питания

В зазоре между кожухом и трубой протекает вода. Магнитный поток направлен перпендикулярно потоку воды. Кроме того, он поочередно меняет свое направление, так как в соседних катушках токи текут во встречных направлениях.

Под действием знакопеременного магнитного поля определенных параметров в тонком слое движущейся воды происходит ряд сложных физико-химических изменений, изменяющих ее структуру. Ионы растворенных в воде солей образуют центры кристаллизации непосредственно в потоке воды, а не на греющих поверхностях, что существенно повышает экономические показатели установок, увеличивает сроки их службы.

Имеются исследования, что обработанная в магнитном поле вода активируется и обладает стимулирующими качествами (например, при замачивании семян возрастает энергия прорастания, при поливе растений – урожайность культур и др.).

Эффективность магнитной обработки воды зависит от напряженности магнитного поля, количества знакопеременных магнитных зон, пересекаемых потоком воды, скорости движения воды в рабочем зазоре аппарата, состава воды и др.

После воздействия магнитного поля в последующем наблюдается ослабление приобретенных свойств, и способность воды к образованию накипи становится такой же, как у необработанной. Период релаксации составляет 18...24 ч.

Параметры аппаратов устанавливают, в основном, экспериментально. Удельная установленная мощность электромагнитов для обработки воды составляет 10...40 Вт/м³.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы и методы магнитной обработки материалов, устройство, принцип действия, области применения технологических установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с образцами и зарисовать технологическую схему процесса очистки семян, схему действующих на частицу сил, электрическую схему машины К-295, схему устройства аппарата магнитной обработки воды.

2. Экспериментальные исследования процесса обработки смеси зерна с ферромагнитными частицами провести при различной МДС магнитного отделителя путем изменения силы тока I , подаваемого в катушку электромагнитного барабана $W_m = IN$ (где N – число витков катушки).

При этом изменяется магнитная индукция B системы и, в соответствии с уравнением (15.7), величина магнитной силы F_m , удерживающей ферромагнитную частицу на поверхности барабана.

В зависимости от величины силы F_M частицы попадают в ту или иную секцию классификатора фракции зерновой смеси (рис. 15.1).

Силу тока в обмотке электромагнита регулируют автотрансформатором TV2 (рис. 15.2).

Последовательность выполнения операций с машиной К-295:

1. Смешать 100 г зерновой смеси и 50 г металлических частиц и высыпать в приемный бункер.

2. Отрегулировать зазор вибратора-питателя, обеспечивающий свободную подачу зерновой смеси в один слой.

3. С разрешения преподавателя включить машину, опробовать ее в работе, освоить операции обслуживания, подготовиться к проведению основных опытов.

4. Очистить машину от зерна и частиц, перемешать содержимое всех секций классификатора, взвесить смесь и внести данные в табл. 15.2.

5. Установить автотрансформатором TV2 силу тока, указанную преподавателем.

6. Засыпать смесь в бункер, включить машину и произвести очистку зерна от металлических частиц.

7. После обработки взвесить содержимое каждой секции классификатора и записать в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Влияние режима обработки на степень разделения семян

Режим обработки		Общая масса смеси, г	Распределение материала по классам k_i			
U, В	I, А		I		II	
			г	%	г	%

8. Повторить опыты при других значениях тока, указанных преподавателем. После завершения опытов очистить машину, зерно и металлические частицы поместить в емкости для их хранения, убрать рабочее место.

Построить зависимости степени разделения материала по классам от тока $k_i = f(I)$ для всех классов зерновой смеси.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Технологическая схема машины К-295.
3. Диаграмма сил, действующих на частицу с порошком в магнитном поле.
4. Схема устройства аппарата магнитной обработки воды.
5. Таблицы наблюдений и вычислений.
6. Графические зависимости.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры характеризуют магнитное поле?
2. Каковы технологические проявления магнитного поля?
3. Опишите принцип магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов от ферромагнитных материалов.
4. Опишите устройство и принцип действия электромагнитной семяочистительной машины К-295.
5. Как работает принципиальная электрическая схема управления электромагнитной семяочистительной машиной К-295?
6. Какие силы действуют на семя, покрытое магнитным порошком в установках магнитной очистки семян? Назовите условие удержания семени на барабане.
7. Объясните назначение и опишите устройство установки магнитной обработки воды.
8. Перечислите свойства и области применения обработанной в магнитном поле воды.
9. Какие параметры определяют эффективность магнитной обработки воды?

16. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: изучить устройство, принцип действия электролизеров, исследовать процессы электролиза водных растворов электролитов.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия электролизеров.
2. Изучить процессы, происходящие на электродах при электролизе водных растворов электролитов, законы Фарадея.
3. Исследовать процесс электролиза воды в электролизере «Невотон».
4. Определить удельную электрическую проводимость воды при электролизе.
5. Исследовать зависимость выхода по току и скорости электролиза от количества электричества.

Общие сведения

Электролиз – совокупность окислительно-восстановительных процессов, происходящих при прохождении постоянного электрического тока через электролит с погруженными в него электродами.

Устройства, в которых проводят электролиз водных растворов электролитов, имеют общее название – *электролизеры*. Их конструкция определяется характером процесса. Чаще всего используют ящичные электролизеры (рис. 16.1), представляющие собой открытую емкость с электролитом, в которой размещают электроды, соединенные с отрицательным (катод) и положительным полюсом (анод) источника питания постоянного тока.

Под действием электрического поля происходит диссоциация раствора электролита; положительно заряженные ионы движутся к катоду, а отрицательно заряженные ионы – к аноду. На электродах происходит переход электронов: на катоде – восстановление, на аноде – окисление.

Результат электролиза зависит от материала электродов и состава электролита. Для изготовления анодов применяют графит, углеродистые материалы, оксиды железа, свинца, никеля и др. Для катодов применяют сталь, часто с защитными покрытиями,

защищающих от агрессивности электролитов, продуктов электролиза, температуры и др. Корпуса современных электролизеров изготавливают из стекла, стеклопластика, керамики и т. п.

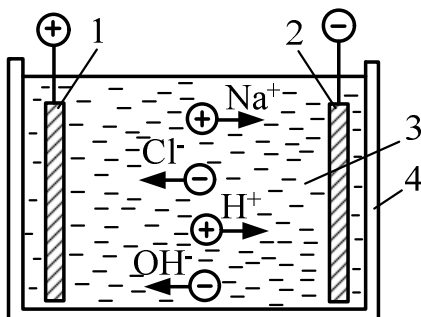
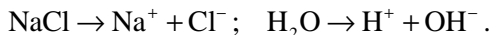


Рис. 16.1. Конструктивная схема ящичного электролизера:
1 – анод; 2 – катод; 3 – раствор; 4 – корпус

Электролиз используют в *гальваностегии* (для нанесения металлических покрытий в целях придания рабочей поверхности металла необходимых свойств (твердости, износостойкости, электропроводности и т. д.), защиты металлов от коррозии); в *гальванопластике* (для получения электролитического покрытия в виде точных металлических копий толщиной в несколько миллиметров с немаetalлических или metalлических образцов); для электрохимической полировки, заточки; придания требуемой формы metalлическим изделиям, не поддающимся механической обработке.

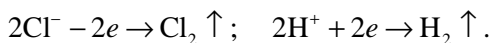
Путем электролитического разложения воды получают водород, используемый при синтезе различных неорганических и органических веществ, а также другие вещества.

Например, при электролизе соли NaCl в воде под действием электрического поля вещества диссоциируют на ионы:

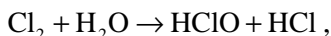


При этом ионы движутся к соответствующему электроду – положительные $\text{Na}^+, \text{H}^+ \rightarrow$ к катоду, отрицательные $\text{Cl}^-, \text{OH}^- \rightarrow$ к аноду.

На электродах выделяется хлор и водород:



В объеме раствора хлор соединяется с водой, образуя соляную и хлорноватистую кислоты:



а натрий образует щелочь и гипохлорит натрия:



Хлорноватистая кислота и гипохлорит натрия являются сильными окислителями. Их растворы используют для дезинфекции молочного, доильного и другого оборудования.

Схема процесса электролиза для производства дезинфицирующего раствора гипохлорита натрия из водного раствора поваренной соли (25...30 г/л) приведена на рис. 16.2.

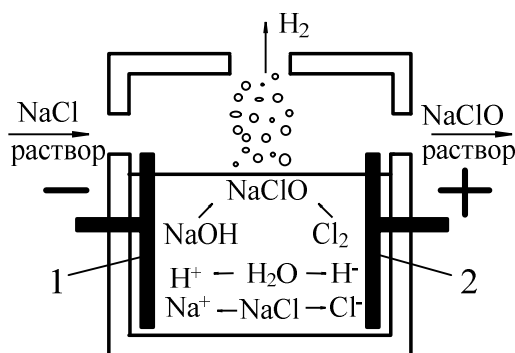


Рис. 16.2. Схема электролиза гипохлорита натрия из водного раствора NaCl:
1 – катод; 2 – анод

На получение одного килограмма активного хлора расходуется 5,4 кВт·ч электроэнергии, 125 кг воды и 3,0...3,5 кг поваренной соли с низким содержанием бромидов и фторидов, например соль «Экстра» по ГОСТ 51574–2000.

В процессе электролиза в результате взаимодействия ионов и промежуточных радикалов образуются также другие химические соединения. Электролиз можно использовать для получения таких веществ, как $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, способствующих коагуляции дисперсных веществ.

Скорости электродных реакций зависят от состава и концентрации электролита, материала электродов, электродного потенциала, температуры, гидродинамических условий. Мерой скорости служит плотность тока – количество переносимых электрических зарядов через единицу площади поверхности электрода в единицу времени.

Количество образующихся при электролизе продуктов определяют законом Фарадея: масса вещества m , выделившаяся на каком-либо электроде, прямо пропорциональна количеству электричества Q и электрохимическому эквиваленту этого вещества:

$$m = \alpha Q = \alpha I \tau, \quad (16.1)$$

где α – электрохимический эквивалент вещества, г/(А·с); I – сила тока, протекающего через электролит, А; τ – длительность протекания тока, с.

Количество электричества, необходимое для превращения на электроде одного эквивалента любого вещества, величина постоянная. Она равна заряду одного моля электронов и называется постоянной Фарадея ($F = 96\,500$ Кл/моль).

На практике часто оказывается, что фактическое количество превращенного на электродах вещества $m_{\text{ф}}$ не равно теоретическому $m_{\text{т}}$. Причина этого – побочные реакции, например: выделение водорода при осаждении металла, неполное восстановление катионов, параллельное восстановление катионов нескольких видов и др.

Отношение количества фактически полученного на электроде вещества к его теоретическому количеству, рассчитанному по формуле (16.1), называют выходом по току:

$$\kappa_{\text{вт}} = (m_{\text{ф}} / m_{\text{т}}) 100 \% = (m_{\text{ф}} / \alpha I \tau) 100 \% . \quad (16.2)$$

Чем больше удельный вес побочных реакций, тем меньше выход по току. Иногда при экспериментальном определении выхода по току его значение оказывается выше 100 %, что объясняется протеканием процессов электрохимического и химического растворения вещества, в результате чего фактическое изменение массы оказывается большим, чем теоретически рассчитанное.

Скорость электролиза:

$$v = \alpha I k_{\text{вт}}. \quad (16.3)$$

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить устройство, принцип действия электролизеров, процессы, происходящие на электродах, при электролизе водных растворов электролитов по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки и с устройством электролизера «Невтон» (рис. 16.3, а), служащим для обогащения воды ионами серебра.

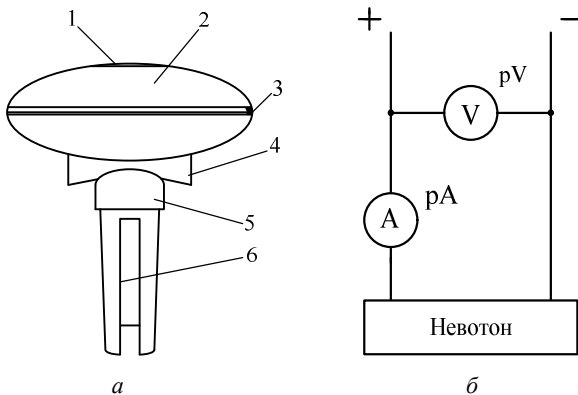


Рис. 16.3. Общий вид электролизера «Невтон» (а)

и принципиальная электрическая схема лабораторной установки (б):

1 – панель управления; 2 – верхняя часть корпуса;

3 – разъем питания; 4 – фиксаторы; 5 – нижняя часть корпуса; 6 – электроды

На панели управления размещены кнопки: «Режим» – устанавливает концентрацию раствора «Питьевая» – «Концентрат»; «Объем» – для выбора объема обрабатываемой жидкости (1, 2, 3 л) в режиме «Питьевая»; «Пуск/Стоп» – для включения и отключения электролизера. Выбранный режим отображается свечением соответствующего индикатора.

2. Исследовать процесс электролиза воды в электролизере «Невотон», используя лабораторную установку (рис. 16.3, б).

Банку заполнить водой до указанного уровня и установить на нее «Невотон». При этом электроды должны полностью находиться в воде. На панели управления выбрать режим «Концентрат» и кнопкой «Пуск/Стоп» включить электролизер.

Окончание процесса происходит автоматически, о чем сигнализирует мигающий индикатор работы и звуковой сигнал, раздающийся каждые 10 с. При работе каждые 5 мин измерять силу тока I и напряжение U в цепи. Показания электрических приборов занести в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Результаты экспериментальных исследований

Время работы τ , с	Сила тока I , 10^{-3} А	Напряжение U , В	Количество электричества Q , Кл	Масса серебра		Удельная электрическая проводимость γ , См/м	Концентрация ионов серебра C , г/л	Выход по току $K_{\text{вых}}$, %	Скорость электролиза v , 10^{-6} г/с
				фактическая $m_{\text{ф}}$, г	теоретическая $m_{\text{т}}$, г				
300									
600									
900									
1200									

3. Определить расчетные величины (табл. 16.1):

– удельную электрическую проводимость:

$$\gamma = (I/U)k,$$

где k – постоянная ячейки, $k = 22,2$;

– концентрацию ионов серебра C в воде по графику: $\gamma = f(C)$ (рис. 16.4);

– фактически полученную массу серебра:

$$m_{\phi} = CV,$$

где V – объем воды, л;

– теоретическую массу серебра:

$$m_{\tau} = \alpha I \tau,$$

где α – электрохимический эквивалент серебра, $\alpha = 1,118 \cdot 10^{-3}$ г/Кл;

– выход по току:

$$\kappa_{\text{вт}} = \frac{m_{\phi}}{m_{\tau}} 100\%,$$

– скорость электролиза:

$$v = \alpha I \kappa_{\text{вт}}.$$

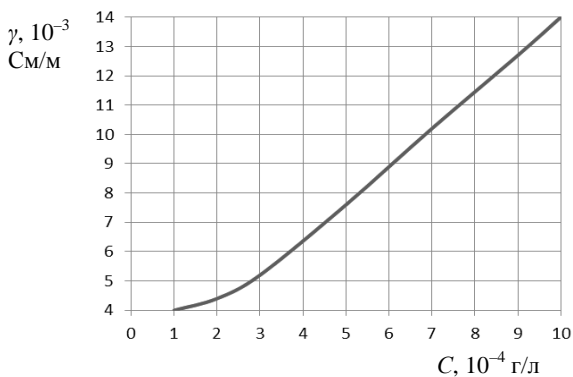


Рис. 16.4. Зависимость удельной электрической проводимости воды от концентрации ионов серебра

По данным табл. 16.1 построить графические зависимости $v = f(Q)$; $\kappa_{\text{вт}} = f(Q)$.

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Схема ящичного электролизера.
3. Основные реакции электролиза соли NaCl.
4. Таблица с результатами исследований.
5. Графические зависимости $v = f(Q)$, $\kappa_{\text{вт}} = f(Q)$.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое электролиз и какие законы дают его количественную оценку?
2. Опишите устройство и принцип действия электролизера.
3. Какие процессы проходят на электродах при электролизе водных растворов?
4. Перечислите основные реакции электролиза соли NaCl.
5. Объясните назначение и опишите устройство электролизера «Невотон».
6. Какие источники питания обеспечивают работу электролизеров?
7. Опишите методику определения выхода по току.
8. Как рассчитать скорость электролиза?
9. Перечислите области применения электролизеров.

17. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы: изучить устройство, принцип действия и исследовать режимы работы установки электрохимической обработки водных растворов.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия установок электрохимической обработки водных растворов.
2. Изучить способы получения анолитов и католитов, области применения в сельскохозяйственном производстве.
3. Исследовать кинетику изменения рН анолита и католита, рабочего тока в электроактиваторе при различных концентрациях исходного раствора соли NaCl.

Общие сведения

Электрохимическую обработку применяют для очистки воды от микроорганизмов, ионов тяжелых металлов, вредных органических соединений (фенолов, гербицидов, пестицидов, отравляющих веществ), придания необходимого рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), приготовления моющих и дезинфицирующих растворов.

Обработка основана на электролизе воды или водного раствора соли в диафрагменном или бездиафрагменном электролизере (электрореакторе).

Если через воду протекает постоянный электрический ток, то поступление электронов в воду у катода, также как и удаление электронов из воды у анода, сопровождается целой серией электрохимических реакций на поверхности катода и анода. В результате их образуются новые вещества, изменяется вся система межмолекулярных взаимодействий, в том числе и структура воды как растворителя.

Свойства воды, подвергнутой электрохимической обработке, определяются составом минеральных солей в исходной воде, а также видом и режимом электрохимического воздействия, в том числе конструкцией и электрохимическими характеристиками реактора.

Электроактивированные растворы (анолиты и католиты) в общем случае синтезируют из разбавленных (от 0,05 до 5,0 г/л) растворов неорганических веществ, в качестве которых чаще всего используют водный раствор хлорида натрия. В проточном электрохимическом реакторе (рис. 17.1) вода с небольшим содержанием солей поступает в анодную и катодную камеры, разделенные ионопроницаемой мембраной.

Для разделения ионов по знаку и получаемых в процессе электролиза активных соединений применяют разделительные или ионоселективные мембраны, т. е. используют электродиализ. Мембраны, изготовленные из специальных ионообменных материалов, содержат высокую концентрацию неподвижных (фиксированных) ионов, химически связанных с каркасом мембраны, и поэтому пропускают ионы только одного знака.

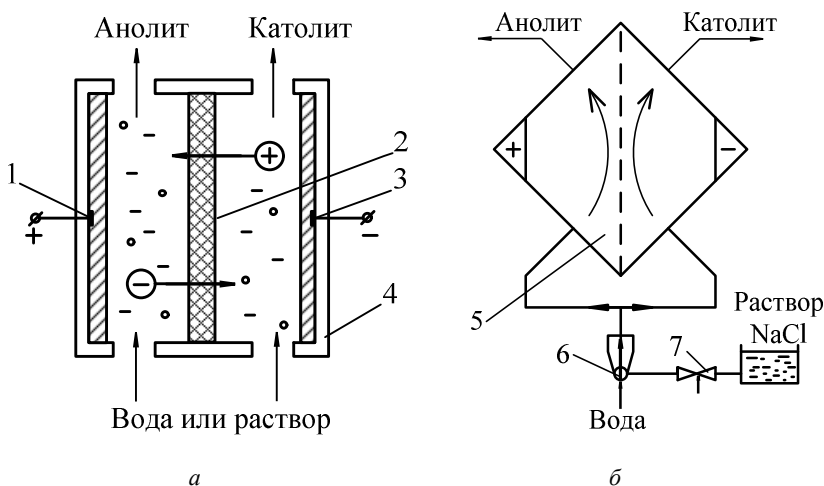


Рис. 17.1. Схема проточного электрохимического реактора (а) и принципиальная гидравлическая схема (б) установки для получения анолита и католита:

- 1 – анод; 2 – мембрана; 3 – катод; 4 – корпус;
5 – электрохимический реактор; 6 – насос; 7 – вентиль

В результате катодной обработки раствор приобретает щелочную реакцию (до $\text{pH} = 7,5 \dots 12,0$) и его окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) резко понижается (до $-300 \dots -800$ мВ).

В прикатодной зоне происходит насыщение раствора щелочными элементами (NaOH , OH , H_3O_2 , HO_2 , H_2O_2 и др.) и образуется *католит*, который обладает биологической активностью, стимулирует рост и развитие жизнедеятельности живых организмов и растений, обладает повышенной экстрагирующей, адсорбционно-химической активностью и растворяющей способностью, свойствами катализаторных процессов, нейтрализует коррозионно-агрессивные свойства газожидких сред, имеет пониженную величину поверхностного натяжения и повышенную смачиваемость.

Католиты в основном используют для поения животных и птицы, раскисления кормов, смачивания сухого корма, стимуляции всхожести семян, полива, стимуляции роста растений и др.

При анодной обработке кислотность раствора увеличивается до $\text{pH} = 6,0 \dots 2,0$, ОВП – от $+300$ до $+1200$ мВ. Раствор, находящийся в прианодном пространстве – *анолит*, обогащается оксидантами (HClO , Cl_2O , ClO_2 и др.), приобретает кислотный показатель и активные бактерицидные свойства, является антисептиком и консервантом, обладает ингибирующими свойствами в различных технических процессах и свойствами замедлять жизнедеятельность живых организмов и растений.

Основные области применения анолитов в сельскохозяйственном производстве: консервирование зерна, силоса, сенажа; санитарная обработка, дезинфекция помещений, воздушной среды; мойка и обработка животных и птицы; мойка и дезинфекция молочного и другого оборудования, инструмента, тары, емкостей, одежды, транспортных средств и т. п.

Схема экспериментальной установки с использованием электролизера АКВАЭХА, предназначенного для электрохимического синтеза дезинфицирующих, стерилизующих и моющих растворов, представлена на рис. 17.2.

Основной частью установки является электрохимический реактор, который представляет собой блок гидравлически параллельно-последовательно соединенных электролитических элементов, каждый из которых является самостоятельным проточным электрохимическим активатором растворов. Блок реакторов компактно размещен в корпусе установки. В гидравлическую систему установки

встроен водоструйный насос, выполняющий роль дозатора солевого раствора.

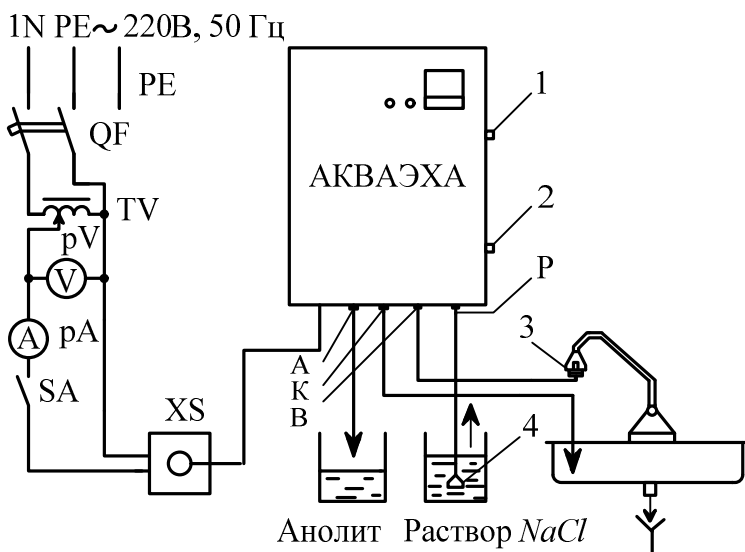


Рис. 17.2. Схема экспериментальной установки:
 А – выход анолита; К – выход католита; В – вход воды;
 Р – вход солевого раствора;
 1 – вентиль регулирования подачи солевого раствора;
 2 – вентиль регулирования слива католита;
 3 – насадка на водопроводный кран; 4 – фильтр

Электропитание блока реакторов осуществляется при помощи стабилизированного преобразователя тока, представляющего собой импульсный высокочастотный выпрямитель, снабженный контрольным амперметром, расположенным на передней панели источника питания установки.

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить устройство и принцип действия установок электрохимической обработки водных растворов, области применения электроактивированных

растворов в сельскохозяйственном производстве по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Определить эксплуатационные характеристики экспериментальной установки.

1.1. Под руководством лаборанта или преподавателя опустить шланги выхода анолита и католита в мерные емкости, включить автоматический выключатель QF подачи напряжения. При выключенном тумблере SA с помощью лабораторного автотрансформатора TV установить начальное напряжение питания, указанное в табл. 17.1.

1.2. Открыть краны выхода анолита и католита, подачи 20%-го раствора NaCl, включить тумблер SA подачи напряжения на электроды установки АКВАЭХА и одновременно секундомер.

В случае превышения максимального значения тока светодиод на передней панели начинает мигать, что свидетельствует о перегрузке (большая подача солевого раствора).

1.3. Зафиксировать начальный ток и через каждые 30 с измерять ток и объемы анолита и католита в мерных емкостях.

1.4. Выполнить измерения при всех напряжениях питания установки, указанных в таблице.

1.5. Рассчитать объемный расход (производительность установки) анолита Q_a , л/ч, и католита Q_k , л/ч.

1.6. Определить потребляемую мощность P , Вт, и удельную электрическую проводимость электродной системы γ , См/м.

1.7. Построить зависимости $\gamma(\tau)$, $P(\tau)$.

2. Исследовать изменения свойств растворов в процессе электрохимической обработки.

2.1. Определить pH анолита и католита с помощью прибора рН-метра для каждого режима работы установки при напряжениях 160...220 В по окончании обработки и убедиться в степени активации растворов.

2.2. Построить зависимости $pH_a(I_k)$ и $pH_k(I_k)$, где I_k – значение тока в конце процесса при $\tau = 180$ с.

Таблица 17.1

Результаты исследований установки АКВАЭХА

Напряжение питания, U , В	Экспериментальные данные						Расчетные данные			
	Время τ , с	Ток I , А	Объем анолита $V_{\text{ан}}$, мл	рН анолита, $\text{pH}_{\text{ан}}$, о.е.	Объем католита $V_{\text{к}}$, мл	рН католита, $\text{pH}_{\text{к}}$, о.е.	Потребляемая мощность P , Вт	Удельная проводимость γ , См/м	Объемный расход анолита $Q_{\text{ан}}$, л/ч	Объемный расход католита $Q_{\text{к}}$, л/ч
160	0									
	30									
	60									
	90									
	120									
	150									
	180				ü		ü			
180	0									
	30									
	60									
	90									
	120									
	150									
	180				ü		ü			
200	0									
	30									
	60									
	90									
	120									
	150									
	180				ü		ü			
220	0									
	30									
	60									
	90									
	120									
	150									
	180				ü		ü			

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Схемы электрохимического реактора для активации водных растворов и экспериментальной установки.
3. Таблица с результатами исследований.
4. Графические зависимости $\gamma(\tau)$, $P(\tau)$, $\text{pH}_a(I_k)$, $\text{pH}_k(I_k)$.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит физическая сущность электродиализа?
2. В чем состоит физическая сущность электрокоагуляции?
3. Опишите устройство и принцип действия электроактиватора воды.
4. Какое назначение у мембран в электрохимическом реакторе?
5. Перечислите свойства и характеристики анолита и католита.
6. Как классифицируют анолиты и католиты?
7. В каких областях сельского хозяйства применяют электроактивированные растворы?

18. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить назначение, устройство, принцип действия, исследовать режимы работы установок электротермохимической обработки кормовых материалов.

Задачи работы:

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия установок для обработки кормовых материалов.
2. Исследовать влияние температуры обработки и модуля увлажнения на удельную электрическую проводимость кормового материала.
3. Определить зависимость времени обработки корма от напряженности электрического поля при модуле увлажнения, соответствующем максимальному значению удельной электрической проводимости.

Общие сведения

Основная цель обработки кормовых материалов – обеззараживание и перевод трудноперевариваемых высокомолекулярных природных полимеров (например, лигнина в соломе, крахмала в зерне и др.) в более усвояемые низкомолекулярные формы, создание благоприятных условий для жизнедеятельности микрофлоры желудка животных.

Основными реакциями преобразования крахмала в зерне являются клейстеризация и декстринизация, лигнина в соломе – делигнификация. При традиционных способах обработки применяется преимущественно термическое воздействие (обработка паром, горячим воздухом, инфракрасными лучами и т. п.), что не обеспечивает полноты преобразования веществ и приводит к значительной энергоемкости процессов из-за высоких температур.

С помощью электрического тока можно сочетать термическое и физико-химические воздействия (насыщение ткани ионами, повышение массопереноса, проницаемости, активности ионов), т. е., прибегая к нетепловым эффектам, интенсифицировать химические превращения, снизить температуру обработки и расход энергии.

Наиболее полное использование действий электрического поля обеспечивается в электротехнологических процессах обработки кормовых материалов в целях улучшения их кормовых достоинств, повышения переваримости. К ним можно отнести электротермохимическую обработку (ЭТХО) соломы, электрогидротермическую обработку (ЭГТО) и электротермохимическую обработку (ЭТХО) фуражного зерна.

В естественном виде кормовые материалы являются, как правило, несовершенными диэлектриками и не проводят электрический ток. Обработка кормовых материалов (соломы, фуражного зерна и др.) электрическим током возможна при относительной влажности более 50 %, поэтому требуется соответствующим образом подготовить кормовую массу. С целью повышения электрической проводимости кормовые материалы увлажняют и добавляют химреагенты в концентрациях, обусловленных зоотехническими рекомендациями.

Технология ЭТХО соломы в потоке включает следующие операции: измельчение до размеров сечки (5...6 мм), смешивание с раствором химических реагентов (5 % кальцинированной соды, 1,5 % поваренной соли), уплотнение полученной смеси до удельной объемной массы 400 кг/м³, перемещение уплотненной массы в рабочую электродную камеру и обработка переменных электрическим током напряженностью 800...1000 В/м. Энергоемкость процесса ЭТХО соломы на 40...80 % ниже по сравнению с другими термическими способами обработки. Кормовая ценность соломы после ЭТХО увеличивается в 1,5...2,0 раза в сравнении с необработанной (приближается к качеству сена), прирост живой массы молодняка крупного рогатого скота – на 13...15 %.

По технологии ЭГТО в потоке фуражное зерно плющат до толщины хлопьев 10⁻³ м, дозировано смешивают с рабочим раствором химреагентов (2 % карбамида и 1 % поваренной соли) в соотношении (по массе) 1:0,8, уплотняют с усилием 25 кПа, равномерно подают в рабочую электродную камеру и обрабатывают переменным электрическим током низкой частоты. Напряженность электрического поля в рабочей камере составляет 2500...2700 В/м.

Электрический ток протекает через влажную проводящую зерновую массу в течение 2...3 минут, вызывая в ней термические (масса нагревается до 80...90 °С), электрофизикохимические процессы, ведущие к преобразованию свойств белков, углеводов,

оказывая биологическое действие, снижая бактериальную загрязненность корма.

Поскольку клейстеризация крахмала зерна происходит при температуре 55...70 °С, то при ЭГТО можно завершить процесс обработки при 80 °С, что невозможно сделать при обработке паром, у которого минимальная температура выше 100 °С. В результате снижаются потери питательных веществ, витаминов и т. п., уменьшаются энергозатраты.

После обработки зерновая масса имеет хорошие органолептические показатели, охотно поедается животными. Кормовая ценность зерна и приросты живой массы молодняка животных повышаются на 10...15 %, энергоемкость процесса в 1,5...2,0 раза ниже, чем при традиционных технологиях.

В соответствии с технологией ЭТХО плющенное зерно смешивается с раствором хлорида натрия (1 % NaCl на 100...120 % воды к массе зерна), затем зерновая масса уплотняется до 8...10 кПа и подается в электродные камеры, разделенные ионоселективной мембраной. На электродах создается напряженность поля 400 В/м униполярного знака. Обработка осуществляется в течение около 1 часа до прохождения через объем камеры удельного количества электричества (15...18)·10³ Кл/кг сухого зерна, под действием которого в катодной области рН показатель достигает 10...11, а в анодной области – до 2...4. Конечная температура обработанной массы составляет 55...60 °С.

Данный способ обработки позволяет существенно интенсифицировать электрохимические процессы в массе обрабатываемого зерна, в результате чего по сравнению с обработкой переменным током снижена конечная температура обработки на 20 °С, энергоемкость – в 1,5 раза, повышена переваримость вещества зерна – на 15 %.

Часть указанных операций ЭТХО соломы или ЭГТО зерна выполняется непосредственно в электротехнологической установке, имеющей различные конструктивные схемы: транспортерная, шнековая, поршневая (рис. 18.1). Устройство уплотнения (поршень) совершает возвратно-поступательное движение, перемещая в каждом цикле порцию корма из бункера загрузочного устройства в электродную камеру. При этом за счет сил трения масса корма уплотняется, что обеспечивает лучшую проводимость и электрический контакт с электродами. Для обеспечения необходимого

времени нагрева корма до требуемой температуры необходимо рассчитать и согласовать скорость перемещения массы в электродной камере (которая зависит от частоты возвратно-поступательного движения, длины хода поршня и объема захватываемого из бункера корма) с длиной электродной камеры. Обработанная масса накапливается в бункере и после охлаждения скармливается животным.

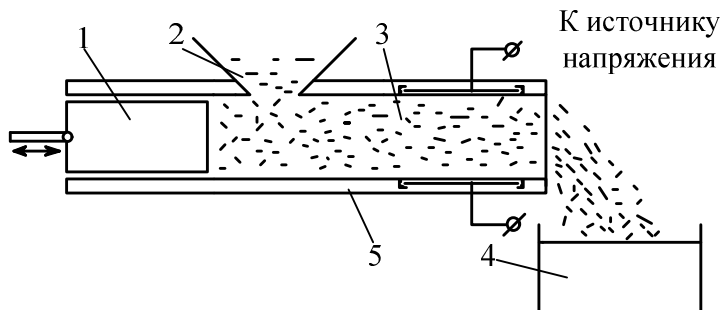


Рис. 18.1. Схема электротехнологической установки обработки корма:
 1 – поршень с возвратно-поступательным механизмом;
 2 – загрузочное устройство; 3 – электродная камера; 4 – бункер; 5 – корпус

Задание для самостоятельной подготовки

В соответствии с требованиями пункта «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, изучить физические основы и принципы обработки кормовых материалов электрическим током, устройство, принцип действия, области применения установок по настоящему лабораторному практикуму, конспекту лекций, рекомендованной литературе.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой (рис. 18.2) и устройством электродной ячейки (рабочей камеры).

2. Определить зависимость удельной электрической проводимости γ , кормового материала, указанного преподавателем, от температуры при различных модулях увлажнения W . Для этого необходимо:

- 2.1. Путем взвешивания определить массу кормового материала m_m .
 2.2. Определить массу вносимого раствора:

$$m_p = Wm_m. \quad (18.1)$$

- 2.3. Измерить высоту электрода h , межэлектродное расстояние l и ширину электрода b .

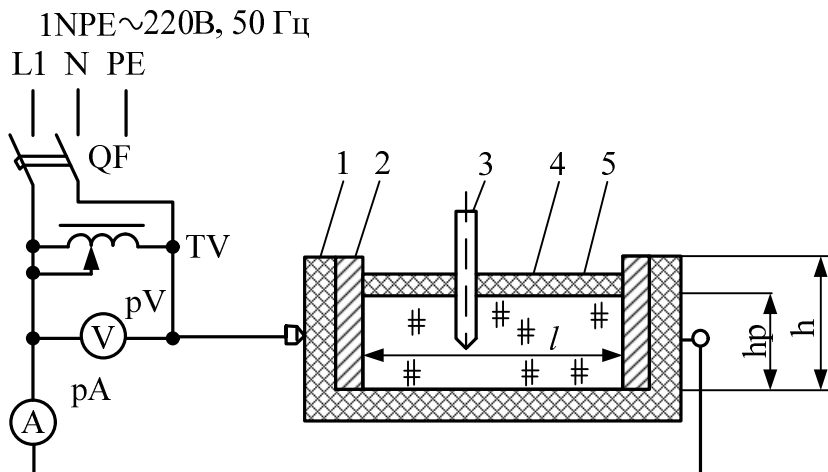


Рис. 18.2. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки и ячейки (рабочей камеры):

- 1 – корпус; 2 – электроды; 3 – датчик температуры; 4 – уплотнитель;
 5 – обрабатываемый кормовой материал; l – межэлектродное расстояние;
 h – высота электрода; h_p – рабочая высота электрода

2.4. Тщательно перемешать кормовую массу с раствором в специальной емкости, поместить в рабочую камеру, уплотнить (давление $p = 25$ кПа), установить датчик температуры в отверстие уплотняющей крышки рабочей камеры и измерить рабочую высоту электрода h_p . Установив автотрансформатором напряжение $U = 120$ В, подать напряжение на рабочую камеру. Начиная с 20 °С, через каждые 10 °С определять величину тока и температуру. Результаты занести в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Зависимость удельной электрической проводимости корма от температуры при различных модулях увлажнения

Температура обработки $t, ^\circ\text{C}$	Ток I, A	Напряжение U, B	Напряженность электрического поля $E, \text{B/м}$	Удельная электрическая проводимость $\gamma_t, \text{Cм/м}$
$W = 1$				
20				
30				
...				
80				
$W = 0,9$				
20				
30				
...				
80				
$W = 0,8$				
20				
30				
...				
80				
$W = 0,7$				
20				
30				
...				
80				

2.7. Определить напряженность электрического поля по формуле

$$E = U / l \quad (18.2)$$

и удельную электрическую проводимость методом амперметра-вольтметра:

$$\gamma_t = Il / (Ubh_p) = I / (Ebh_p). \quad (18.3)$$

2.8. Построить графические зависимости $\gamma_t = f(t)$ при различных модулях увлажнения и $\gamma_t = f(W)$ при $t = 80^\circ\text{C}$, по которой определить модуль увлажнения, обеспечивающий максимальное значение γ_t .

Определить зависимость времени обработки τ от напряженности электрического поля при W , соответствующем максимальному значению удельной электрической проводимости.

Конечную температуру обработки принять равной 80°C . Напряженность электрического поля определить по формуле (18.2), изменяя автотрансформатором напряжение в пределах 120; 110; 100; 90 В.

Результаты исследований записать в табл. 18.2. По результатам исследований построить графическую зависимость $\tau(E)$.

Таблица 18.2

Зависимость времени обработки корма от напряженности электрического поля до достижения температуры $t = 80^\circ\text{C}$

Напряжение U , В	120	110	100	90
Напряженность электрического поля E , В/м				
Время обработки τ , с				

Содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Схема установки электротехнологической обработки корма.
3. Таблицы с результатами исследований.
4. Графические зависимости $\gamma_t(t)$, $\gamma_t(W)$, $\tau(E)$.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные цели и традиционные способы обработки кормовых материалов.
2. Какие действующие факторы традиционных методов обработки кормовых материалов вы знаете?
3. В чем заключается технология ЭТХО соломы?
4. В чем заключается технология ЭГТО фуражного зерна?

5. Для каких целей при увлажнении соломы или зерна добавляются химические реагенты и применяется уплотнение массы?

6. Почему при электротехнологических методах обработки имеется возможность снижения конечной температуры обработки и уменьшения энергоемкости процессов?

7. Назовите действующие факторы и преимущества электротехнологических методов обработки кормовых материалов.

8. Перечислите основные элементы установки обработки кормовых материалов электрическим током и объясните их назначение.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заяц, Е. М. Электротехнология : учебное пособие / Е. М. Заяц. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 400 с.
2. Электротермия : учебное пособие / Е. М. Заяц [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 344 с.
3. Электротехнологии : пособие / И. Б. Дубодел [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 252 с.
4. Заяц, А. Е. Электрические элементные нагреватели / А. Е. Заяц, В. С. Корко, Р. И. Кустова ; под ред. проф. Е. М. Зайца. – Минск : БГАТУ, 2011. – 180 с.
5. Корко, В. С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов / В. С. Корко, Е. А. Городецкая. – Минск : БГАТУ, 2013. – 232 с.
6. Заяц, Е. М. Основы электротехнологических методов обработки влажных кормов / Е. М. Заяц. – Минск : Ураджай, 1997. – 216 с.
7. Электротехнологии и электротехнологические установки в АПК : учебное пособие / М. М. Белозубцева. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2012. – 244 с.
8. Заяц, Е. М. Расчеты электротехнологического оборудования : учебное пособие / Е. М. Заяц, В. А. Карасенко, И. Б. Дубодел ; под ред. Е. М. Зайца. – Минск : Технопринт, 2001. – 238 с.
9. Электротехнологии : лабораторный практикум / И. Б. Дубодел [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 148 с.
10. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – М. : Колос, 2008. – 344 с.
11. Электротехнология : учебное пособие / В. А. Карасенко [и др.]. – М. : Колос, 1992. – 304 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

**ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Составители:

Корко Виктор Станиславович,
Зяц Евгений Михайлович,
Дубодел Инесса Борисовна

Ответственный за выпуск *П. В. Кардашов*

Редактор *Д. О. Бабакова*

Корректор *Д. О. Бабаковой*

Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*

Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 7.10.2020. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 8,54. Тираж 99 экз. Заказ 390.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.