

Е.М. Заяц, В.А. Карасенко

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

**Практикум к лабораторным работам
по дисциплине «Электротехнология»**

**Минск
УП «Технопринт»
2002**

УДК 621.31.631.3(075.8)

ББК

Заяц Е.М., Карасенко В.А.

312 Электротехнологические установки / Практикум к лабораторным работам по дисциплине «Электротехнология»/ Под ред. Е.М. Заяца. — Мн.: УП «Технопринт». 2002. — 186 с.

ISBN 985-464-294-1

Изложены краткое описание электротехнологических установок, цель, задачи и методика их изучения на лабораторных занятиях. Соответствует учебной программе по дисциплине «Электротехнология», специальность 74.06.05. — Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

УДК 621.31.631.3(075.8)

ББК

ISBN 985-464-294-1

© Е.М. Заяц, В.А. Карасенко, 2002

© Оформление УП «Технопринт», 2002

Содержание

1. Измерение и коррекция удельного электрического сопротивления воды	3
2. Электрические резистивные нагреватели	8
3. Элементные водонагреватели	18
4. Электродные водонагреватели	25
5. Электрокалориферные установки	35
6. Установки локального электрообогрева	52
7. Электросварочное оборудование	60
8. Установка индукционного нагрева ВЧИ4 -10/0,44	72
9. Установка диэлектрического нагрева ВЧД2-2,5/81	86
10. Бытовые электротермические приборы	99
11. Термоэлектрический холодильник ХАТЭ-24	107
12. Электрические изгороди	115
13. Диэлектрический сепаратор семян СДЛ-1	129
14. Установки электроочистки и ионизации воздуха	141
15. Ультразвуковые установки	156
16. Установки электромагнитной обработки материалов	172
Литература.....	186

1. Измерение и коррекция удельного электрического сопротивления воды

Цель работы

Освоить методику экспериментального определения и коррекции удельного сопротивления воды.

Задачи работы

1. Изучить по литературе методы измерения удельного сопротивления проводников второго рода.
2. Измерить удельное сопротивление воды в диапазоне 15...100°C, математически описать его температурную характеристику.
3. Рассчитать массу дистиллированной воды или соли необходимую для коррекции измеренного удельного сопротивления воды до величины, указанной в паспорте электродного водонагревателя.

Общие сведения

Электропроводность – это свойство вещества проводить электрический ток. Мерой электропроводности служит удельная электрическая проводимость (удельная проводимость), имеющая размерность “сименс, деленный на метр” (См м^{-1}), и обозначаемая буквой γ . Величина, обратная удельной проводимости, представляет собой удельное электрическое сопротивление (удельное сопротивление), $\rho = 1/\gamma$, Ом м.

Электропроводность воды зависит от ее химического состава и температуры. При увеличении последней возрастает диссоциация молекул примесей, снижается вязкость воды, повышается концентрация и подвижность ионов, что в целом увеличивает проводимость. Температурная характеристика удельной проводимости воды имеет вид, общий для проводников с ионной проводимостью, приближенно

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (1.1)$$

где γ_t, γ_{20} – удельная проводимость соответственно при температуре

t и 20°C , Cm m^{-1} ; α – температурный коэффициент проводимости, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Удельное сопротивление воды определяют по формуле:

$$\rho_t = \frac{40\rho_{20}}{t+20}, \quad (1.2)$$

полученной из (1.1), приняв $\alpha = 0,025^{\circ}\text{C}^{-1}$ и $\rho_{20} = 1/\gamma_{20}$.

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 (1.2) справедлива до наступления заметного парообразования, при котором сопротивление воды возрастает.

Удельное сопротивление пароводяной смеси

$$\rho_{см} = \rho_s a e^{kj}, \quad (1.3)$$

где ρ_s – удельное сопротивление воды без заметного парообразования, можно принять при $75...85^{\circ}\text{C}$; $a = 0,925$ – постоянная величина;

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

Знание величины удельного сопротивления воды необходимо при проектировании и эксплуатации электродных водонагревателей. Если удельное сопротивление воды отличается от указанного в паспорте водонагревателя, его мощность будет отличаться от номинальной. Использование воды с низким удельным сопротивлением в водонагревателях, предназначенных для нагрева воды с высоким удельным сопротивлением, ведет к увеличению плотности тока на электродах, интенсификации выделения водорода и образованию гремучего газа пробоем промежутка между электродами. Вода с удельным сопротивлением, большим верхнего предела, не позволяет получать мощность, указанную в паспорте водонагревателя. Поэтому перед вводом водонагревателя в эксплуатацию необходимо измерить удельное сопротивление воды и при необходимости внести коррекцию в его величину путем добавления соли (глауберовой, поваренной, сульфата натрия, тринатрийфосфата), соды (например, кальцинированной), ди-

стиллята.

В лабораторных и производственных условиях удельное сопротивление воды и других проводников с ионной проводимостью измеряют чаще всего мостовым методом или с помощью амперметра и вольтметра. Исследуемое вещество помещают в измерительную ячейку, сложность конструкции которой зависит от необходимой точности измерений. Схема простейшей измерительной ячейки показана на рис. 1.1.

Важнейшей характеристикой измерительных ячеек является “постоянная ячейки”, представляющая собой отношение расстояния между электродами к площади поверхности электрода. Эти размеры трудно измерить инструментально, особенно если поверхность электродов отличается от плоской, а сечение межэлектродного пространства в плоскости, перпендикулярной электродам, переменное. Для определения постоянной ячейки используют жидкость, проводимость которой хорошо известна. Такую жидкость называют фиксоном. В качестве фиксона чаще всего используют 0,1N растворы KCl.

Постоянная ячейки

$$k = R_{KCl} / \rho_{KCl}, \quad (1.4)$$

где R_{KCl} – сопротивление измерительной ячейки, заполненной 0,1N раствором KCl при какой-то температуре, например 20° C, Ом м;

ρ_{KCl} – удельное электрическое сопротивление 0,1N раствора KCl при той же температуре, Ом м.

В простейшем случае, для плоских параллельных электродов $k = l / S$, где dl – межэлектродное расстояние, м; S – площадь поверхности электрода, м².

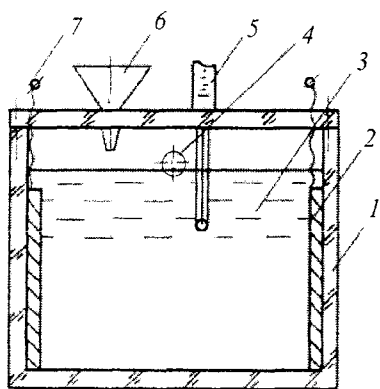


Рис. 1.1. Ячейка измерительная: 1 – корпус; 2 – электроды; 3 – вода; 4 – отверстие; 5 – термометр; 6 – воронка; 7 – токоподводящие провода

Сопротивление воды R в измерительной ячейке можно измерить мостом или с помощью амперметра и вольтметра (рис. 1.2). Удельное

сопротивление при измерении мостом

$$\rho_m = R / \kappa, \quad (1.5)$$

амперметр-вольтметром

$$\rho_{AB} = U / I_{\kappa}, \quad (1.6)$$

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

Методика выполнения работы

Экспериментальная установка (рис. 1.2) состоит из измерительной ячейки, моста переменного тока, приборов измерения тока, напряжения, температуры, массы и объема. Измеряют удельное сопротивление воды из водопровода. Повторность опытов трехкратная.

1. Определяют постоянную измерительной ячейки. Для этого ячейку заполняют фиксоналом, мостом измеряют ее сопротивление и по формуле (1.4) рассчитывают κ . Удельная проводимость 0,1Н раствора KCl дана на рис. 1.3.

2. Измерительную ячейку промывают, а потом заполняют водой из водопровода до уровня сливного отверстия.

Мостом измеряют сопротивление, а термометром температуру воды. Потом переключателем SA ячейку подключают к сетевому напряжению и измеряют силу тока и напряжение в цепи. Показания электрических приборов и термометра записывают в табл. 1.1.

В результате протекания тока через воду ее температура увеличивается. После нагрева воды на каждые $5 \dots 10^\circ\text{C}$ записывают показания приборов, потом напряжение отключают, а выводы от электродов ячейки переключают на мост и измеряют сопротивление. Поочередные подключения ячейки к сети и к мосту продолжают до тех, пор пока температура воды не достигнет примерно 100°C .

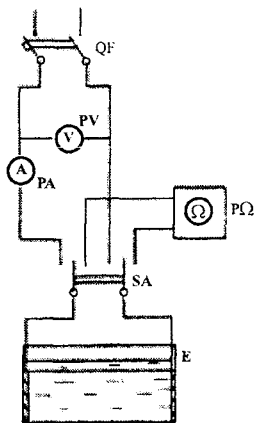


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

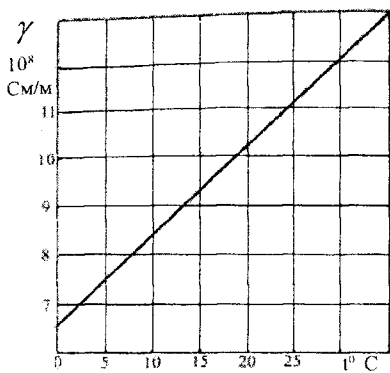


Рис. 1.3. Температурная зависимость удельной проводимости 0,1N KCl

По результатам измерений (табл. 1.1) вычисляют по формулам (1.5), (1.6) удельное сопротивление воды.

Температурную характеристику удельного сопротивления воды рассчитывают по формуле (1.2), приняв значение ρ_{20} из табл. 1.1.

По результатам измерений (табл. 1.1) и вычислений строят графические зависимости $\rho_M, \rho_{AB}, \rho_t$ от температуры воды.

1.1 Результаты измерения удельного сопротивления воды

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

3. Определяют массу соли или дистиллята, необходимую для уменьшения или увеличения удельного сопротивления воды (табл. 1.1) до величины, соответствующей номинальному сопротивлению воды в электродном нагревателе, например 30...50 Ом м. Для этого в воду, в измерительной ячейке, дозированно добавляют соль или дистиллят и измеряют удельное сопротивление (табл. 1.2). Массу добавок определяют взвешиванием или с помощью мерного сосуда.

В табл. 1.2: M_d, m_d - масса и концентрация соли или дистиллята; V_e - объем воды в измерительной ячейке.

По результатам табл. 1.2. строят графическую зависимость

1.2. Зависимость удельного сопротивления воды от концентрации добавок

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

$\rho_{\text{ж}}(m_{\text{д}})$, по которой находят необходимую концентрацию добавки для получения требуемого удельного сопротивления воды.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, результаты измерений. Графические зависимости удельного сопротивления воды от температуры и концентрации соли или дистиллята. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Электропроводность воды и факторы, ее определяющие.
2. Методы измерения удельной электрической проводимости или удельного сопротивления.
3. Температурная характеристика удельного сопротивления воды.
4. Влияние сопротивления воды на работу электродных водонагревателей и парогенераторов.
5. Необходимость и способ коррекции величины удельного сопротивления воды.

2. Электрические резистивные нагреватели

Цель работы

Изучить устройство резистивных нагревателей, установить влияние условий эксплуатации на характеристики трубчатых электронагревателей.

Задачи работы

1. Изучить устройство электронагревателей, определить факторы, существенно влияющие на их характеристики при эксплуатации.
2. Исследовать влияние изменения напряжения питания на мощность и температуру нагревателя.
3. Исследовать влияние условий теплоотдачи на температуру нагревателя.

Общие сведения

Резистивный нагрев наряду с электродным и электроконтактным является одним из видов электрического нагрева сопротивле-

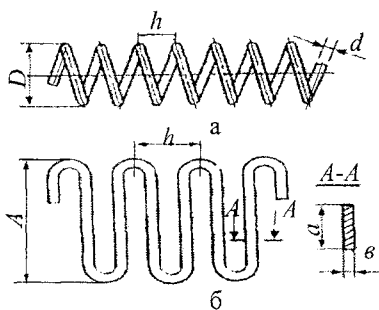


Рис. 2.1. Открытые нагреватели в виде спирали из проволоки (а) и зигзага из ленты (б): d – диаметр проволоки; D – диаметр спирали; h – шаг; A – высота зигзага; a , b – ширина и толщина ленты

Нагреватели классифицируют по температуре (низкотемпературные – до 350°C , среднетемпературные – $350 \dots 2000^{\circ}\text{C}$, высокотемпературные – более 2000°C); материалу нагревательного элемента (металлические, полупроводниковые, неметаллические); степени защиты нагревательного элемента от внешней среды (открытые, закрытые, герметические); форме материала нагревательного элемента (проволочные, ленточные, стержневые, пленочные, тканевые и др); конструктивному исполнению (трубчатые, протяженные, поверхностно распределенные).

Открытые нагреватели (рис. 2.1) просты по устройству, имеют хорошие условия для теплопередачи, ремонтоспособны.

Энергия электрического тока преобразуется в тепловую в нагревательном элементе и от него передается к нагреваемой среде конвекцией, теплопроводностью, излучением или их комбинацией.

Нагревательный элемент выполняют из токопроводящих материалов высокого сопротивления в виде спиралей из проволоки, зигзагов ленты, стержней, пленок на изолирующей основе, текстильных лент и тканей.

Нагреватель состоит из нагревательного элемента и устройств для подвода напряжения, электроизоляции, защиты от внешних воздействий, крепления.

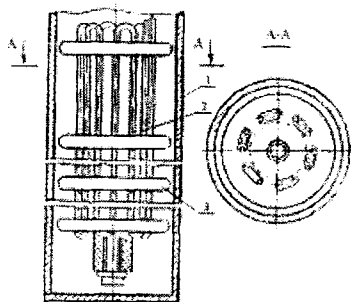
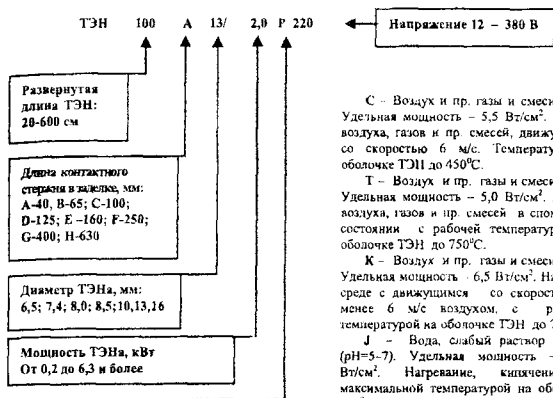


Рис. 2.2. Закрытый нагреватель: 1 – кожух; 2 – нагревательный элемент; 3 – керамическая шайба

2.1. Структура условного обозначения и технические характеристики ТЭНов



Рабочие среды:

С - Воздух и пр. смеси газов. Удельная мощность - 2,0 Вт/см². Нагрев в спокойной газовой среде до рабочей температуры на оболочке ТЭН до 450°C.

С - Воздух и пр. газы и смеси газов. Удельная мощность - 5,0 Вт/см². Нагрев воздуха, газов и пр. смесей, движущихся со скоростью 6 м/с. Температура на оболочке ТЭН до 450°C.

Т - Воздух и пр. газы и смеси газов. Удельная мощность - 5,0 Вт/см². Нагрев воздуха, газов и пр. смесей в спокойном состоянии с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 750°C.

К - Воздух и пр. газы и смеси газов. Удельная мощность - 6,5 Вт/см². Нагрев в среде с движущимся со скоростью не менее 6 м/с воздухом, с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 750°C.

Л - Вода, слабый раствор кислот (рН=5-7). Удельная мощность - 15,0 Вт/см². Нагревание, кипение с максимальной температурой на оболочке 100°C.

Р - Вода, слабый раствор щелочей (рН=5-9). Удельная мощность 15,0 Вт/см². Нагревание, кипение с максимальной температурой на оболочке 100°C.

Z - Жиры, масла. Удельная мощность - 3,0 Вт/см². Температура на оболочке ТЭНа обусловлена вязкостью масла. Нагрев в ваннах и др. емкостях.

Х - Вода, слабый раствор щелочей и кислот (рН=5-9). Удельная мощность 9,0 Вт/см². Нагревание, кипение с максимальной температурой на оболочке 100°C.

Л - Литейные формы, пресс-формы. Удельная мощность - 5,0 Вт/см². Имеется гарантируемый контакт с нагреваемым металлом. Нагрев с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 450°C.

Ор - Воздух и пр. газы и смеси газов. Удельная мощность - 11,0 Вт/см². Нагрев воздуха, газов и пр. смесей, движущихся со скоростью 6 м/с, температура на оболочке ТЭН до 450°C.

Кр - Воздух и пр. газы и смеси газов. Удельная мощность - 13,0 Вт/см². Нагрев воздуха, газов и пр. смесей, движущихся со скоростью 6 м/с. Температура на оболочке ТЭН до 450°C.

Т1 - Вода, раствор щелочей и кислот. Удельная мощность - 15,0 Вт/см². Нагревание с максимальной температурой на оболочке 100°C (материал оболочки - титан). **W** - Легкоплавкие металлы: олово, свинец и др. Удельная мощность 3,5 Вт/см². Нагрев и плавление в ваннах и др. емкостях с температурой на оболочке ТЭН до 450°C.

Используемые материалы корпуса:

С, О, Р, Z, Л, Ор, W - низкоуглеродистая сталь (08, 08Ю, 08КП, 10, 10 КП).

Т, К, J, Кр - нержавеющая сталь (12 X18H10T, 08X18H10)

Закрытые нагреватели (рис. 2.2) - нагревательный элемент размещен в корпусе, предохраняющем от механических воздействий и доступа нагреваемой среды.

Герметические нагреватели - нагревательный элемент защищен от механических воздействий, доступа нагреваемой среды и воздуха.

Трубчатые электрические нагреватели могут быть закрытыми и герметическими, цилиндрической, овальной, прямоугольной и другой формы. Наиболее распространены герметические трубчатые электрические нагреватели цилиндрической формы (ТЭН). Область их применения очень широка, практически в большинстве установок низкотемпературного нагрева, во всех отраслях народного хозяйства (табл. 2.1.).

Трубчатый электронагреватель (рис. 2.3.) состоит из тонкостенной (0,5...1,0 мм) трубки 7 (сталь углеродистая, нержавеющая, медь,

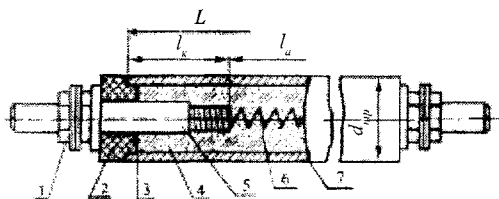


Рис. 2.3. Типовая конструкция трубчатого нагревателя: 1 – контактный узел; 2 – изолятор; 3 – герметик; 4 – наполнитель; 5 – контактный стержень; 6 – нагревательная спираль; 7 – металлическая оболочка; L, l_a, l_k – длина габаритная, активной и контактной части

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

ТЭНам можно придать разнообразную пространственную форму, увеличить поверхность теплоотдачи путем оребрения (рис. 2.4).

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 др. Протяженные нагреватели классифицируют по распределению теплоты по длине нагревателя (равномерное, зональное, термозависимое или саморегулирующееся); температуре (низкотемпературные – до 130°C и 40 Вт/м , среднетемпературные – до 230°C и 70 Вт/м высокотемпературные до 1000°C 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).

Протяженные нагреватели с равномерным выделением теплоты состоят из жилы из сплава высокого или обычного сопротивления, окруженной изоляцией и защитной оболочкой (рис. 2.6.а). В зональ-

латунь), внутри которой размещена спираль 6 (нихром, фехраль), изолированная от оболочки наполнителем 4, обладающим высоким электрическим сопротивлением и хорошей теплопроводностью (чаще всего – электротехнический периклаз

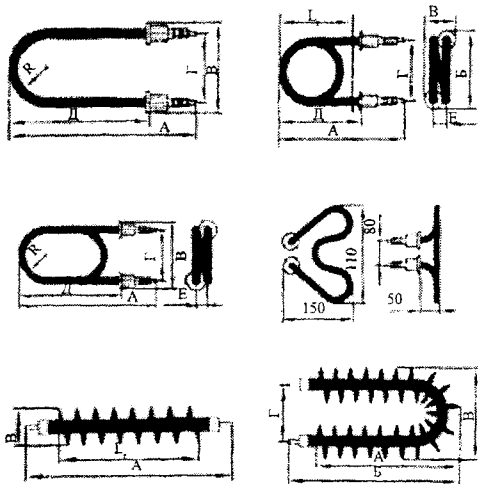


Рис. 2.4. Пример формы ТЭН

ных нагревателях теплота выделяется в спиралях, контактирующих с двумя токоподводящими шинами. Длина одной зоны тепловыделения – около 1 м (рис.2.5,а). В термозависимых (саморегулирующихся) нагревателях теплота выделяется в полупроводящей пластмассе, заполняющей пространство между двумя токоподводящими шинами (рис. 2.5,б). При повышении температуры сопротив-

ление пластмассы увеличивается, и тепловыделение падает, благодаря этому происходит саморегулирование.

Конструктивное исполнение некоторых протяженных нагревателей показано на рис. 2.6. Их марки не указаны из-за большого количества условных обозначений, систематизированных каждым производителем по своему усмотрению.

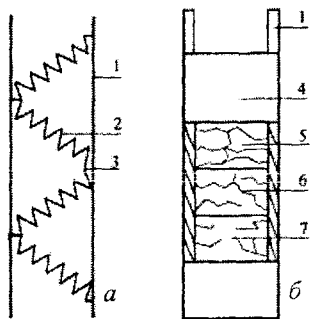


Рис. 2.5. Принцип устройства зонального (а) и саморегулирующегося (б) протяженного нагревателя: 1 – токоподводящие жилы; 2 – нагревательный провод; 3 – контакт между жилой и проводом; 4 – саморегулирующаяся полупроводящая матрица; 5, 6, 7 – холодный, теплый, горячий участки

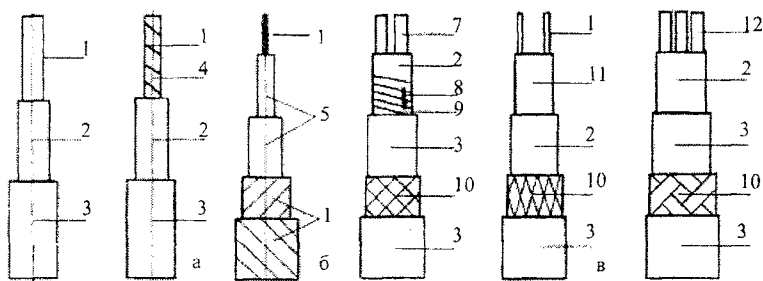


Рис. 2.6. Нагревательные провода (а), кабели (б), ленты (в): 1 – нагревательная жила; 2 – изоляция; 3 – оболочка; 4 – сердечник; 5 – двухслойная изоляция; 6 – бронь; 7 – проводник; 8 – контакт параллельного соединения проводников; 9 – нагревательный элемент; 10 – оплетка; 11 – матрица; 12 – нагревательная лента

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 распыляют на основе в виде пленок, вплетают в ткань или делают ткань из токопроводящих нитей, добавляют в резину или пластмассу перед изготовлением (рис. 2.7).

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

Сопротивление электрической изоляции между нагревательным элементом и защитной оболочкой для большинства резистивных нагревателей должно быть не менее $5 \cdot 10^5$ Ом. При длительном хранении нагревателей, нарушении герметика при подключении проводов к ТЭНам и попадании влаги из воздуха в периклаз сопротивление изоляции снижается. Для восстановления требуемой величины сопротив-

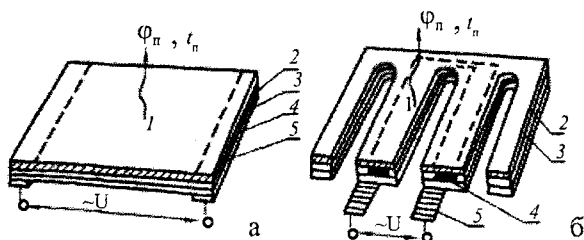


Рис. 2.7. Устройство поверхностно-распределенного пленочного нагревателя: а – тонколистная пластина; б – панель с отверстиями: 1 – контактная поверхность теплообмена; 2 – несущая конструкция; 3 – тонкослойная изоляция; 4 – резистивный электронагревательный элемент; 5 – контактный электрод; φ_n – тепловой поток и t_n – температура поверхности

ления изоляции нагреватели подсушивают, например ТЭНы при температуре 100–120°C в течение 10 часов. Хотя в случае нарушения герметика подсушка не поможет, ТЭН выйдет из строя.

Условия отвода теплоты от поверхности нагревателя влияют на его температуру. В технической характеристике нагревателей указана допустимая удельная поверхностная или линейная мощность, которую 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 большая теплоотдача. Загрязнение, накипеобразование, отложение фрагментов нагреваемых материалов на поверхности нагревателя, снижение скорости

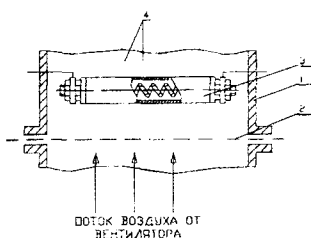
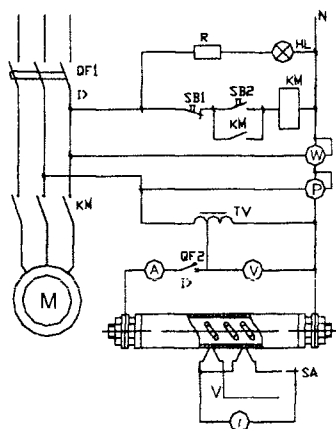


Рис. 2.8. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки (а), исследуемый ТЭН (б): 1 – воздуховод; 2 – заслонка, регулирующая подачу воздуха; 3 – ТЭН; 4 – термопары

воздуха или жидкости значительно ухудшают теплоотвод. Например, образование накипи на поверхности ТЭНа толщиной 2 мм, прекращение движения воздуха в электрокалориферах, воды в проточных элементных водонагревателях ведет к перегоранию нагревательных элементов. С этим надо бороться, выполняя инструкции по эксплуатации установок.

Методика выполнения работы

1. Устройство и характеристики резистивных нагревателей изучают по литературе и образцам, представленным в лаборатории. Необходимо начертить эскизы лабораторных нагревателей и записать их основные характеристики.

2. Влияние величины напряжения U на мощность P и температуру нагревателя исследуют на экспериментальной установке рис. 2.8.

Вентилятор включен, скорость воздуха равна нулю. Напряжение на ТЭНе регулируют автотрансформатором в диапазоне 40, 60, 80, 100% от номинального. Измеряют силу тока I , температуру трубки, нагревателя t_n и окружающего воздуха t_0 (табл. 2.2).

2.2. Влияние напряжения питания на мощность и температуру нагревателя

Измерено					Вычислено		
$U, В$	$I, А$	$A, м^2$	$t_0, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	$R_t, Ом$	$P, Вт$	$\alpha, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$

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

Сопротивление нагревателя при температуре t , Ом

$$R_t = U/I. \quad (2.1)$$

Мощность нагревателя

$$P = U^2 / R_t. \quad (2.2)$$

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

$$U^2/R_t = \alpha A(t_H - t_0), \quad (2.3)$$

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 лежит в диапазоне 0...150°С, принимают приближенно $\alpha = 10$ Вт/(м²°C).

3. Влияние условий теплоотдачи, в лабораторной работе скорости воздушного потока, на температуру нагревателя исследуют на установке рис. 2.7. Напряжение питания принимают 220 В. Скорость воздуха U изменяют в диапазоне 0,3; 0,6; 0,8 м/с заслонками 2, перекрывающим и воздухопровод 1. При каждом значении скорости воздуха измеряют силу тока в цепи нагревателя I , температуру трубки t_n и спирали t_c (табл. 2.3). По результатам исследований устанавливают графическую зависимость температуры t_n от скорости воздуха U и делают заключение о влиянии температуры спирали t_c на сопротивление нагревателя R_t .

2.3. Влияние условий теплоотдачи на температуру нагревателя

Измерено					Вычислено			
U , м/с	U , В	I , А	t_0 , °C	t_n , °C	t_c , °C	R_t , Ом	P , Вт,	α Вт/(м ² °C)

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы. 1. Механизм преобразования электрической энергии в тепловую. Закон Джоуля-Ленца. 2. Классификация и устройство резистивных нагревателей. 3. Условное обозначение ТЭНов. 4. Основные факторы, влияющие на надежность и безопасность резистивных нагревателей. 5. Влияние составляющих уравнения баланса мощностей на характеристики нагревателя. 6. Основные правила монтажа и обслуживания нагревателей.

3. Элементные водонагреватели

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы управления водонагревателями.

Задачи работы

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

2. Изучить принципиальные электрические схемы управления водонагревателями САЗС, ЭВ-Ф-15, 084.ПВ-1.

3. Опробовать нагрев воды в емкостном ЭН-1В, проточном ЭВ-Ф-15 и индукционном 084.ПВ-1 водонагревателях. Определить их КПД, скорость нагрева воды, удельный расход энергии.

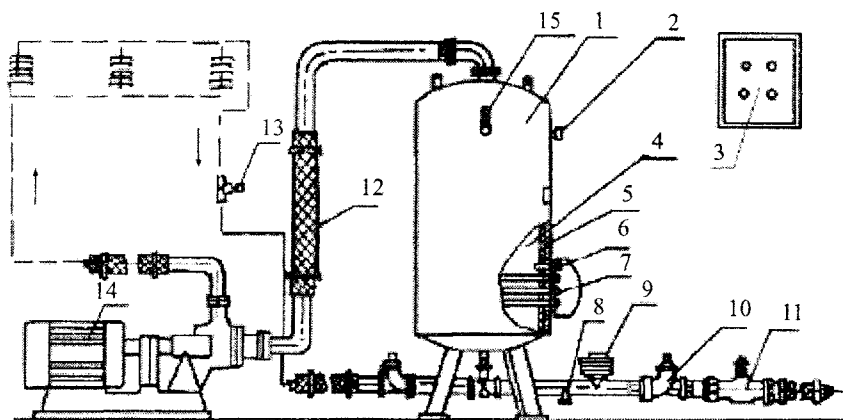


Рис. 3.1. Водонагреватель САЗС-400/90-II: 1 – кожух; 2 – термореле; 3 – шкаф управления; 4 – резервуар; 5 – теплоизоляция; 6 – терморегулятор; 7 – блок нагревателей; 8 – пробка слива; 9 – клапан избыточного давления; 10 – клапан обратный; 11 – вентиль; 12 – вставка изолирующая; 13 – датчик температуры воды; 14 – агрегат электронасосный; 15 – термометр

Общие сведения

Устройства нагрева воды, в которых используют резистивные нагреватели, чаще всего ТЭНы, называют элементными водонагревателями. Различают аккумуляционные и проточные водонагреватели.

Аккумуляционные водонагреватели представляют собой теплоизолированный стальной бак определенного объема, в котором воду нагревают до 90°C за 3–5 часов и сохраняют горячей в течение необходимого времени.

Наиболее распространены аккумуляционные водонагреватели типа САОС и САЗС (рис. 3.1) с объемом бака от 400 до 1600 литров (С – система, А – аккумуляционная, О – открытая, З – закрытая, С – нагрев сопротивлением). 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 и более литров оснащены двумя нагревательными блоками.

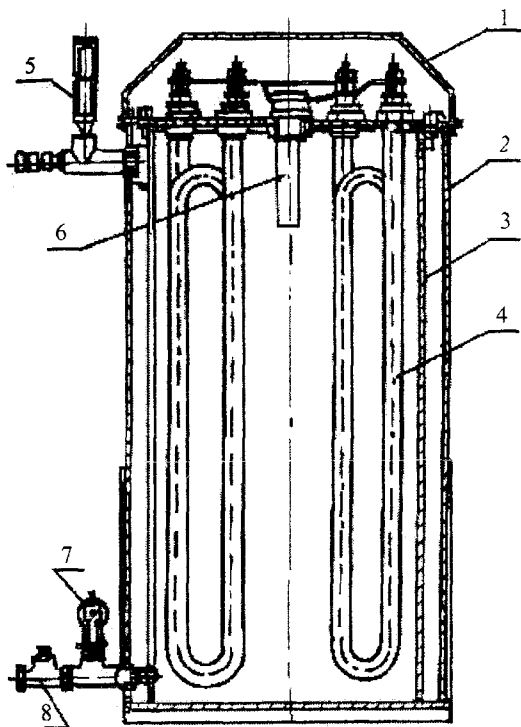


Рис. 3.2. Водонагреватель ЭВ-Ф-15: 1 – крышка; 2 – кожух; 3 – корпус; 4 – трубчатые нагреватели; 5 – термометр; 6 – термореле защиты нагревателей от перегрева; 7 – клапан избыточного давления; 8 – обратный клапан

Проточные водонагреватели представляют собой металличе-

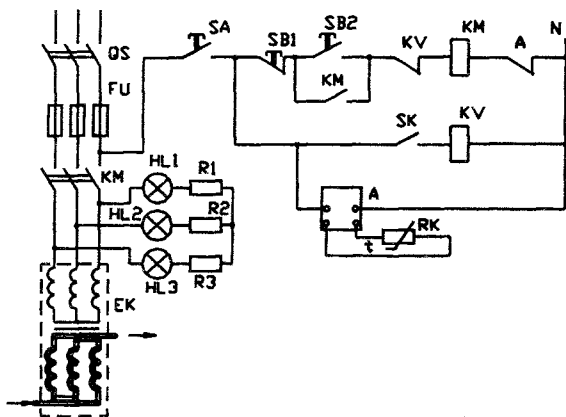


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема индукционного водонагревателя 084.ПВ-1: А – устройство защиты трансформатора от перегрева; ЕК – трансформатор-водонагреватель; SK контакт термометра манометрического

обмотки которого выполнены из стальной трубы диаметром 20 мм. и закорочены между собой. Вторичный ток трансформатора (5...10 тыс. ампер) нагревает трубу и, следовательно, воду, текущую в ней.

Предприятия выпускают большое количество разнообразных аккумуляционных и элементных водонагревателей, которые принципиально не отличаются от показанных на рис. 3.1...3.2.

В элементных водонагревателях баланс мощностей – подводимой к нагревателям, отдаваемой от нагревателей к воде и расходуемой на нагрев воды, без учета теплопотерь:

$$\frac{U^2}{R_t} n = \alpha A (t_n - t_g) = m_\tau c (t_2 - t_1), \quad (3.1)$$

где U , n , R_t – напряжение на нагревателе, В, их общее количество, шт., и сопротивление каждого, Ом; α – коэффициент теплоотдачи от нагревателя к воде, Вт/(м² °С); A , t_n – площадь, м², и температура поверхности нагревателя, °С; t_1 , t_2 , t_g – температура воды начальная, конеч-

ческую емкость небольшого размера без теплоизоляции, в которой проточную воду нагревают до любой температуры менее 90°С. Наиболее распространен элементный водонагреватель для ферм мощностью 15 кВт ЭВ-Ф-15 (рис. 3.2).

Индукционный водонагреватель (рис. 3.3) представляет собой трехфазный понижающий трансформатор, вторичные фаз-

ная и у поверхности нагревателя, °С; m_t – подача (расход) воды, кг/с; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг °С).

Согласно (3.1) температуру можно регулировать изменением напряжения, количеством нагревателей или подачей воды. Напряжения изменяют с помощью регулируемого источника питания, например тиристорного регулятора, переключением схемы соединения нагревателей или просто его включением – отключением. Расход воды влияет не только на t_2 , но и на t_6 и α . Этот способ регулирования наиболее часто ведет к перегоранию ТЭНов из-за ухудшения теплоотдачи от их поверхности к воде.

Электрическая схема водонагревателя типа САЗС (рис. 3.4.) автоматически поддерживает температуру с точностью $\pm 3...4$ °С около значения, заданного на ВК2, защищает водонагреватель от перегрева воды свыше 95°С (ВК1), обеспечивает автоматическую работу насоса для перекачивания воды. При нажатии SB2 напряжение подается на терморегуляторе ВК1, который включает промежуточное реле KV. Реле KV блокирует кнопку SB2, включает ВК2, который в свою очередь включает КМ1, КМ2 и нагревательные блоки ЕК. При достижении заданной температуры ВК2 отключает КМ1 и КМ2. При пони-

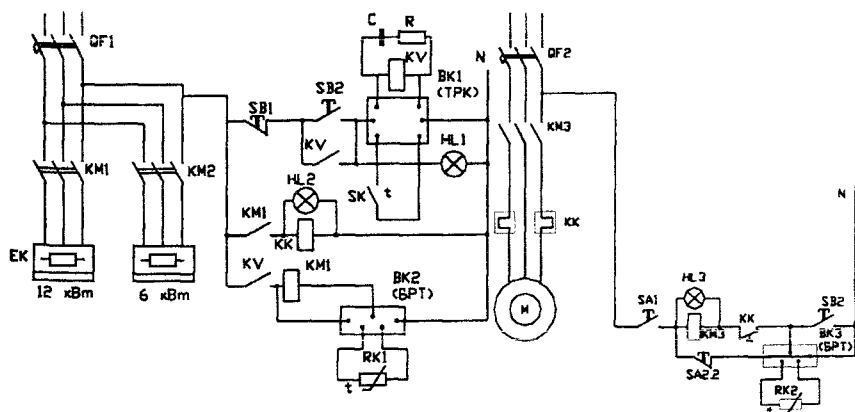


Рис. 3.4. Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем САЗС-400/90II

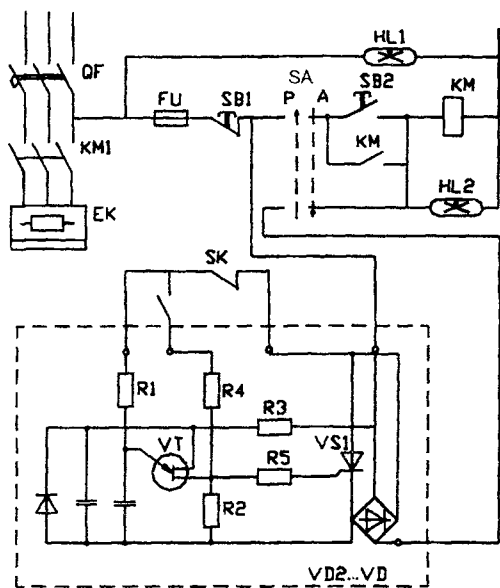


Рис. 3.5. Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем ЭВ-Ф-15

жени температуры воды на $3...5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с заданной ВК2 снова включает нагрев. Если температура воды, по каким-то причинам превышает заданную и достигает 95°C , то замыкается термодатчик SK и терморегулятор ВК1 включает КВ, ВК2 и нагреватели. Температуру воды в системе горячего водоснабжения поддерживают терморегулятором ВК3, первичный преобразователь которого установлен на трубопроводе системы (рис. 3.5). При понижении температуры ВК3 включает насос, который перекачивает остывшую воду через водонагреватель. Ручной или автоматический режим работы насоса задают выключателем SB2.

В водонагревателе ЭВ-Ф-15 (рис. 3.5) температуру воды регулируют подачей и контролируют по термометру 5. При $75...80^{\circ}\text{C}$ термореле 6 контактом SK отключает водонагреватель от сети. В автоматическом режиме работы водонагреватель включается через $15...45\text{ с}$ после включения тумблера SA и замыкания контакта SK. Выдержку обеспечивает реле времени КТ1. При замыкании контакта SK конденсатор заряжается от выпрямителя VD2...VD5 через SK и R1. При достижении напряжения на C2 определенной величины транзистор VT открывается и включает тиристор VS1, который закорачивает цепь постоянного тока выпрямителя и тем самым обеспечивает питание катушки пускателя КМ. Выдержка времени снижает частоту включений пускателя и подгорание контакта термореле.

Электрическая схема индукционного водонагревателя 084.ПВ-1

(рис. 3.3) обеспечивает отключение водонагревателя в случае превышения температуры воды, заданной на SK, и при перегреве трансформатора (блок А).

Методика выполнения работы

Устройство, принцип действия, способы регулирования мощности ЭВ-Ф-15, 084.ПВ-1 изучить в лаборатории, водонагревателей САОС и САЗС – по плакатам и литературе. Нарисовать принципиальные конструктивные схемы изучаемых водонагревателей. Уяснить местоположение, назначение, действие подводящих и отводящих трубопроводов, предохранительных и обратных клапанов, циркуляционных насосов, изолирующих вставок, датчиков и регуляторов температуры. Изучить устройство термоконтакторов, температурных реле, манометрических термометров, установленных на водонагревателях и на лабораторном стенде “Приборы измерения и регулирования температуры”.

Уяснить месторасположение, назначение, действие аппаратов электрических схем водонагревателей, изучив электроаппаратуру, установленную в шкафах управления и на водонагревателях.

Поочередно включить водонагреватели НЭ-1В, ЭВ-Ф-15, 084.ПВ-1. Мощность водонагревателей снижена по сравнению с номинальной из-за ограниченных возможностей лабораторной электрической сети. Установить подачу воды равной, указанной на водонагревателе. Измерить величины, согласно табл. 3.1.

3.1. Энергетические характеристики водонагревателей НЭ-1В, ЭВ-Ф-15, 084.ПВ-1

Измерено						Вычислено			
m_{τ} , кг/с	τ , с	t_1 , °C	t_2 , °C	t_H , °C	P , Вт	α , Вт/(м ² °C)	η , о е	$\Delta t / \tau$, °C/с	q , Дж/(кг °C)

В табл. 3.1: m_{τ} – подача воды; t_1, t_2 – температура воды на входе и выходе водонагревателя; t_H – температура трубки ТЭНа; P – мощность водонагревателя.

Коэффициент теплоотдачи от поверхности нагревателя к воде, приняв в (3.1) $t_b = t_2$

$$\alpha = \frac{P}{(t_H - t_2)A}, \quad (3.2)$$

где A – площадь теплоотдающей поверхности (НЭ-1В-0,2м², 084.ПВ-1-0,965м², ЭВ-Ф-15-1,2м²).

Коэффициент полезного действия водонагревателя

$$\eta = \frac{m_\tau c(t_2 - t_1)}{P}, \quad (3.3)$$

где $c = 4190$, Дж/(кг. °С) – удельная теплоемкость воды.

Скорость нагрева

$$\Delta t / \tau = \frac{t_2 - t_1}{\tau}. \quad (3.4)$$

Удельный расход энергии на нагрев воды

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

По результатам исследований сделать вывод об энергетической эффективности водонагревателей.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, результаты измерений. Графические зависимости $t_2(\tau)$. Выводы по работе.

Контрольные вопросы. 1. Устройство, принцип действия элементных и индукционного водонагревателей. 2. Работа электрических схем управления. 3. Регулирование температуры воды. 4. Основные энергетические характеристики водонагревателей. 5. Основные правила эксплуатации элементных водонагревателей.

4. Электродные водонагреватели

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, типовые схемы управления электродных водонагревателей.

Задачи работы

1. Изучить устройство, принцип действия и способы регулирования мощности водонагревателей ЭПЗ и КЭВ.
2. Изучить принципиальные электрические схемы управления водонагревателями ЭПЗ исполнения 1 и 3.
3. 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.

Общие сведения

Устройства, в которых воду нагревают, пропуская электрический ток через нее между токопроводящими электродами, называют электродными водонагревателями или парогенераторами.

Электродный водонагреватель состоит из металлического корпуса, внутри которого установлены электроды, механизм регулирования мощности, токоподводящие, изолирующие и другие конструктивные элементы.

Наиболее распространены водонагреватели с плоскими, цилиндрическими коаксиальными и секторными электродами, в частности котел электродный водогрейный КЭВ (рис. 4.1), электродные подогреватели ЭПЗ исп. 1 (рис. 4.2) и ЭПЗ исп. 3 (рис. 4.3).

Мощность водонагревателя зависит от напряжения на электродах U , их геометрических размеров (высоты h , ширины b или диаметра d , числа n и, расстояния между ними l) и удельного сопротивления воды (рис. 4.4). В простейшем случае однофазных плоских электродов

$$R_i = \frac{U^2}{R_i} = \frac{U^2 b h}{\rho_{cp} l}, \quad (4.1.)$$

где R_i – сопротивление одной фазы, Ом м; ρ_{cp} – среднее удельное сопротивление воды между электродами в диапазоне температур нагрева, Ом м.

В сложных электродных системах трудно путем прямых геометрических измерений определить действительное расстояние между электродами l_δ , по которому течет ток, и ширину поверхности электрода b_δ , с которой он стекает. Поэтому введена безразмерная величина $\kappa = l_\delta / b_\delta$, названная геометрический коэффициент электродной системы. Формулы для определения κ получают на основе расчета электрических полей в межэлектродном пространстве.

Для простой системы (рис. 4.4,б)

$$\kappa = \frac{n l}{b(m-1)}, \quad (4.2)$$

где n – число фаз сети; m – число электродов.

С учетом геометрического коэффициента сопротивление одной

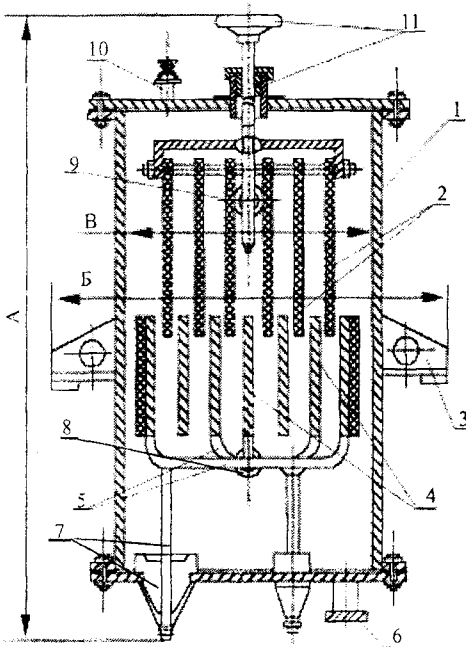


Рис. 4.1. Электродный водогрейный котел КЭВ-0,4: 1 – корпус; 2 – пластины диэлектрические; 3 – опоры; 4 – фазные электроды; 5 – переключки; 6 – пробка слива; 7 – узел токоподвода; 8, 9 – входное и выходное отверстие для воды; 10 – патрубок для выпуска воздуха; 11 – механизм перемещения диэлектрических пластин; А – высота; Б – ширина; В – внутренний диаметр котла

$$R_t = \frac{\rho_{cp} K}{h} \quad (4.3)$$

Мощность водонагревателя, согласно (4.1), зависит от напряжения, геометрических размеров электродов, удельного сопротивления воды и, следовательно, ее температуры (1.5). Последнее является недостатком, который надо учитывать при конструировании электродных нагревателей. Мощность можно регулировать изменением напряжения питания или сопротивления электродной системы.

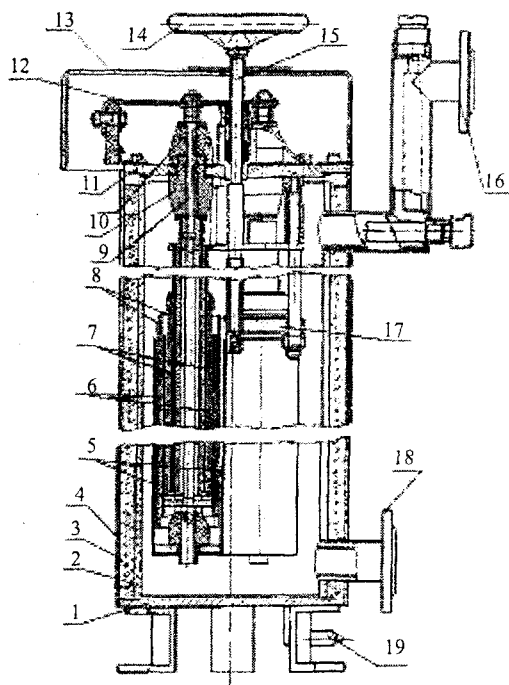


Рис. 4.2. Электродный водонагреватель ЭП325: 1 – днище; 2 – корпус; 3 – теплоизоляция; 4 – кожух; 5 – наружные антиэлектроды; 6 – электроды; 7 – внутренние антиэлектроды; 8 – изоляционные экраны; 9 – токовводы; 10 – электродами размещают подвижные диэлектрические пластины (рис. 4.1). Перемещая их штурвалом 11, изменяют рабочую высоту

нагревателя, ее температуры (1.5). Последнее является недостатком, который надо учитывать при конструировании электродных нагревателей. Мощность можно регулировать изменением напряжения питания или сопротивления электродной системы. Первый способ не нашел применения, т.к. требует тиристорные регуляторы напряжения, которые усложняют и удорожают водонагреватель, второй – применяют широко, путем изменения площади электродов (высоты или ширины). Для этого, например, между изоляционными экранами 8 – электроды размещают подвижные диэлектрические пластины (рис. 4.1). Перемещая их штурвалом 11, изменяют рабочую высоту

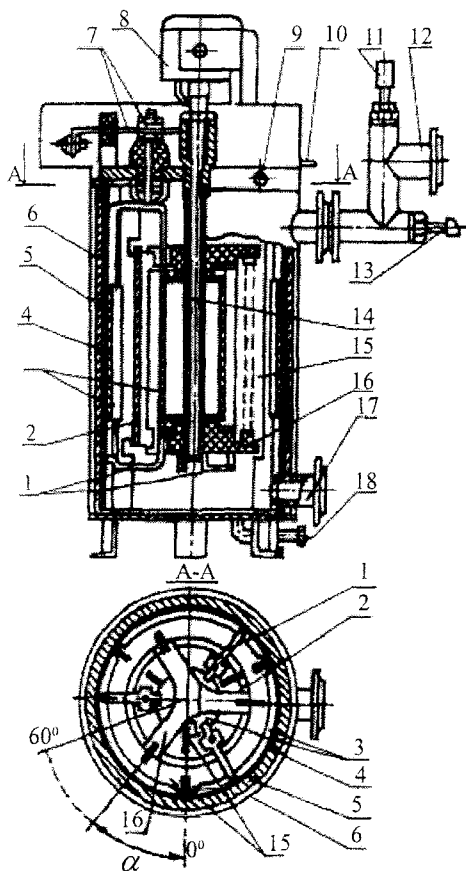


Рис. 4.3. Электродный водонагреватель ЭПЗИЗ: 1 – переключки токоподводящие; 2 – электроды регулирующие; 3 – электроды фазные; 4 – изоляция электрическая; 5 – корпус; 6 – кожух; 7 – токоподвод к электродам; 8 – электроприводной механизм; 9 – вентиль выпуска воздуха; 10 – дренаж из зоны вала; 11, 13 – защитный и регулирующий термодатчики; 12, 17 – патрубки; 14 – вал; 15 – изоляционные пластины; 16 – траверса; 18 – пробка слива

электродов 4 и, следовательно, мощность (4.1) и температуру воды. В водонагревателях ЭПЗ исп. 3 мощность регулируют плавным изменением рабочей поверхности регулирующих электродов 2 путем их вращения электроприводным исполнительным механизмом 8 вокруг вала 14 (рис. 4.3). Мощность минимальна, когда положение траверс 5 совпадает с положением изоляционных электродов 3 (рис. 4.4, в) Ее максимум соответствует положению траверс, показанному на рис. 4.4, в. При повороте регулирующих электродов от 0 до 60° мощность увеличивается от 25 до 100%.

Электрическая схема управления ЭПЗ исп. 1 (рис. 4.5) обеспечивает автоматическое поддержание температуры воды в заданном диапазоне за счет включения и отключения напряжения на электродах (терморегулятор SK), защиту от неполнофазных режимов работы (реле тока KA) и коротких замыканий между электродами (предохраните-

ли FU2), блокировку включения водонагревателя при неработающем насосе подачи воды. В автоматическом режиме работы в начальный момент включения напряжение подается на катушку промежуточного реле KV2 по цепи FU1, SK_{min}, KV1, KV3, KV2, N. Реле KV2 включается и своим контактом KV2 включает пускатель КМ, который подает напряжение на электроды водонагревателя. При нагревании воды до нижнего заданного значения температуры (например, 80°C) контакт SK_{min}, заблокированный контактом KV2, размыкается. При достижении верхнего заданного значения температуры (например, 90 °C) замыкается контакт SK_{max}. Напряжение подается на реле KV1 по цепи FU1, SK_{max}, KV2. Реле размыкает свой контакт KV1, обесточивает реле KV2 и тем самым отключает пускатель КМ. Температура воды понижается до нижнего заданного значения, контакт SK_{min} замыкается и снова подает напряжение на реле KV2. Процесс регулирования повторяется. В случае неодинаковых фазных токов срабатывает реле тока КА, включает промежуточное реле KV3 которое контактом KV3, отключает реле KV2 и пускатель КМ.

Электрическая схема водонагревателей типа ЭПЗ исполнения 3 (рис. 4.6) автоматически управляет мощностью водонагревателя по пропорционально интегральному закону в зависимости от температуры воды на его выходе и воздуха в отапливаемом помещении с коррекцией по температуре наружного воздуха или без нее, а также в соответствии с заданным графиком отпуска теплоты и графиком потребления электроэнергии.

Режим работы водонагревателя задают переключателем SA2 и кнопками на панели регулятора температуры ЭРТ-4 (рис. 4.7).

В автоматическом режиме работы кнопки К1-0 и К2-0 нажаты, регулируют только температуру воды на выходе водонагревателя, заданную по шкале 1 терморегулятора. При отжатой кнопке К1-0 и нажатой К2-0 мощность водонагревателя регулируют по температуре воздуха в отапливаемом помещении, заданной по шкале 2. При нажатой кнопке К1-0 и отжатой К2-0 мощность водонагревателя регулируют в соответствии с заданным графиком отпуска теплоты. Графики представляют собой зависимости температуры воды на выходе водонагревателя от температуры наружного воздуха при различных теп-

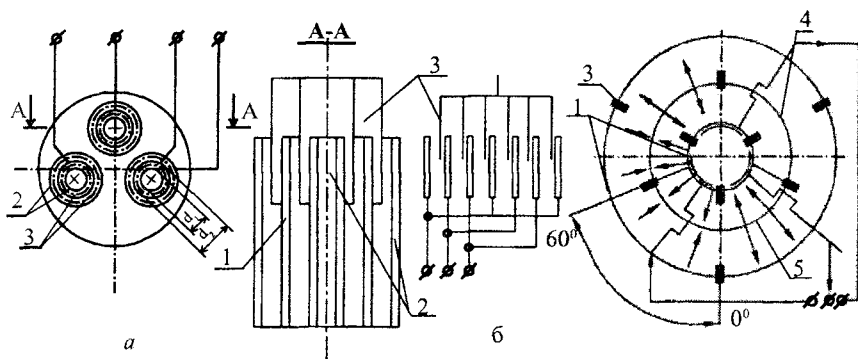


Рис. 4.4. Принципиальная схема электродной системы ЭПЗ-100И1 (а) и КЗВ-100 (б), ЭПЗ-100ИЗ (в): 1,2,4 – фазные, нулевые, регулирующие электроды; 3 – диэлектрические экраны; 5 – подвижные траверсы.

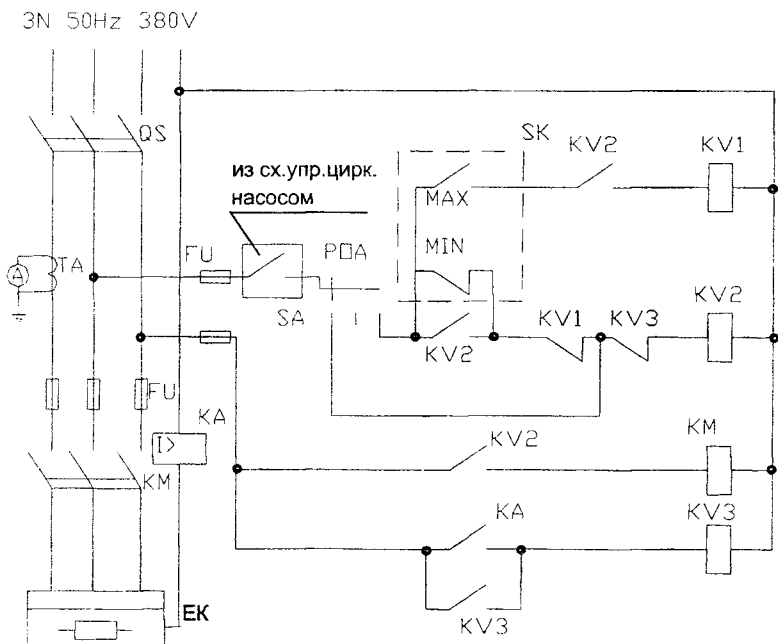
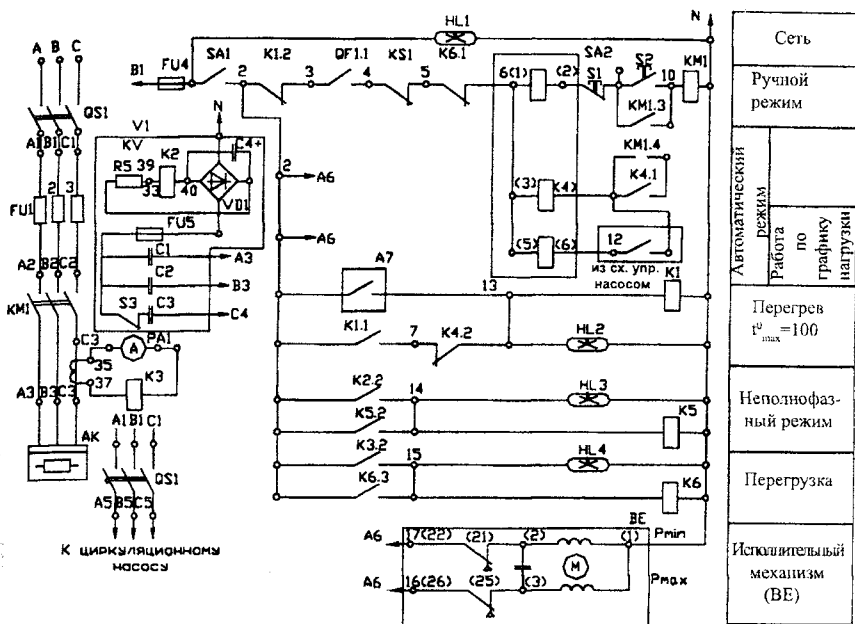
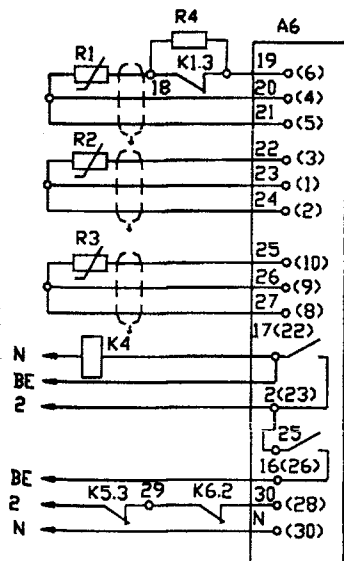


Рис. 4.5. Принципиальная и электрическая схема управления электродным водонагревателем ЭПЗ-100 И1



Сеть
Ручной режим
Автоматический режим
Работа по графику нагрузки
Перегрев $t^{\circ}_{max} = 100$
Неполнофазный режим
Перегрузка
Исключительный механизм (BE)



Датчик температуры теплоносителя
Датчик температуры наружного воздуха
Датчик температуры воздуха помещения
Команда «выше»
Команда «ниже»
200 В 50 Гц

Диаграмма работы переключателя SA2

Соединения контактов	Положение рукоятки	
	-45	0
1-2	-	X
3-4	-	X
5-6	X	-
7-8	-	X

Рис. 4.6. Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем ЭПЗ исполнения ИЗ

лопотерях отапливаемых зданий. График отпуска теплоты задают по шкале 3. Чем больше значение K_2 , тем выше температура горячей воды при одной и той же наружной температуре. При неизвестных теплопотерях значение K_2 подбирают опытным путем в процессе эксплуатации водонагревателя.

При режимном потреблении электроэнергии водонагреватель включают в часы, определенные программным устройством КТ.

Во всех режимах работы принцип действия схемы управления сводится к изменению температуры того или иного объекта терморезисторами R1, R2, R3, ее сравнению с заданной в регуляторе в ВК1, воздействию контактами терморегулятора ВК1.1 или ВК1.2 на исполнительный механизм ИМ и повороту регулирующих электродов водонагревателя. В результате этого изменяются его мощность и температура воды.

Динамические характеристики объекта управления учитывают выбором значений времени интегрирования $T_{ин}$ и коэффициента передачи α соответствующими кнопками на шкале ЭРТ-4 (рис. 4.7). Рекомендуется: при горячем водоснабжении $T_{ин} = 100$, $\alpha = 1$ при отоплении $T_{ин} = 300$, $\alpha = 5$.

В ручном режиме работы водонагреватель включают кнопкой SB2, его мощность регулируют кнопками «Ниже», «Выше» на шкале терморегулятора.

В случае перегрева воды

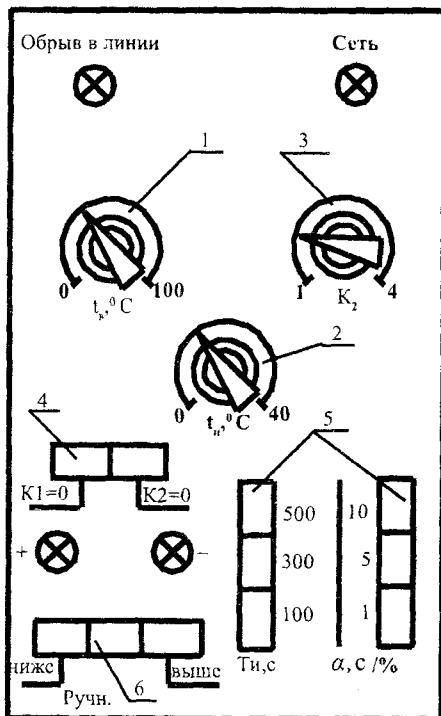


Рис. 4.7. Передняя панель терморегулятора ЭРТ4: 1,2,3 – датчики температуры воды, воздуха в помещении, коэффициент коррекции по температуре наружного воздуха; 4,5,6 – кнопки

терморегулятор ВК2 отключает водонагреватель от сети и включает в цепь термосопротивления R1 резистор R4, величина которого выбрана такой, что суммарное сопротивление этой цепи соответствует температуре выше действительной на 15...20 °С.

При неполнофазном режиме работы или превышении номинального тока срабатывает соответственно KV2 или реле тока КА и отключает водонагреватель.

Методика выполнения работы

Лабораторная установка включает электродный водонагреватель ЭПЗ 100И1- работающий по замкнутому контуру, и КЭВ-100/0,4 со снятым корпусом.

1. Устройство, принцип действия и схему включения водонагревателей в систему горячего водоснабжения изучить на натуральных образцах и на рис. 4.1...4.3.

Измерить размеры и нарисовать электродную систему КЭВ-100/0,4 (4.2).

2. Работу схем управления водонагревателей ЭПЗ изучить по описанию и рисункам методических указаний.

3. Открыть кран подачи воды в теплообменник. Мерным сосудом, секундомером и термометром измерить расход и температуру воды во вторичном контуре теплообменника. Установить на регуляторе температуры воды пределы регулирования температуры. Включить автоматический выключатель QF на лабораторном стенде, рубильник QS на шкафу управления, запустить насос подачи воды (рис. 4.4). Штурвалом регулирования установить мощность водонагревателя 8...10 кВт.

Влияние температуры воды на мощность наблюдать в период “разгона” водонагревателя до установившейся температуры. Показания приборов записать согласно табл. 4.1.

В табл. 4.1: 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;

$\rho_{20}, \rho_1, \rho_{cp}$ – удельное сопротивление воды при 20° С t_2 и t_{cp} .

4.1. Влияние температуры воды на мощность электродного водонагревателя

Измерено					Вычислено		
τ, c	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$P, Вт$	$\rho_{20}, Ом м$	$t_{cp}, ^\circ C$	$\rho_t, Ом м$	$\rho_{cp}, Ом м$

4. В установившемся режиме работы (температура воды на выходе из теплообменника не изменяется) записать показания приборов согласно табл. 4.2.

4.2. Энергетические показатели системы “водонагреватель-теплообменник”

Измерено							Вычислено	
$P, Вт$	$P_{эв}, Вт$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$t_3, ^\circ C$	$t_4, ^\circ C$	$m_t, кг/с$	$\eta, о.е.$	$q, Дж/кг$

В табл. 4.2: $P_{ик}$ – мощность электродвигателя насоса; t_3, t_4 – температура воды на входе и выходе теплообменника; m_t – подача воды; η – КПД системы “водонагреватель – теплообменник”; q – удельный расход энергии на нагрев воды.

$$\text{Коэффициент полезного действия } \eta = \frac{m_t c (t_4 - t_3)}{P}$$

$$\text{Удельный расход энергии } q = \frac{P + P_{ос}}{m_t}$$

5. Отключить пакетным выключателем, 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. Измерения выполнить для случаев: полнофазный режим работы; двухфазный режим работы с зануленным трубопроводом; двухфазный с не зануленным трубопроводом (табл. 4.3).

По результатам исследований сделать заключение о влиянии температуры на мощность, энергоемкости нагрева воды и электробезо-

пасности электродных установок.

4.3. Влияние неполнофазного режима питания водонагревателя на “вынос напряжения” на трубопровод

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

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Результаты измерений. Графические зависимости $\rho(t_2), \rho_1(t_2)$. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия электродных водонагревателей. 2. Способы регулирования мощности и температуры. 3. Работа схем управления водонагревателями ЭП 3. 4. Основные энергетические показатели водонагревателей. 5. Основные меры по повышению надежности электродных водонагревателей.

5. Электрокалориферные установки

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, схемы управления и некоторые характеристики электрокалориферных установок.

Задачи работы

1. Изучить устройство и принцип действия электрокалориферных установок СФОО-10/0,4В1, СФОЦ-25/0,5И2, СФОЦ-25/0,5ИЗ.
2. Изучить принципиальные электрические схемы управления установки СФОЦ-25/0,5И2, СФОЦ-25/0,5ИЗ.
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 мощность от величины заданной и фактической температуры воздуха в помещении.

Описание установок

Электрокалориферные установки (ЭКУ) предназначены для подогрева воздуха и поддержания требуемой температуры в системах отопления, вентиляции, сушки. Различают ЭКУ с осевым (СФОО) и с центробежным (СФОЦ) вентиляторами.

Электрокалориферные установки типа СФОЦ имеют исполнения И2, И3, И4 и состоят из электрокалорифера типа СФО (С – нагрев сопротивлением, Ф – калорифер, О – окислительная среда) и центробежного вентилятора типа Ц4-70, соединенных между собой матерчатой виброизолирующей вставкой. Используют калориферы мощностью от 10 до 100 кВт и вентиляторы с подачей воздуха от 800 до 10 тыс. м³/ч, согласованные между собой по условию, что температура поверхности обрешетки ТЭН не должна превышать 190°С.

В установках исполнения И2 (рис. 5.1.)

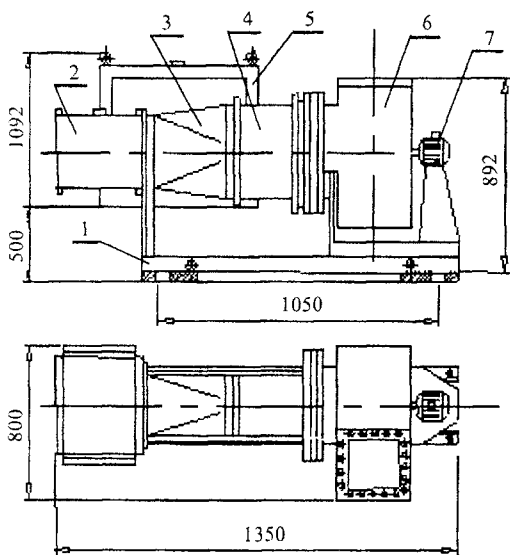


Рис. 5.1. Электрокалориферная установка СФОЦ-25/0,5 И2: 1 – рама; 2 – электрический калорифер; 3 – переходной патрубков; 4 – мягкая вставка; 5 – шкаф управления; 6 – центробежный вентилятор; 7 – электродвигатель

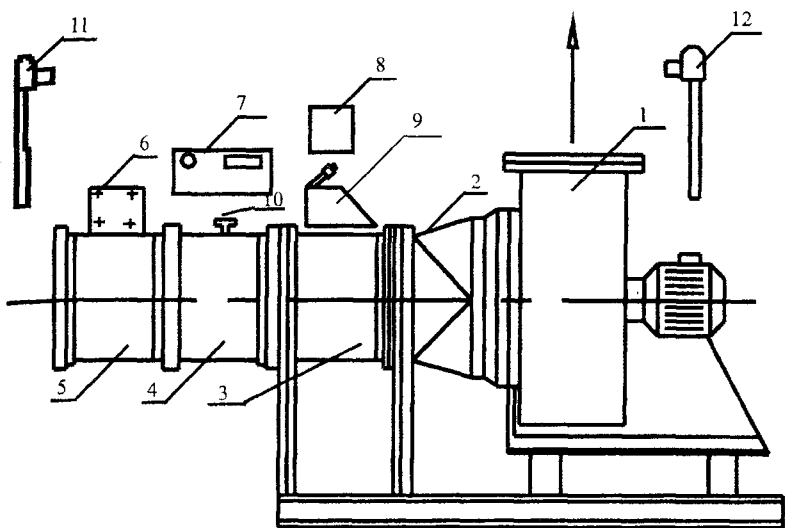


Рис. 5.2. Электрокалориферная установка типа СФОЦ-25/0,5ИЗ: 1 – вентилятор; 2 – соединительная вставка; 3 – камера смешивания воздуха (байпасная камера); 4 – электрокалорифер; 5 – патрубок притока воздуха; 6 – тиристорный регулятор; 7 – ящик управления электродвигателем; 8 – ящик преобразования и задания температуры; 9 – регулятор подсоса воздуха из помещения; 10 – датчик температуры поверхности ТЭНов; 11, 12 – датчики температуры воздуха снаружи и внутри помещения

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

Установки исполнения ИЗ (рис.5.2) 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 И4 используют односкоростной электродвигатель и устройство “Электротерм”.

ЭКУ типа СФОО-10/0,4И2 (рис. 5.3.) используют в безнапорных системах отопления и вентиляции в овоще- и фруктохранилищах, и

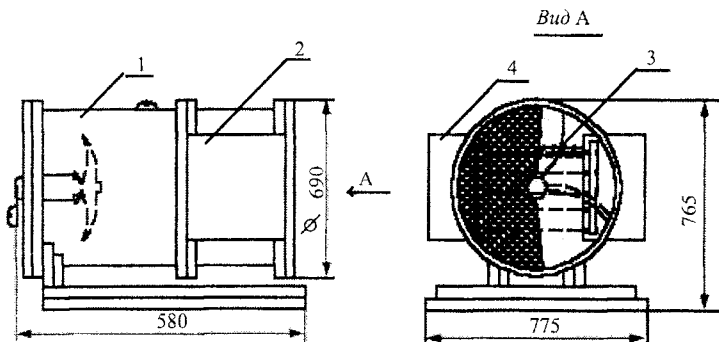


Рис. 5.3. Электрокалориферная установка СФОО-10/0,4И2: 1 – вентилятор; 2 – электрокалорифер; 3 – оребренный трубчатый электронагреватель (ТЭН); 4 – коробка подключений

других помещениях, где не требуется больших перепадов температур нагреваемого воздуха (8...10°C). Электрический калорифер размещен на нагнетающем патрубке осевого вентилятора и содержит 6 оребренных ТЭНов, расположенных в один ряд.

Полное обозначение ЭКУ (СФОЦ-60/0,5ИЗ, СФОО-10/0,4И2) включает: мощность электрокалорифера – 60,10 кВт; максимальное превышение температуры выходящего воздуха над температурой входящего воздуха в сотнях градусов – 0,4 = 40°C; номер исполнения И2, И3.

Холодный воздух обтекает трубчатые нагреватели электрокалорифера, нагревается и вентилятором подается в помещение. Забор воздуха через калорифер обеспечивает равномерное обдувание и охлаждение ТЭНов, исключает обледенение лопастей вентилятора.

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

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

где R_1, n – сопротивление одного нагревателя и их число в электрокалорифере; U – напряжение на нагревателе; α – коэффициент теплоотдачи от нагревателей; A – площадь поверхности нагревателей; t_n, t_a –

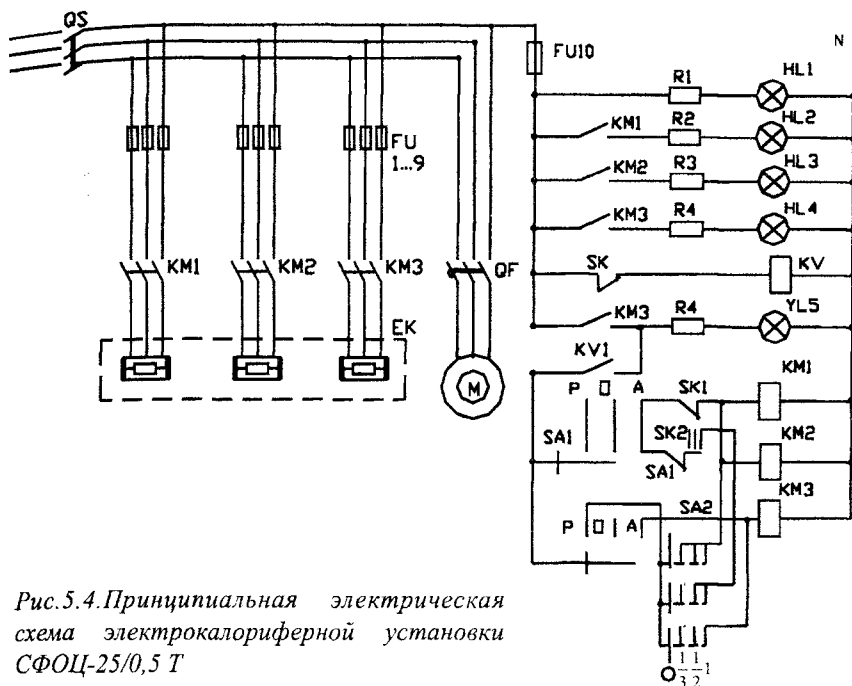


Рис. 5.4. Принципиальная электрическая схема электрокалориферной установки СФОЦ-25/0,5 Т

температура поверхности нагревателей и воздуха в калорифере; η - КПД электрокалорифера.

Мощность необходимая на нагревание воздуха в диапазоне температур $t_2 - t_1$ при подаче V_r

$$P = V_r \rho C (t_2 - t_1), \quad (5.2.)$$

где ρ, C - плотность и удельная теплоемкость воздуха.

Равенство (5.2) показывает, что температура воздуха выходящего из калорифера может быть изменена числом включенных нагревателей, напряжением на ТЭНах, подачей воздуха. Применяют все три способа. Наиболее эффективным является регулирование температуры изменением напряжения на нагревателях. Этот способ используют в установках, оснащенных устройствами управления типа "Электротерм". Плавное регулирование мощности по сравнению со ступенчатым за счет изменения числа включенных ТЭНов экономик от 20

до 40 % электроэнергии. Подача воздуха не влияет на тепловую мощность электрокалорифера. От нее зависит теплоотдача и температура выходящего воздуха. При недостаточной подаче воздуха ухудшается теплоотвод, растет температура нагревателей, что может вызвать их перегорание. Минимальная подача воздуха ограничена максимально допустимой температурой обребрения нагревателей – не более 190°C.

Схема управления установками типа СФОЦ исп. 2 (рис. 5.4) предусматривает ручной Р и автоматический А режим работы (переключатель SA1), ступенчатое включение мощности (SA2), двухпозиционное регулирование температуры (SK1, SK2), защиту ТЭНов от перегрева (SK3), защиту электрокалорифера от включения при неработающем вентиляторе (блок-контакт QF в цепи управления).

В ручном режиме работы секции электрокалорифера включают выключателем SA2. В автоматическом режиме секции 1 и 2 управляются регуляторами температуры SK1 и SK2, секция 3 может быть включена или выключена только вручную, переключателем SA2.

Рассмотрим пример. Переключатель SA1 установлен в положение А, SA2 – в положение 0 или 1/3, в других положениях автоматически режим не работает. Устанавливаем на SK1 – 12°C, на SK2 – 16°C. Температура в помещении ниже заданной. Включаем рубильник QS, загорается лампа HL1. Включаем QF, запускается электродвигатель вентилятора, напряжение подается на катушки пускателей KM1, KM2 и KM3 по цепи FU10, QF, KV1, SA1, SK1 (SK2), KM1 (KM2). Пускатели замыкают свои контакты в силовой цепи и включают секции электрокалорифера ЕК. При температуре воздуха 12°C размыкается контакт SK1 и отключается секция 1, при 16°C размыкается контакт SK2 и отключается секция 2. При понижении температуры SK2 и SK1 замыкают свои контакты и включают секции электрокалорифера.

При температуре обребрения ТЭНов 190°C терморегулятор SK3 выключает электрокалорифер.

Схема управления установками типа СФОЦ исп. 3 с устройствами управления “Электротерм – ХХТВУХЛЗ.1” (ХХ – мощность регулирования, ТВ – автоматическое и ручное регулирование тепло- и воздухопроизводительности, УХЛЗ.1 – климатическое исполнение и ка-

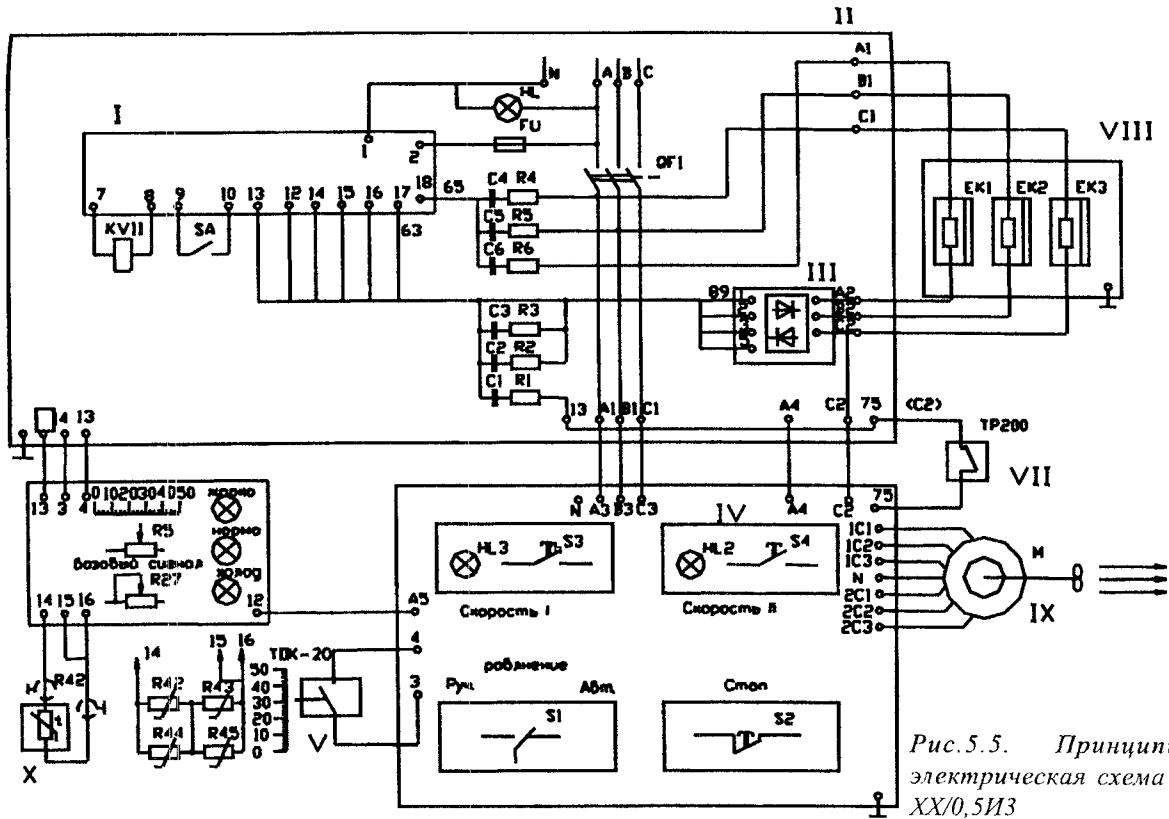


Рис. 5.5. Принципиальная электрическая схема СФОЦ-XX/0,5I3

тегория 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.

Принципиальная электрическая схема СФОЦ-ХХ/0,5ИЗ показана на рис. 5.6. Она включает следующие блоки.

Блок VI (ящик Я9201-104ВУХЛЗ.1) предназначен для измерения температуры в помещении, сравнения ее с заданной на панели блока и формирования выходного унифицированного сигнала управления, который поступает в блок II.

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 упрощенном виде схема (рис. 5.5) 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 напряжение тиристоры изменяют величину напряжения на ТЭНах и, следовательно, мощность калорифера и температуру воздуха в помещении.

Электрическая схема блока VI (рис. 5.6) включает измерительный мост постоянного тока (R4, R5, R7, R8, R9, R42), дифференциальный измеритель постоянного тока A1, транзисторные усилители мощности (VT4, VT4), элементы сигнализации и стабилизированные узлы питания, задатчик температуры R5, датчик температуры R42, потенциометр для корректировки моста R9. Светодиод VD6 (VD7) выдает световую информацию о превышении (снижении) температуры воздуха от заданного значения, VD8 сигнализирует о равенстве температур.

При отклонении температуры от заданной сигналы от датчика и

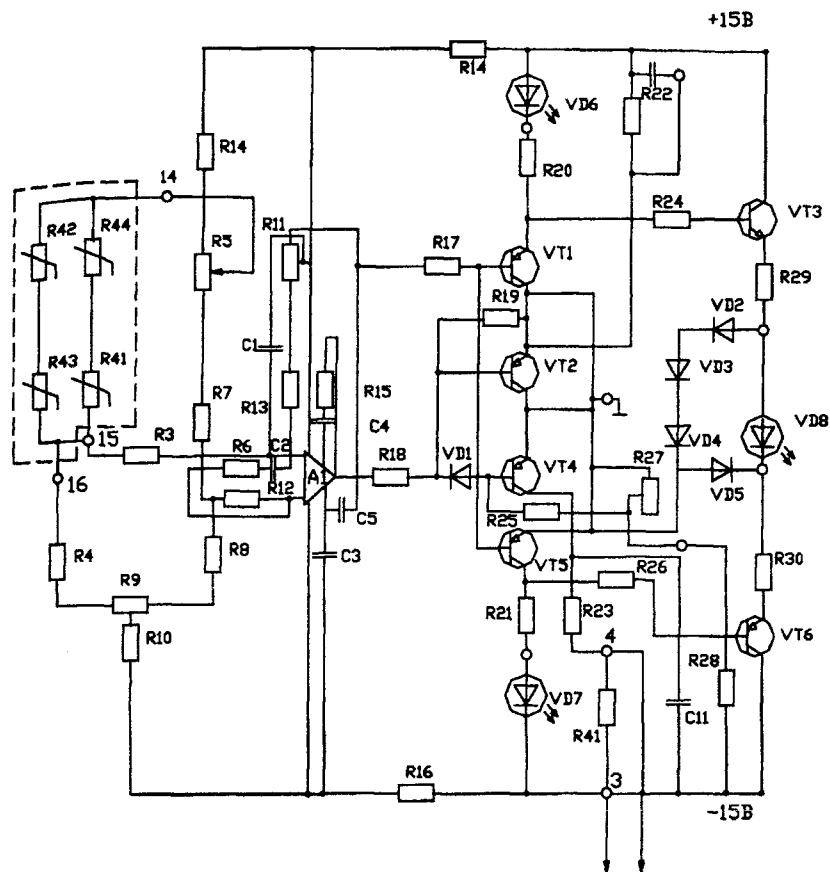


Рис. 5.6. Принципиальная электрическая схема блока измерения и задания температуры (блок VI)

Задатчика температуры суммируются и поступают на вход дифференциального усилителя А1. Усиленный сигнал с параметрами $+0...9$ В и $+5$ мА снимается с клемм 3, 4 и подается в блок II на клеммы 13, 14. Базовый аналоговый сигнал, обеспечивающий необходимую минимальную теплопроизводительность электрокалорифера, устанавливается задатчиком R27.

Блок II (рис. 5.7) содержит автоматический выключатель QF1,

панель управления тиристорными модулями I, силовую панель с тиристорными модулями III, сигнальную лампу HL1 и предохранитель FU.

Панель управления I формирует импульсы, управляющие силовыми тиристорными модулями VA1, VA2, VA3, а также отключает QF1 по сигналам датчиков ненормальных режимов работы.

Силовая панель III регулирует мощность электрокалорифера, а также формирует сигналы аварии для отключения QF1.

Напряжение питания подается через QF1 на нагреватели EK1, EK2, EK3 электрокалорифера и через них на вход тиристорных модулей VA1...VA3.

На панели управления I размещена система импульсно-фазового управления, узел формирования сигнала на отключение силового автоматического выключателя, а также генератор блокирующих импульсов.

Система импульсно-фазового управления выполнена по однократному принципу и обеспечивает формирование трех импульсов, сдвинутых относительно друг друга на 120° .

Система управления содержит узел питания на $\pm 15\text{В}$, $+5\text{В}$, формирователь синхроимпульсов, узел согласования фазы управляющих импульсов и три узла временной задержки.

Формирователь синхроимпульсов обеспечивает синхронизацию системы управления сетью. Они формируются путем дифференцирования с помощью конденсатора C12 сигнала, снимаемого с коллектора транзистора VT. На базу последнего через фильтр на конденсаторах C6, C9 и резисторах R10, R11, R12, подают напряжение синхронизации. Для фазового сдвига используют синхроимпульс, формируемый в точке перехода через ноль сигнального напряжения.

Узлы задержки импульсов реализованы на двух гибридных микросхемах A1 и A2 типа ЗФИ. Каждая из них содержит две временные задержки с выходными усилителями и формирует на выходе импульсы управления положительной полярности с амплитудным значением тока до $0,1\text{А}$, достаточным для непосредственного управления силовыми оптоэлектронными тиристорами. В схеме используют три узла временных задержек, включенных последовательно, одна из которых

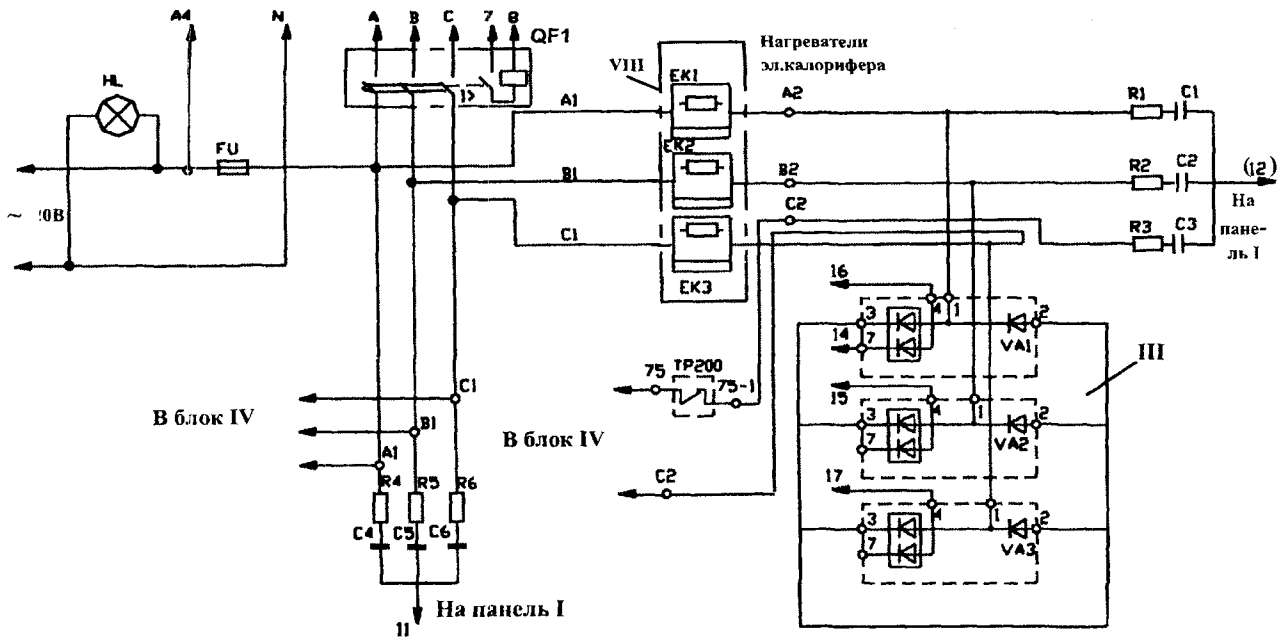


Рис.5.7,а. Принципиальная электрическая схема силовой панели III тиристорного регулятора мощности

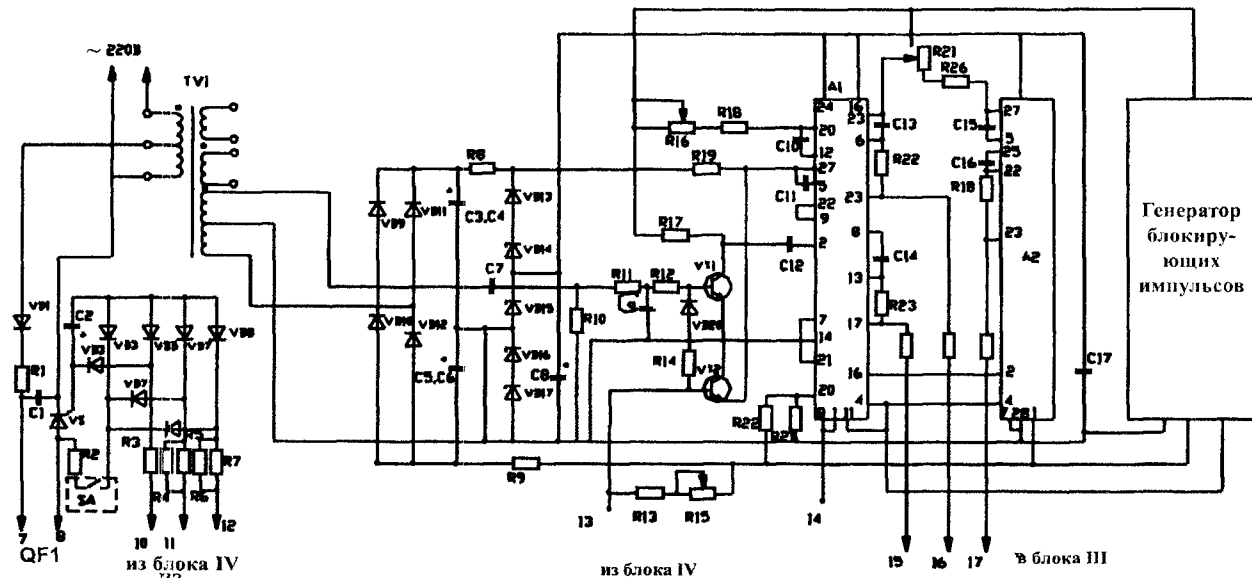


Рис. 5.7,б. Принципиальная электрическая схема панели управления I тиристорного регулятора мощности

регулируемая, а две других имеют фиксируемое время задержки, соответствующее углу 120° .

Выходные импульсы первого и второго каналов снимают с клемм 23 и 17 элемента А1, а 3-го – с клеммами 23 элемента А2. Узлы задержки питают напряжением $+5В$, подаваемым на клеммы 15 и 24 элементов А1, А. Напряжение смещения $-15В$ поступает к клеммам 1,8, а сигнал управления с делителя 20 и 21 – к клеммам элемента А1.

Диапазон изменения фазы управляемого узла задержки определяется цепочкой, состоящей из резисторов R19 и конденсатора С11. Первый узел задержки запускают синхроимпульсом положительной полярности, поступающим на клемму 2 элемента А1. С выхода 23(А1), усиленный и смещенный на требуемый угол, он через ограничивающий резистор R27 подается на вход оптронного тиристора в фазе А.

Второй узел задержки запускают входным импульсом, снимаемым с клеммы 22 (А1) путем подачи его на клемму 9 (А1). Усиленный импульс с клеммы 17 (А1) через ограничивающий резистор 25 поступает на вход оптронного тиристора фазы В. Длительность фиксированной задержки, составляющей 120° , задается цепочкой из С15, R24 и R26. Резистором R24 регулируют задержку. Конденсаторы С14, С16 осуществляют емкостную связь узлов задержки с выходными усилителями.

Узел согласования фазы управляющих импульсов выполнен на транзисторе VT2. На его входе суммируются сигналы смещения и управления. Уровень первого сигнала регулируют с помощью переходного резистора R15. Сигнал управления положительной полярности подают на клемму 13. Диоды VD18 и VD19 предназначены для температурной компенсации дрейфа.

Узел формирования сигнала на отключение силового автоматического выключателя содержит конденсатор С1, который заряжается от переменного напряжения 127 В (обмотка С1-ОК TV 1) через диод VD1 и ограничивающий резистор R1. При аварийной ситуации этот конденсатор через тиристор V5 разряжается на катушку расцепителя выключателя QF1, подключенную к контактам 7 и 8 панели управления. Тиристор включается от сигналов датчиков, поступающих на клеммы 10, 11, 12, 18. Конденсатор С2 исключает ложные срабатыва-

ния защиты при включении QF1 из-за неоднородности замыкания его контактов.

Генератор блокирующих сигналов осуществляет кратковременный срыв управляющих импульсов на 20...30 с, с интервалом около 7 с. Это необходимо для своевременного выявления замыкания тиристоров на землю, так как в противном случае нарушается нормальная работа защиты по перегрузке нагревательных элементов калорифера.

Силовая панель III содержит три силовых гибридных модуля VA1, VA2, VA3 типа МДТО (диод-оптронный тиристор), две группы цепочек RC, соединенных каждая в отдельности в звезду.

Первая группа цепочек R1, R2, R3, C1, C2, C3 подключена к выходным фазам преобразователя. Общая точка ее соединяется с выходом 12 панели управления. Эта группа контролирует обрыв или исчезновение фазы питающего напряжения, а также перегрузку нагревательных элементов при обрыве одного или более элементов в фазе. Принцип ее работы заключается в том, что при возникновении аварийных режимов в общей точке 12 по отношению к нулевому проводу появляется сигнал, который отключает выключатель QF1.

Вторая группа R4, R5, R6, C4, C5, C6 используется для защиты от аварийных режимов электродвигателя вентилятора.

Во всех аварийных случаях в точках 11 или 12 панели I появляется напряжение, которое открывает тиристор VD5, включает катушку расцепителя QF1 и отключает автоматический выключатель QF1. Геркон SA служит для защиты от замыкания на землю силовых элементов схемы преобразователя. Геркон установлен на металлической скобе П-образной формы, образуя с ней замкнутый сердечник, через который проходят провода трех фаз. Разбаланс магнитного потока, возникающий в аварийном режиме в фазах питающего напряжения, вызывает замыкание геркона, отпирание тиристора VP5 и отключение выключателя QF1.

Схема управления вентилятором (рис. 5.8.) обеспечивает ручное и автоматическое изменение частоты вращения электродвигателя 1:2 и подачу воздуха 1500 и 3000 м³/ч. В автоматическом режиме частота вращения зависит от температуры наружного воздуха. В зимний период, когда температура воздуха ниже заданной, на контактом тер-

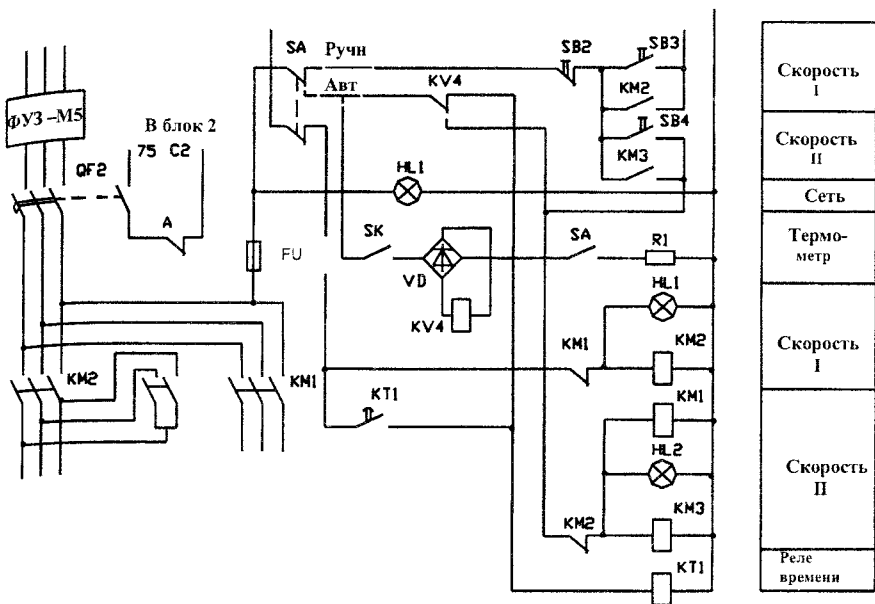


Рис. 5.8. Принципиальная электрическая схема управления вентилятором (блок IV)

мометре контакт SK разомкнут, электродвигатель работает на скорости I и обеспечивает подачу воздуха $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$. 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.

Методика выполнения работы

1. Устройство, принцип действия, схемы управления электрокалориферными установками СФОЦ-25/0,5 ИЗ, СФОО-10/0,4И2 изучить по методическим указаниям и на установках, представленных в лаборатории.

Используя рисунки и их описание, уяснить: назначение и устройство электрокалорифера, вентиляционного блока, блока измерения и задания температуры, блока регулирования частоты вращения электродвигателя вентилятора, тиристорного регулятора мощности установки СФОЦ-25/0,5ИЗ; устройство установок типа

СФОО-10/0,4И2, СФОЦ-25/0,5И2.

2. На панели управления электродвигателем вентилятора установить “ручной режим” работы. Включить установку. Для этого включить автоматические выключатели 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 в положение, при котором электрокалорифер потребляет максимальную мощность (по показаниям приборов).

Подождать пока трубчатые нагреватели калорифера нагреются до установившейся температуры. Записать в табл. 5.1 показания приборов на лабораторном стенде.

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

5.1. Влияние мощности и подачи воздуха на параметры электрокалориферной установки

Задано		Измерено			Вычислено		
V_{τ} , м ³ /с	P_k , Вт	t_1 , °С	t_n , °С	t_2 , °С	P , Вт	η , о.е	α , Вт/(м ² °С)

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

Полезную мощность определить по формуле (5.2), приняв $\rho = 1,2$ кг/м³ и $C = 1,0$ кДж/(кг °С).

Коэффициент полезного действия электрокалорифера

$$\eta = \frac{P}{P_k}$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности оребрения ТЭНов к воздуху

$$\alpha = \frac{P_k}{A(t_n - t_a)}$$

Площадь поверхности обогрева 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 $t_a = 0,5(t_1 + t_2)$.

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 (режим “зима”).

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

Включить установку. Включить устройство, имитирующее изменение температуры в помещении. Имитатор изменения температуры воздуха в помещении представляет собой 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.

5.2. Зависимость напряжения на нагревателях от температуры воздуха в помещении

Задано		Измерено		Вычислено
$V_p, \text{ м}^3/\text{ч}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$U_n, \text{ В}$	$P_n, \text{ Вт}$
графические зависимости $U_n, P_n(t_n)$				

В табл. 5.2: t_3 – температура в помещении, заданная на шкале блока задания температуры; t_n – фактическая температура воздуха в помещении, создаваемая имитатором; U_n – напряжение на нагревателях калорифера.

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Результаты измерений. Рисунок блок-схемы установки СФОЦ-25/0,5 ИЗ. Графические зависимости $t_n(V_r, P_k)$, $\alpha(V_r)$. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия ЭКУ. 2. Схемы управления ЭКУ СФОЦ исп.2.и исп.3. 3. Способы регулирования температуры воздуха. 4.Основные энергетические характеристики ЭКУ. 5. Особенности эксплуатации ЭКУ.

6. Установки локального электрообогрева

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, схемы управления установками локального электрообогрева.

Задачи работы

1. Изучить устройство, принцип действия, схемы управления установки комбинированного электрообогрева ЭИС-11И1 “Комби”, электроконвектора ЭОКС-2,0/1,5-И1, электрообогреваемых полов, панелей и ковриков.

2. Проверить исправность блока защиты от токов утечки, определить соответствие температуры, заданной на терморегуляторе фактической, на поверхности обогреваемой панели.

3. Исследовать температурное поле и определить зону обогрева, создаваемую установкой ЭИС-11И1.

Общие сведения

Системы локального электрообогрева применяют в помещениях для содержания молодняка животных и птицы, при совместном содержании животных разных возрастных групп, а также в родиль-

ных отделениях, профилакториях, ветлечебницах и других помещениях. Преимущество установок и устройств локальных обогревов 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 обогрев может быть создан установками лучистого, контактного, конвективного и смешанного обогрева. Для лучистого обогрева применяют различные инфракрасные облучательные установки, например ИКУФ, Луч, Сож, облучатели ССПО1-250 и др.

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

Электрообогреваемые полы (рис. 6.1) могут быть сплошными либо в виде полос или площадок, расположенных в зоне содержания животных. Достоинством электрообогреваемых полов является их большая аккумуляционная способность, позволяющая применять внешнюю электроэнергию и безболезненно переносить перерывы электроснабжения, отсутствие подстилки, пониженную влажность и концентрацию 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. Основным недостатком электрообогреваемых полов – их большая материалоемкость и сложность ремонта.

Электрообогреваемые бетонные плиты лишены в значительной мере недостатков электрообогреваемых полов (рис. 6.1, в, г). Плита представляет собой бетонный блок (например, 1400 × 80 × 700 мм), внутрь которого уложен нагревательный провод, сетка для выравнивания потенциалов и узел соединения токопроводящих проводов с нагревателями. Напряжение питания одной плиты 36 или 110 В. Плиты

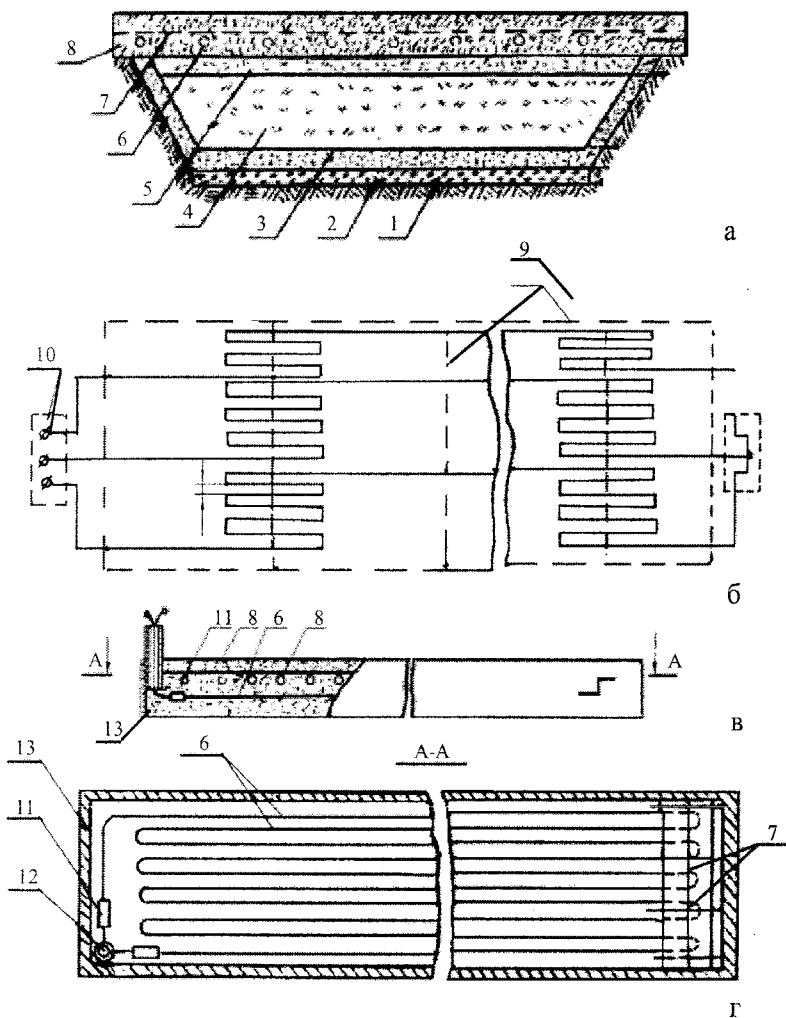


Рис. 6.1. Поперечные разрезы и планы электрообогреваемых пола (а, б) и бетонной плиты (в, г): 1 – грунт; 2 – бетонная стяжка; 3 – гидроизоляция (рубероид); 4 – теплоизоляция (шлак); 5 – песок; 6 – провод нагревательный; 7 – сетка металлическая; 8 – бетон; 9 – ограждения станка для животных; 10 – коробка подключений; 11 – узел соединения токопроводящего и нагревательного проводов; 12 – труба стальная; 13 – каркас металлический

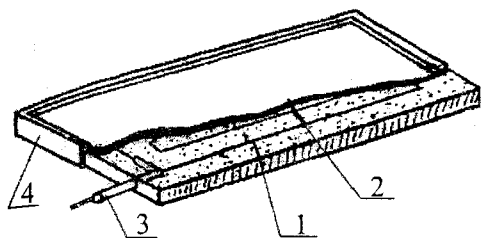


Рис. 6.2. Электрообогреваемый коврик ЭП-935: 1 – провод нагревательный ПОСХП; 2 – резина химостойкая; 3 – провод токоподводящий; 4 – каркас металлический

соединяют последовательно и подключают на сетевое напряжение. Плиты применяют для обогрева небольших сельскохозяйственных помещений (родильные отделения КРС, профилактории, бытовки и др.), навешивая их, наподобие отопительных батарей, на стенки. Плиты могут использоваться для создания электрообогреваемого пола, что экономичнее сооружения стационарного пола.

Электрообогреваемый коврик ЭП-925 (рис. 6.2) относится к напольным средствам обогрева. Нагревательный элемент коврика из изолированного провода ПОСХП уложен зигзагом между листами винипласта, что обеспечивает ему двойную электрическую изоляцию. Коврики применяют для обогрева отдельных участков пола, например, при содержании животных в станках.

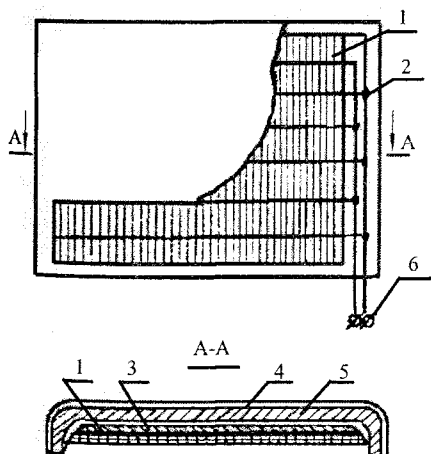


Рис. 6.3. Обогреватель молодняка с полупроводниковым электронагревательным элементом: 1 – полупроводниковый нагреватель; 2 – контактные электроды; 3 – стеклоэмалевая изоляция; 4 – металлическая панель; 5 – изоляционное покрытие; 6 – токопроводы

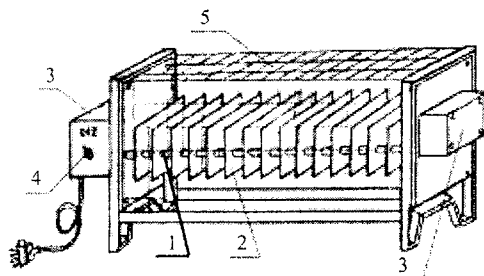


Рис 6.4. Электроконвектор ЭОКС- 2,0/1,5И1: 1– трубчатые нагреватели; 2 – пластины оребрения; 3 – коробка соединения ТЭНов; 4 – переключатель мощности; 5 – ограждающая сетка

водчиков температуры в периоды значительного понижения температуры (рис. 6.4). Обогреватель имеет три ТЭНа, соединенных в звезду, подключается к сети 380/220 В. Переключателем на коробке выводов ТЭНов регулируют мощность обогревателя ступенями 2 и 1 кВт, третье положение – “выключено”.

Наиболее благоприятный температурный режим для молодняка животных обеспечивает обогрев сверху и снизу. Установка комбинированного обогрева поросят ЭИС-1И1 “Комби” (рис. 6.5) состоит из 30 обогревателей и шкафа управления. Обогреватель содержит инфракрасный керамический облучатель (250Вт) и электрообогреваемую панель (120 Вт). Нагревательным элементом является проволока из нихрома, уложенная в керамику облучателя и в панель.

Схема управления установкой “Комби” (рис. 6.6) 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 (ВК1, ВК2) Т419 с термопреобразователями типа ТСМ (RK1, RK2). Местоположение термопреобразователей показано на рис. 6.6. Защита от токов утечки выполнена на реле утечки РУД 0,5(А2). Датчик тока утечки (А1) представляет собой катушку, которая охватывает фазные провода. При несимметричной нагрузке фаз в катушке наводится ЭДС, под действием которой сраба-

Электроконвектор ЭОКС-2/1,5-И1 (ЭО–электрообогреватель; К–конвективный нагрев; С–сельскохозяйственного назначения; 2– мощность в кВт; 1,5 – температура теплоотдающей поверхности в сотнях °С; И1–исполнение) применяют в небольших производственных помещениях в качестве отопителей-до-

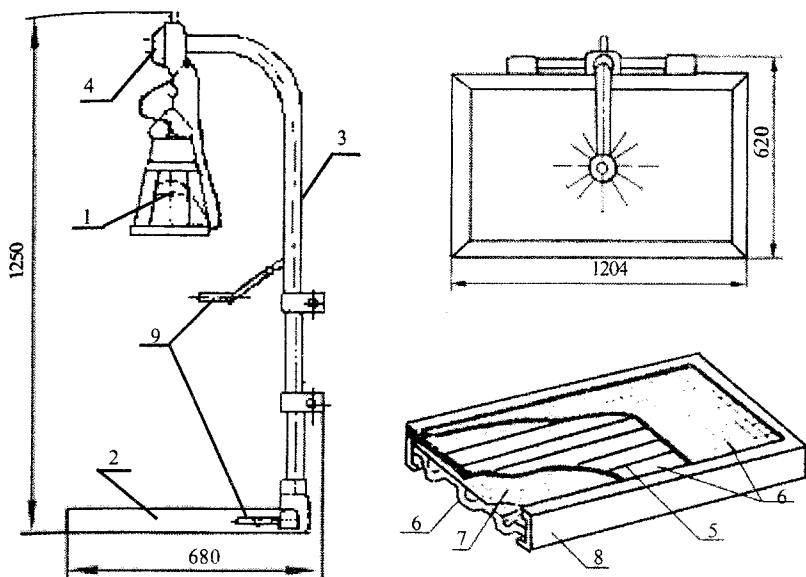


Рис 6.5. Установка комбинированного электрообогрева ЭИС-11И1: 1 – инфракрасный нагреватель; 2 – напольная электронагревательная панель; 3 – трубостойка; 4 – коробка с тумблером; 5 – нагревательный провод (нихром); 6 – пластины из винипласта; 7 – экран из алюминиевой фольги; 8 – каркас; 9 – терморезисторы

тывает реле блока А2 и отключает установку. Исправность реле утечки проверяют кнопкой SB1. При нажатии SB1 реле А2 должно размыкать свой контакт в цепи питания катушек пускателей КМ1 и КМ2 и включать лампу НЛ3. В исходное состояние схему возвращают отключением и включением QF1.

Методика работы

1. Устройство, принцип действия, схемы управления установок ЭИС-11И1, ЭОКС-2,0/1,5И1, коврика ЭП-935 изучить на образцах, представленных в лаборатории, электрообогреваемых полов и панелей – по методическим указаниям и моделям в лаборатории.

2. Проверить исправность блока защиты от токов утечки в установке “Комби”. Для этого включить установку в ручном или автома-

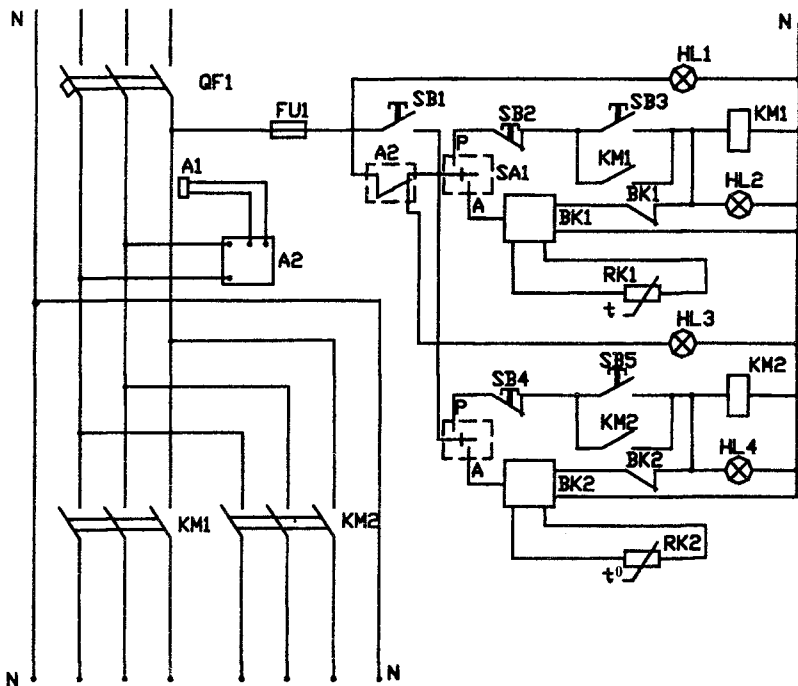


Рис. 6.6. Принципиальная электрическая схема установки ЭИС-111

тическом режиме управления. Нажать кнопку SB1 (рис. 6.7). Должно сработать устройство защиты A2. Отключить установку. Для возврата установки в рабочее состояние выключить и снова включить.

Уяснить принцип действия блока защиты.

Измерить температуру на панели в зоне размещения датчика температуры и сравнить ее с заданной на шкале терморегулятора. Определить, насколько различаются заданная на терморегуляторе и фактическая температура панели.

3. Прибором ЭТП-М измерить температуру на поверхности обогреваемой панели и в пространстве между облучателем и панелью (рис. 6.8). Результаты измерений записать в табл. 6.1.

Построить график распределения температуры в зоне обогрева

6.1. Распределение температуры в зоне обогрева установки ЭИС-11И1

Точка измерения температуры	1а	1в	...	4с	4д
Расстояние от обогреваемой панели Н, м					
Расстояние от центра панели l, м					
Температура t, °С					

в зависимости от высоты над панелью и расстояния от центра панели (рис. 6.7,б).

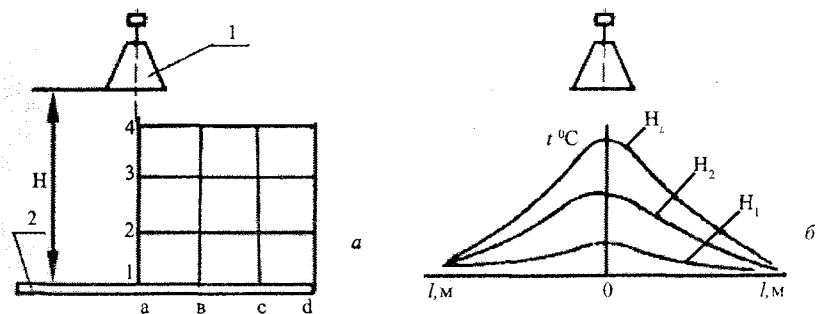


Рис. 6.7. Точки измерения температуры (а), распределение температуры в зоне обогрева ЭИС-11И1 (б): 1 – ИК-облучатель; 2 – электрообогреваемая панель

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Принципиальная электрическая схема управления установкой ЭИС-11И1. Таблицы с результатами измерений. График распределения температуры в зоне обогрева установки ЭИС-11И1.

Контрольные вопросы

1. Проблемы создания оптимального микроклимата для разных возрастных групп животных и птицы. 2. Устройство электрообогреваемых полов, плит, ковриков, панелей, электроконвекторов. 3. Устройство электроустановки ЭИС-11И1 “Комби”. 4. Работа электрической схемы управления ЭИС-11И1. 5. Особенности эксплуатации установок локального электрообогрева.

7. Электросварочное оборудование

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы сварочного выпрямителя ВД-306У3 и машины точечной сварки МТ-501, экспериментально определить их основные параметры.

Задачи работы

1. Изучить назначение, устройство, принцип действия, электрическую схему сварочного выпрямителя ВД-306У3.
2. Изучить назначение, устройство, принцип действия, электрическую схему машины контактной сварки МТ-501.
3. Определить внешние и энергетические характеристики сварочного выпрямителя ВД-306У3.

Общие сведения

Электрическая сварка – способ получения неразъемного соединения путем электронагрева отдельных участков металлических тел до жидкого или пластического состояния с последующим их соединением и охлаждением.

Дуговая сварка основана на использовании энергии 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 токе, переменном токе, однофазной или трехфазной дугой, плавящимся

или неплавящимся электродом с использованием для наплавки при-сачного прутка. В зависимости от степени механизации работ гово-рят о ручной, полуавтоматической и автоматической сварке. При пи-тании сварочной дуги постоянным током свариваемые детали чаще всего соединены с положительным полюсом источника (прямая по-лярность сварки). Вблизи анода выделяется больше теплоты, чем у катода, и металл изделия плавится интенсивнее чем электрод. Иног-да, например при сварке тонких листов, применяют "обратную по-лярность", когда электрод является анодом.

Контактная сварка основана на использовании теплоты, выделя-ющейся непосредственно в свариваемом стыке за счет протекания через свариваемые детали электрического тока. Контактная сварка имеет следующие разновидности: стыковая, точечная, шовная (ро-ликовая). Сварку выполняют переменным однофазным током боль-шой силы (до тысяч и десятков тысяч ампер) при малых напряжениях (единицы вольт) или мощными однополярными импульсами тока (то-чечная или стыковая сварка).

Источники питания сварочной дуги должны обеспечивать надежное зажигание и устойчивое горение дуги в процессе сварки, возможность регулирования сварочного тока, безопасность обслужи-вания. Они должны иметь достаточно высокие технико-экономичес-кие (КПД, $\cos \varphi$) и другие показатели.

Надежность зажигания дуги повышается с возрастанием напря-жения холостого хода источника питания U_0 , которое должно быть больше напряжения дуги U_d в установившемся режиме. Значения U_0 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 хо-лостого хода источника питания ограничивают величиной 90 В.

Основной характеристикой источника питания является его внеш-няя характеристика, представляющая собой зависимость напряже-ния источника от тока нагрузки: $U_n = f(I_d)$. По форме внешняя харак-теристика источника может быть крутопадающей (рис 7.1, кривая 1), пологопадающей (кривая 2) и жесткой (кривая 3). Для устойчивого

горения дуги необходимо соответствие формы внешней характеристики источника питания $U_n = \varphi(I_d)$ форме статической характеристики дуги $U_d = f(I_d)$. Аналитически устойчивость дуги определяют коэффициентом устойчивости K_y , который должен быть больше нуля:

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

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

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 390 В. Однопостовые сварочные трансформаторы имеют па-

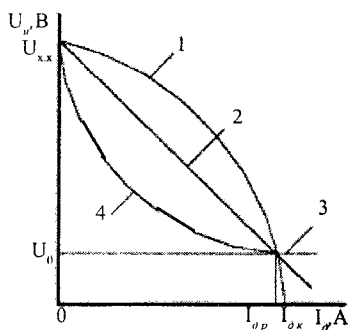


Рис. 7.1. Внешние характеристики источника питания сварочной дуги: 1,2,3 – крутопадающая, пологопадающая и жесткая; 4 – падающая ВАХ

дающую внешнюю характеристику и по способу регулирования сварочного тока подразделяются на две группы: трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой - дросселем и трансформаторы 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. В настоящее время машинные сварочные генераторы вытесняются статичес-

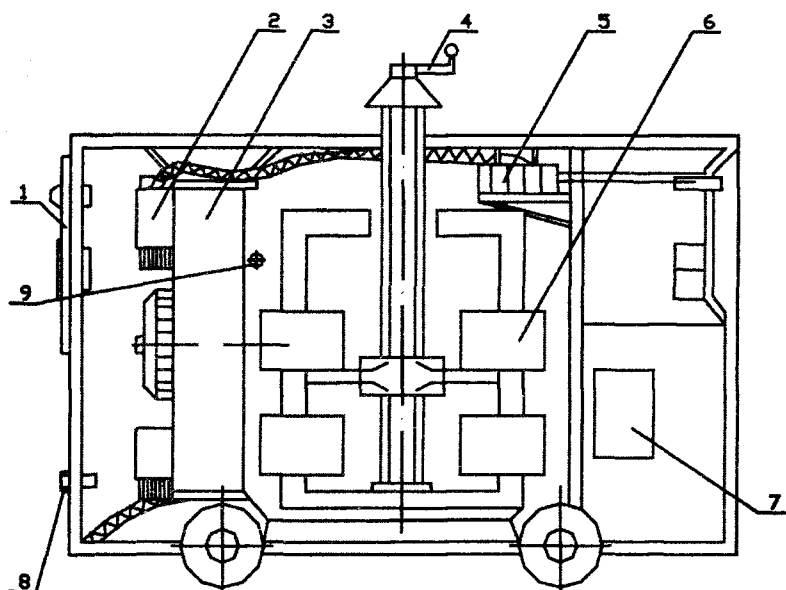


Рис .7.2. Конструктивная схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ. 1- панель управления, 2- блок силовых вентилялей, 3- вентилятор, 4 - рукоятка перемещения обмоток, 5 - переключатель диапазонов силы сварочного тока, 6- трансформатор, 7- силовой блок системы управления, 8 - выводы для подключения сварочных проводов, 9 - реле потока воздуха

кими сварочными выпрямителями, имеющими лучшие эксплуатационные и экономические показатели.

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 (рис. 7.2).

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
Принципиальная электрическая схема выпрямителя приведена	

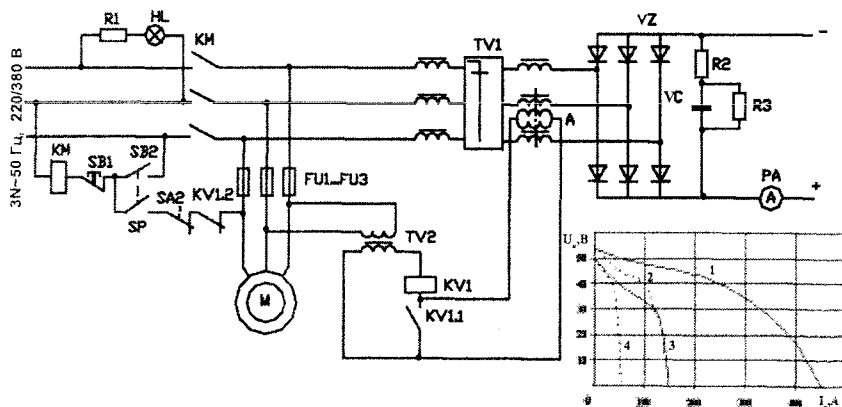


Рис. 7.3. Принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ (а) и его внешние характеристики (б) — — — — — диапазон больших токов (Δ/Δ), - - - - - диапазон малых токов (Y/Y), 1,2 — при сдвинутых обмотках; 3,4 — при раздвинутых обмотках

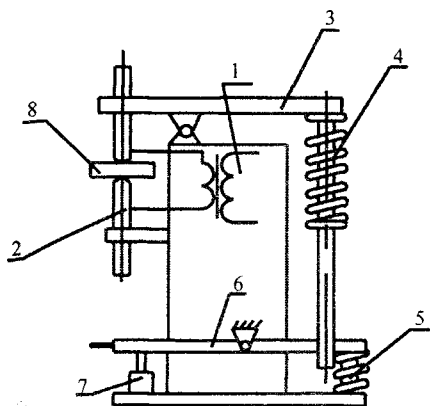


Рис. 7.4. Конструктивная схема машины для точечной сварки: 1 – сварочный трансформатор; 2 – электроды; 3...6 – рычажный механизм сжатия; 7 – электропневматический привод сжатия электродов; 8 – свариваемое изделие

на рис. 7.3. Выпрямитель состоит из понижающего трехфазного силового сварочного трансформатора TV1 с подвижными катушками, выпрямительного кремниевого блока VZ 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 обеспечивается 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 имеет два диапазона регулирования сварочного тока, устанавливаемые переключателем SA1. Диапазон малых токов – при соединении первичной и вторичной обмоток трансформатора по схеме Y/Y , диапазон больших токов – по схеме Δ/Δ . Для исключения возможности переключения диапазоном под нагрузкой служит микровыключатель SA2, смонтированный в переключателе SA1. Плавное регулирование сварочного тока внутри каждого диапазона производят путем изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Выпрямитель включает кнопкой SB2, которую необходимо удер-

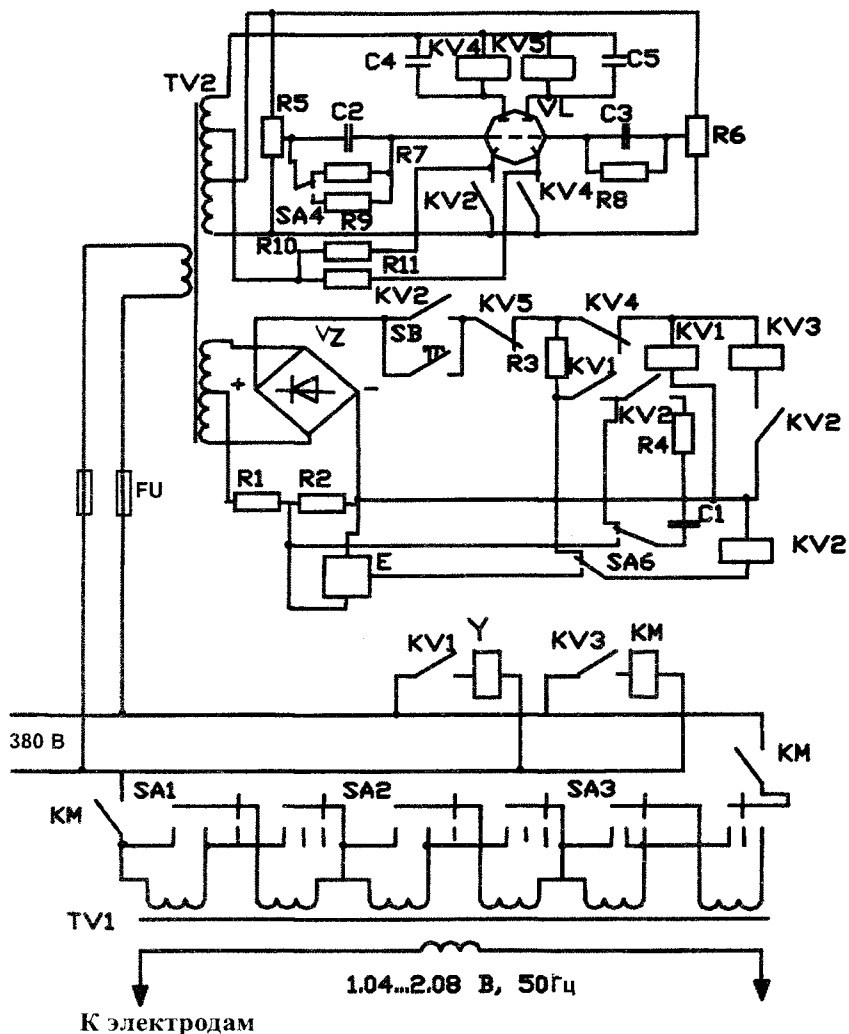


Рис. 7.5. Принципиальная электрическая схема машины МТ-501

живать 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 пли

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 торроидальных сердечников магнитного усилителя. Эти провода соединяют вторичную обмотку трансформатора с выпрямительным блоком. Необходимость наличия в окнах сердечников А 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 р-п – перехода вентиля) в фазных вторичных обмотках трансформатора TV1 появляются постоянные составляющие, вызывающие насыщение сердечников 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.

Машина МТ-501 предназначена для контактной точечной сварки деталей из листовой стали. Принцип ее устройства и работы поясняет рис. 7. 4. Машина состоит из корпуса, сварочного трансформатора, устройства зажима деталей, системы водяного охлаждения электродов, регулятора режимов сварки, электрической системы управления. 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 КМ, двухпозиционный регулятор цикла сварки, собранный на электронной лампе VL, обеспечивающий регулировку времени нагрева и времени паузы. Регу-

лирование силы сварочного тока осуществляют ступенчато, путем изменения коэффициента трансформации TV1 с помощью переключателей SA1...SA3, которые имеют по две рабочие позиции и одну холостую.

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, R12 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 замыкает цепь питания реле KV3, управляющего контактором KM. Сработав, контактор KM 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 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» (определяемого разрядом конденсатора C3) срабатывает реле KV5 и размыкающим контактом отключит реле KV2 и KV4, приведя схему в исходное состояние. Работа регулятора закончится выключением реле KV5. Продолжитель-

ность 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 pedalным приводом. При нажатии на педаль срабатывает 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 отпуска педали и выключения БВК.

Методика выполнения работы

Пункты 1, 2 «Задач» выполняют при подготовке к лабораторному занятию, используя рекомендованную литературу, конспект лекций, настоящие методические указания, а также в процессе самого занятия при изучении устройства и работы оборудования.

Испытания сварочного выпрямителя ВД-306УЗ (п. 4) производят на лабораторном стенде (рис. 7.6) после изучения устройства, принципа действия, электрической схемы и правил обслуживания выпрямителя.

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 убс-

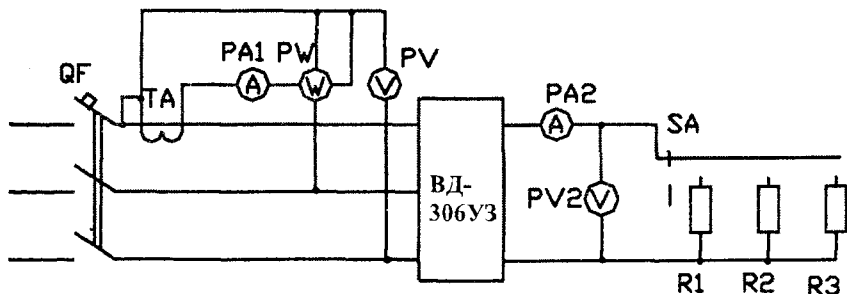


Рис. 7.6. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки. R1, R2, R3 – нагрузочные сопротивления выпрямителя равны соответственно 1,26; 0,63 и 0,42 Ом.

даться, что вентилятор вращается в нужном направлении – воздух должен засасываться со стороны лицевой панели. 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».

Сила сварочного тока зависит от:

1) нагрузки – электрического сопротивления дуги, которое (при данном диаметре электрода) определяется длиной дуги;

2) расстояния между катушками первичной и вторичной обмоток.

Нагрузку выпрямителя в лабораторных условиях имитируют сопротивлениями R_1, R_2, R_3 , а расстояние между обмотками изменяют вращением ходового винта с помощью рукоятки на верхней крышке кожуха.

В работе необходимо снять и построить 6 внешних характеристик, соответствующих 6 положениям регулятора силы тока при изменении нагрузки (сопротивлений (R_1, R_2, R_3)).

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: $R = \infty$ (Холостой ход), $R_1 = 1,26 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,63 \text{ Ом}$, $R_3 = 0,42 \text{ Ом}$.

Показания приборов и результаты вычислений записывают в табл. 7.1.

В таблице индекс 1 несет величины, относящиеся к первичной цепи выпрямителя, индекс 2 – к вторичной.

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

$$\text{КПД выпрямителя приближенно } \eta = P_2 / P_1.$$

Каждая цифра регулятора соответствует определенному расстоя-

янию между обмотками $l = 2, 3, 4$, и т.д.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, электрическая схема ВД-306У3 результаты измерений и вычислений, графические зависимости, $U_2(I_2, l)$, $\cos \varphi(I_2)$, $\eta(I_2)$, $I_2(l)$.

Контрольные вопросы. 1. Требования к источникам питания сварочной дуги, условия устойчивого горения дуги. 2. Статическая ВАХ сварочной дуги, какова ее практическая значимость. 3. Принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306У3. 4. Принципиальная электрическая схема машины точечной сварки МТ-501. 6. Основные правила техники безопасности при эксплуатации установок дуговой сварки.

7.1. Внешние и энергетические характеристики сварочного выпрямителя ВД-30643

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

8. Установка индукционного нагрева ВЧИ4 -10/0,44

Цель работы

Изучить энергетические характеристики индукционного нагрева, устройство, принцип действия, приобрести навыки эксплуатации индукционных установок.

Задачи работы

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

2. Определить пределы регулирования напряжения на индукторе. 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 $\cos \varphi$.

Общие сведения

Индукционный нагрев основан на законах электромагнитной индукции и Джоуля – Ленца. Переменный электрический ток, протекающий по индуктирующему проводу, создает переменное магнитное поле, которое проникает в металлическое тело, наводит в нем переменную ЭДС и токи, нагревающие его (рис. 8.1,а). Для индукционного нагрева используют частоты от 50 Гц до 5 МГц. Энергия электромагнитного поля, поступающая в металл, расходуется на нагрев (8.1) и создание магнитного поля;

$$P_s = \frac{1}{2} \rho_k H_0^2 e^{-2kz}, \quad (8.1)$$

где P_s – поверхностная плотность потока энергии (Вт/м²) в теле на

расстоянии z (м) от его поверхности (рис. 8.1,а); ρ – удельное сопротивление металла, Ом м; κ – коэффициент затухания волны, м⁻¹; H_0 – действующее значение напряженности магнитного поля на поверхности тела, А/м; $e = 2,71$ – основание натуральных логарифмов.

Величина поглощаемой мощности зависит от электрических свойств металла (ρ , μ) и параметров магнитного поля (f, H). По мере проникновения электромагнитной волны в глубь тела, ее мощность убывает по экспоненте (8.1). Способность электромагнитного поля проникать, а материала поглощать его характеризуют глубиной проникновения тока (z_a), на которой амплитуда волны уменьшается в e раз:

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

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

Электрическую энергию преобразуют в магнитную и подводят к нагреваемому телу с помощью устройства, называемого индуктором. Индукторы классифицируют: по технологическому назначению – закалочные (рис. 8.1), нагревательные (рис. 8.2), сварочные и др.; принципу действия - периодического или непрерывного; рабочей частоте и конструктивному исполнению.

Конструктивное исполнение индукторов может быть самым разнообразным (рис. 8.1, 8.2) и зависит главным образом от технологического назначения. Принципиально индуктор состоит из индуктирующего провода, токоподводящих шин, узла подключения охлаждающей воды. 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 $(1,6...3,0) z_a$.

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

Удельная поверхностная мощность, поглощаемая изделием, (Вт м⁻²) при условии, что удельное сопротивление (ρ_2) и магнитная проницаемость (μ_2) изделия в процессе нагрева неизменны:

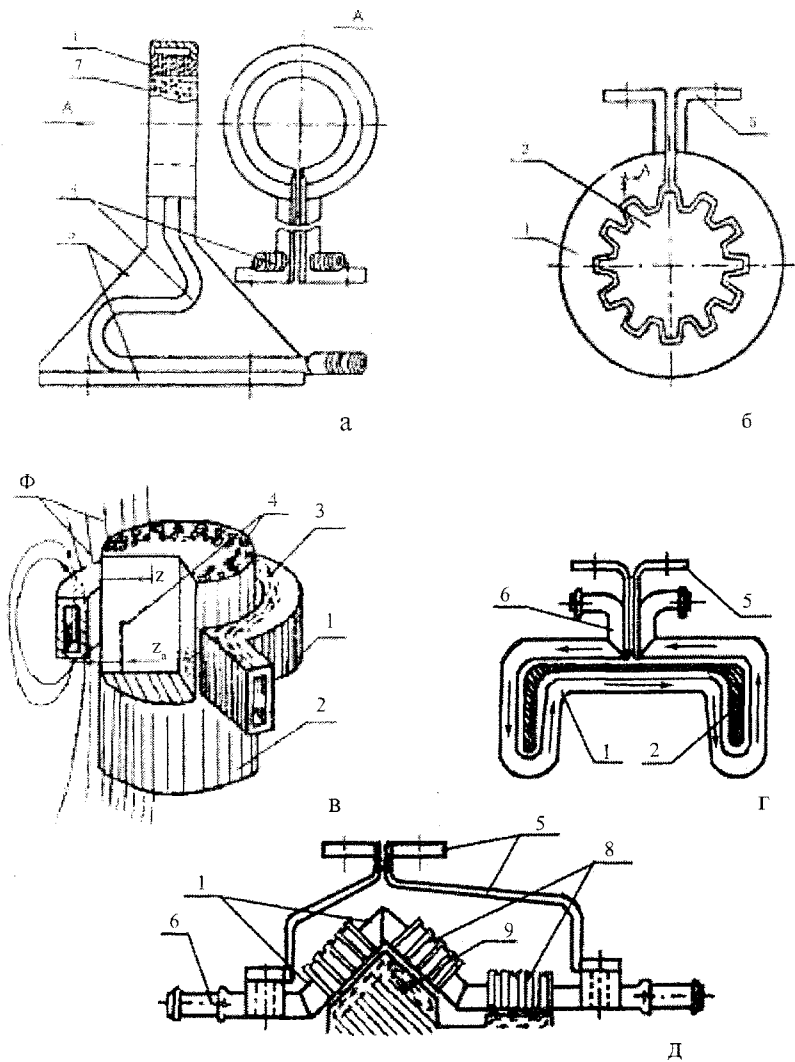


Рис. 8.1. Индукторы закалочные (примеры выполнения): 1 – индуктирующий провод; 2 – изделие; 3, 4 – условное распределение токов в индукторе и изделии; 5 – токоподводящие шины; 6 – элементы водоохлаждения; 7 – отверстия подачи воды; 8 – магнитопровод; 9 – станина металлорежущего станка

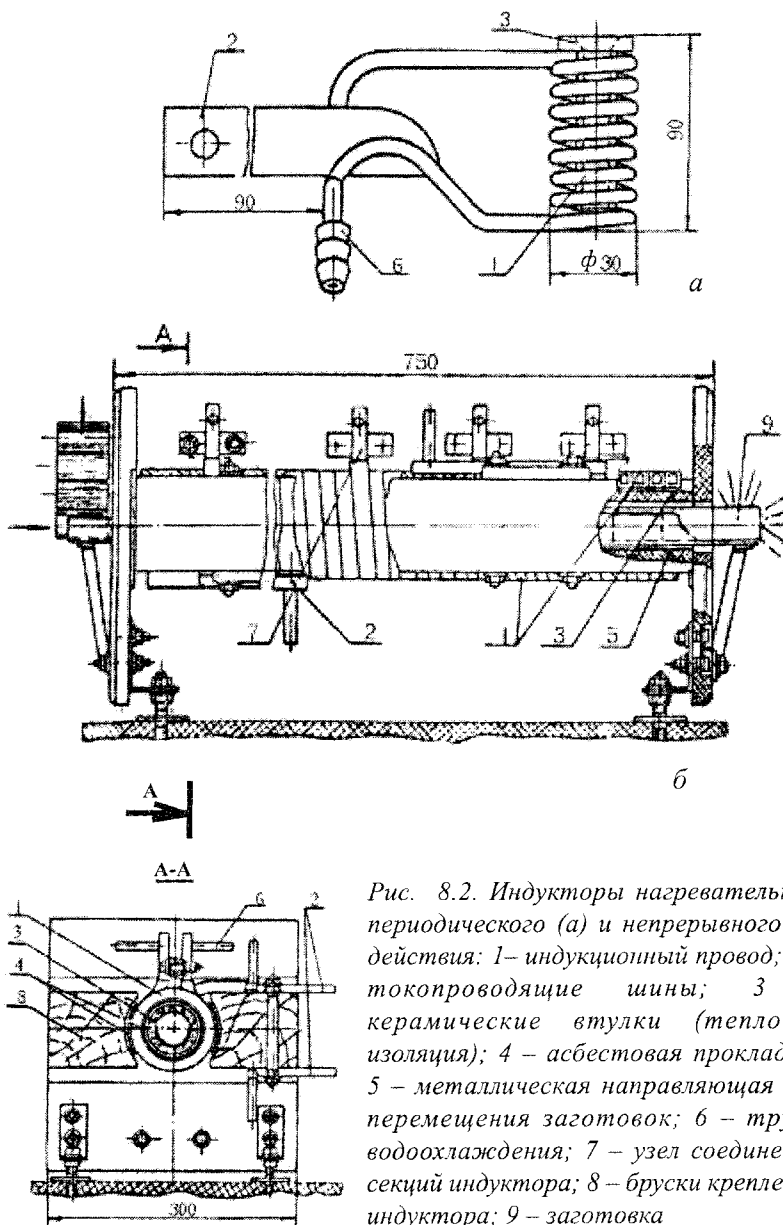


Рис. 8.2. Индукторы нагревательные периодического (а) и непрерывного (б) действия: 1 – индукционный провод; 2 – токопроводящие шины; 3 – керамические втулки (тепловая изоляция); 4 – асбестовая прокладка; 5 – металлическая направляющая для перемещения заготовок; 6 – труба водоохлаждения; 7 – узел соединения секций индуктора; 8 – бруски крепления индуктора; 9 – заготовка

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

Поглощаемая мощность пропорциональна (\sqrt{f}), зависит от (ρ_2), (μ_2) и в реальных условиях изменяется в процессе нагрева, так как электрические свойства металла зависят от температуры. При температуре выше точки Кюри ($\mu_2 = 1$, $\rho_2 = const$) мощность снижается до установившегося значения и дальше не изменяется. При изменении ρ_2 , μ_2 изменяется 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:

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

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

Коэффициент мощности снижается с увеличением частоты и зазора:

$$\cos \varphi = \frac{r_n}{z_n} = \frac{503}{d} \sqrt{\frac{\rho_2 \mu_2}{2f}}, \quad (8.5)$$

где r_n, z_n – активное и полное сопротивление системы индуктор – изделие.

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°C $z_3 = (1...3) x_k$. Это условие выполняется при частоте закалки

$$f_{opt} \approx 0,06 / X_k^2,$$

где X_k – глубина закаленного слоя, м.

При сквозном нагреве величину частоты определяют электри-

ческий КПД индуктора и равномерность нагрева. Диапазон частот при нагреве: $3/d_2^2 < \dot{f} < 6/d_2^2$. В практике при выборе частоты исходят из рекомендаций (табл. 8.1), где d_2 – диаметр цилиндра или ширина пластины.

8.1. Рекомендуемая частота тока для сквозного нагрева стальных заготовок

\dot{f} , кГц	0,05	0,5	1,0	2,5	4,0	8,10	66
d_2 , мм	160	70...160	60...120	40...80	30...6	20...40	10...20

Источники питания индукционных установок предназначены для преобразования токов промышленной частоты в токи высокой частоты. Различают машинные (0,5...10 кГц), статические (0,15...1, 3кГц), ламповые (66,440 кГц) преобразователи. Применительно к задачам работы рассмотрим устройство и принцип действия лампового преобразователя на примере генератора ВЧИ4-10/0,44.

Генератор ВЧИ4-10/0,44 как и любой другой ламповый преобразователь 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. 8.3).

Блок регулирования А1 (рис.8.4) может изменять величину сетевого напряжения от 0 до 380 В и, следовательно, мощность на индукторе, состоит из тиристоров VD10... VD15 и схемы управления тиристорами, которая содержит три фазосдвигающие устройства А7, усилитель постоянного тока А8, импульсные трансформаторы А9. Величину напряжения регулируют силовыми тиристорами VD10... VD15 за счет изменения момента включения тиристоров. Момент включения силовых тиристоров определяется суммарной величиной напряжения, приложенного к базовым цепям транзисторов VT1, VT2 через диоды VD20, VD21. Суммарная величина напряжения состоит из синусоидального напряжения от трансформатора управления TV5, напряжения отрицательного смещения от выпрямителя VD30... VD35, напряжения положительного смещения, снимаемого с сопротивления R10

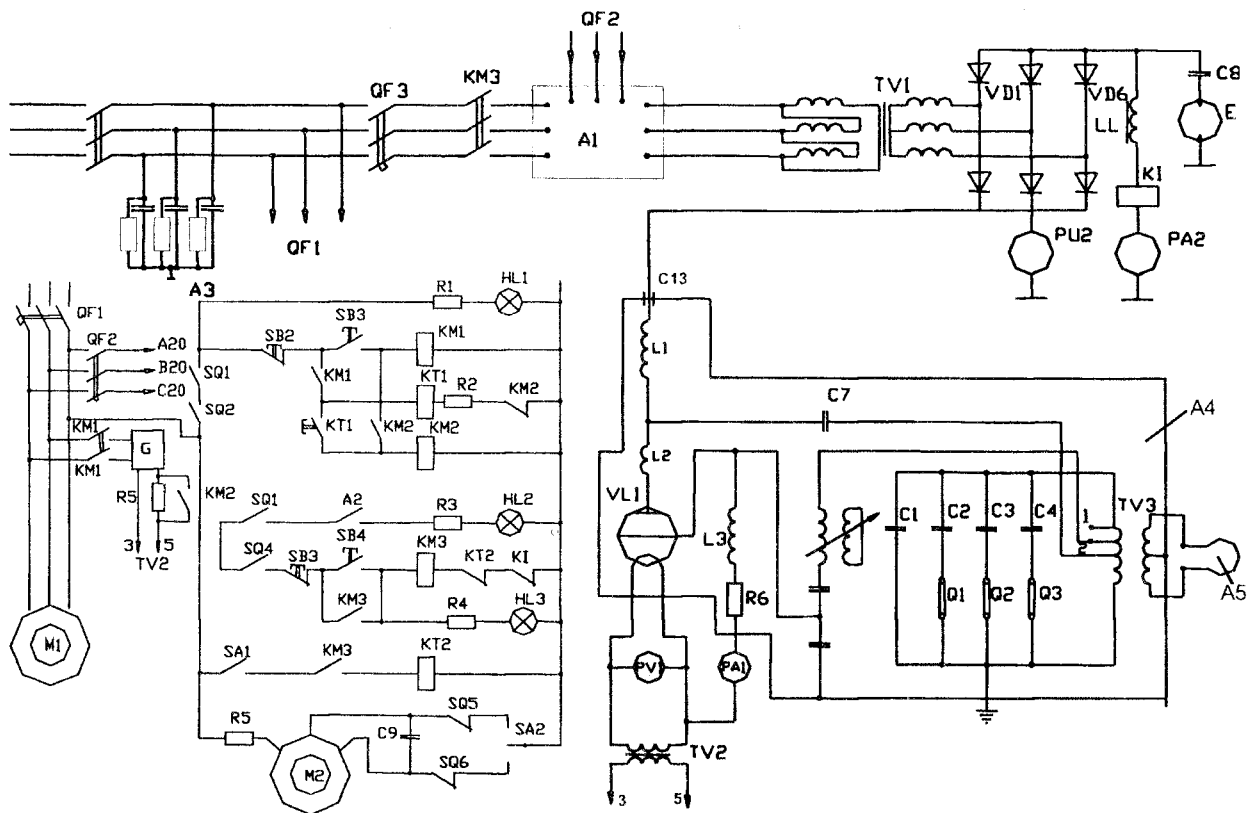


Рис.8.3. Принципиальная электрическая схема индукционной установки ВЧИ-10/0,44

блока А6. Величину напряжения изменяют вручную потенциометром R1 (регулятор напряжения на двери шкафа) за счет изменения величины анодного тока пентода VD2 в блоке А8.

Цепи управления и стабилизации предусматривают три режима регулирования напряжения на индукторе, задаваемые переключателем SA3.

Режим настройки. Переключатель SA3 в положении 3. Регулирование напряжения вручную потенциометром R1.

Режим стабилизации напряжения. Переключатель SA3 в положении 1. Величина напряжения задается вручную потенциометром R1. Стабилизация напряжения с точностью $\pm 0,05\%$ осуществляется автоматически за счет напряжения обратной связи, подаваемого в блок А8 (провода 50, 53) из блока А6.

Режим стабилизации напряжения датчика стандартным выходным сигналом (ток 5, мА, напряжение – 10...15 В). Переключатель SA3 в положении 3. Величину напряжения задают потенциометром R1, подключенным к датчику стандартного напряжения (провода 53, 54).

Блок электронной защиты А6 предназначен для мгновенного прекращения тока в силовой сети, питающей анодный трансформатор TV1 и генераторный блок А4. Это достигается выключением тиристоров VD10... VD15 за счет снятия напряжения с импульсных трансформаторов TV10. В нормальном режиме к управляющему электроду тиристора VD16 (блок А6) приложены напряжения отрицательного смещения от TV6 и положительного смещения от выпрямителя VD40... VD45. Напряжения взаимокompенсируются. В случае аварийного режима токи в фазах сети (ТА1...ТА3) возрастут, напряжение положительного смещения превысит напряжение от TV1, тиристор VD16 откроется, закортит цепь стабилитрона VD17 (А8), снимет напряжение экранной сетки пентода VL2 и, тем самым, выключит усилитель постоянного тока (А8) и тиристоры VD10... VD15.

Анодный трансформатор повышает регулируемое сетевое напряжение до 2...7 кВ, необходимое для работы лампы, исключает кондуктивную связь между генератором и питающей сетью.

Наличие анодного выпрямителя обусловлено значительно луч-

шими режимами работы генераторной лампы на постоянном токе.

Высокочастотный блок генератора А4 (рис. 8.3) представляет собой одноконтурный автогенератор с емкостной обратной связью. Состоит из генераторной лампы VL1, колебательного контура (емкости C1...C4, трансформатор TV3, индуктор А5), цепи обратной сеточной связи (делитель из индуктивностей L4, L5 и емкостей C5, C6), сопротивления гридлика R6, катодного трансформатора TV2, блокировочных дросселей L1, L2, L3 и конденсаторов C11...C13, разделительного конденсатора C7.

При подаче от выпрямителя VD1... VD6 на генераторный блок напряжения постоянного тока в колебательном контуре автоматически возникает резонанс токов. Генерируемая частота определяется величиной емкости C и индуктивности L колебательного контура:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Энергию, расходуемую в колебательном контуре на нагрев изделия, токоподводящих шин и проводов, восполняют подзарядкой конденсаторов C1...C4 от источника питания. Частота подзарядки конденсаторов совпадает с частотой колебаний и направлением токов в резонансной цепи, момент подзарядки определяют запирающим и отпирающим генераторной лампы. Для этого на сетку лампы с конденсатора C6 подают напряжение обратной связи, изменявшееся в такт изменению напряжения на колебательном контуре, которое управляет лампой.

Индуктивность L1 и емкость C7 разделяют цепи постоянного и переменного токов. Индуктивности L2, L3 ограничивают, а конденсаторы C11, C12, C13 блокируют переменную составляющую анодной и сеточной цепей.

Настройка генератора необходима потому, что изменяются мощность и индуктивность колебательного контура при смене индуктора, изделия или режимов нагрева. При изменении индуктивности нагрузки колебательный контур настраивают подбором величины емкости перемычками Q1...Q3.

Ток сетки согласуют с анодным током напряжением обратной

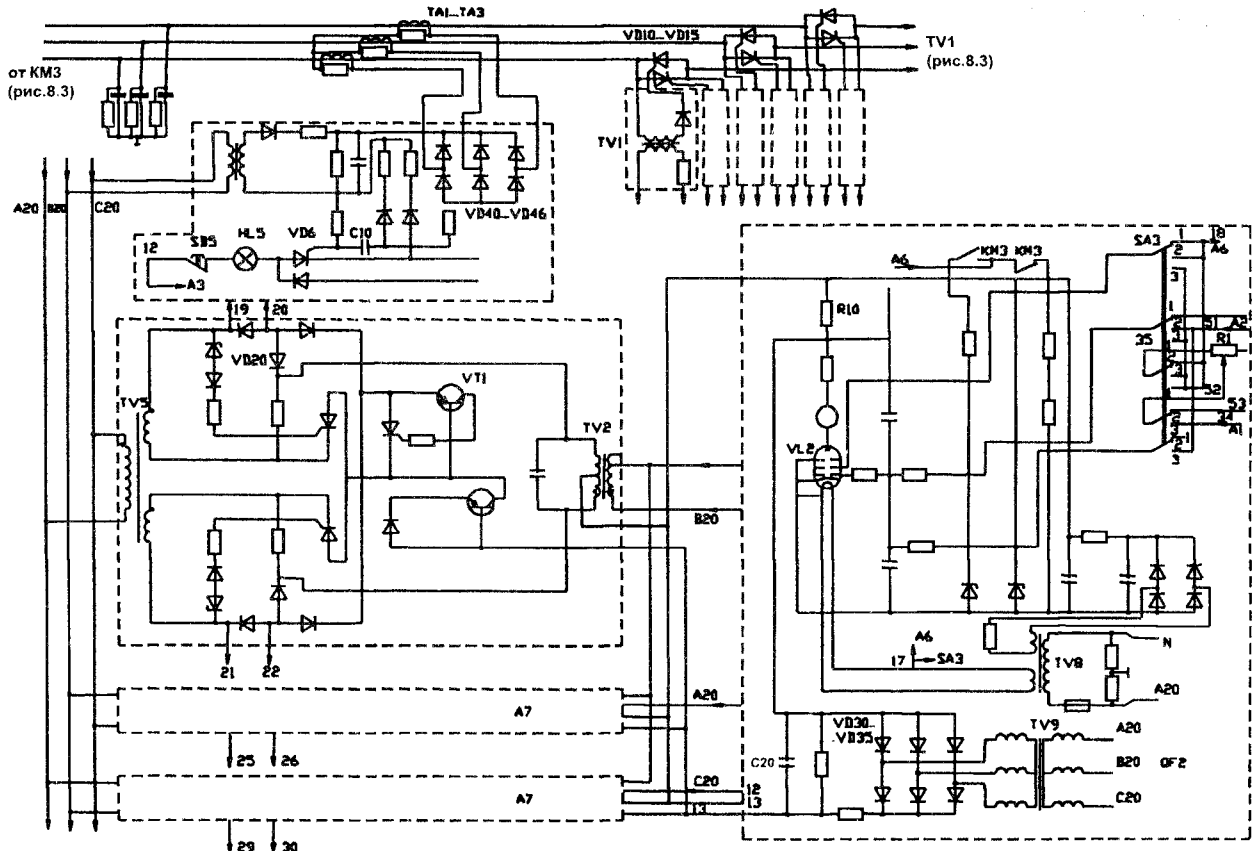


Рис. 8.4. Принципиальная электрическая схема блока А1(рис.8.3)

связи за счет перемещения L5 относительно L4 (тумблер SA2, электродвигатель M2, рис. 8.3). 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 (потенциометр R1, рис.7) и коэффициентом трансформации TV3 (провод от C7 в положении I или 2, рис. 8.3).

Методика выполнения работы

1. Оборудование индукционного нагрева (блок регулирования напряжения, анодный трансформатор, выпрямитель, генераторная лампа, разделительные емкость и индуктивность, высокочастотный трансформатор, индуктивности обратной связи, колебательный контур) изучить на генераторе ВЧИ4-10/0,44 и индукторах, представленных в работе. Характеристики лабораторного индуктора записать в таблицу (табл. 8.2).

8.2. Характеристика индуктора

Индуктирующий провод					Индуктор			
Материал	Форма	Сечение	Толщина стенки	Конструктивное исполнен.	К-во витков	Высота	Диаметр	
							Вн.	Нар.
		мм	мм		шт.	мм	мм	мм

2. Прочитать краткую инструкцию «Подготовка и работа на генераторе ВЧИ4-10/0,44». Согласно инструкции и схеме управления (рис. 8.3) включить генератор. Задатчиком «Регулятор напряжения» установить нужное анодное напряжение U_a и по приборам на лабораторном стенде определить напряжение U_1 и магнитный поток H индуктора, анодный I_a и сеточный I_c ток генератора. Результаты записать в табл. 8.3.

3. Заготовки одинаковых геометрических размеров из стали Ст.3 к меди М1 поочередно поместить в индуктор и нагреть при одинаковом

8.3. Зависимость напряжения магнитного потока и мощности ненагруженного индуктора от анодного напряжения

U_a	I_a	I_c	U_a	H	P_1
В	А	А	В	А м ⁻¹	Вт

напряжении и продолжительности. Продолжительность нагрева установить по реле времени КТ2 (рис. 8.3). 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 записать в табл. 8.4.

8.4. Влияние электрических свойств металла на глубину проникновения тока и поглощаемую мощность

Металл	ρ_2	μ_2 (рис.4)	C_2	Измерено					Вычислено		
				m_2	m_a	t_{a1}	t_{a2}	τ	z_{ax}	z_{az}	P_2
	Ом м		кг	кг	°С	°С	с	м	м	кВт	
Сталь	$1,8 \cdot 10^{-7}$	5...10	0,67								
Медь	0,18	1	0,42								

В табл. 8.4: m_2 – масса заготовки; m_a – масса воды в калориметре; t_{a1} , t_{a2} – температура воды в калориметре до и после погружения заготовки; τ – продолжительность нагрева; P_2 – мощность, поглощенная заготовкой; z_{ax} , z_{az} – глубина проникновения тока в холодном ($t < 700$ °С) и горячем ($t > 800$ °С) 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 самописцу. Установить на реле времени продолжительность нагрева. Включить самописец, протяжку ленты (1 мм/с), отметчик времени. Включить нагрев. После автоматического окончания нагрева заготовку сбросить в кало-

риметр. Данные записать согласно табл. 8.5.

Обработать записи на диаграмме самописца. Результаты записать в табл. 8.6.

По результатам табл. 8.5 и 8.6 определить методом калориметрирования мощность, поглощаемую изделием, скорость нагрева, средний теплоперепад, КПД и $\cos \varphi$. Результаты записать в табл. 8.7.

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

Измерено									
d_1	d_2	m_2	U_a	U_l	I_{ay}	τ	m_s	t_{s1}	t_{s2}
мм	мм	кг	В	В	А	с	кг	°С	°С

8.6. Кинетика индукционного нагрева заготовок различного диаметра

τ	$d_1 = \text{мм}$			$d_2 = \text{мм}$		
	t_0	t_u	Δt	t_0	t_u	Δt
с	°С	°С	°С	°С	°С	°С

В табл. 8.5, 8.6, 8.7: d_1, d_2 – диаметр индуктора (внутренний) и заготовки; t_0, t_u – 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 температура заготовки.

Глубина проникновения тока

$$z_a = 503 \sqrt{\rho_2 / \mu_2 f}.$$

8.7. Влияние зазора (a) между индуктором и изделием на характеристики индукционного нагрева

$a = \frac{d_1 d_2}{2}$	t_1	t_2	$\Delta t / \Delta \tau$	Δt_{cp}	P_2	η	$\cos \varphi$
мм	°С	°С	°С с ⁻¹	°С	Вт		

Значение ρ_2 взять из табл. 8.4. Величину μ_2 в холодном режиме определить по величине Н (табл. 8.3) на рис. 8.4, в горячем режиме $\mu_2 = 1$. Частота тока – 440 кГц.

Мощность индуктора $P_1 = U_a I_a / \eta_k$,

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

Мощность, поглощаемая заготовкой, методом калориметрирования:

$$P_2 = \frac{(m_1 C_1 + m_2 C_2)(t_{с2} - t_{с1})}{\tau},$$

где $C_в = 4,19$ кДж / (кг °С) – удельная теплоемкость воды.

Температурный перепад и средний температурный перепад:

$$\Delta t = t_0 = t_{с1};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2}.$$

Скорость нагрева:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{t_2 - t_1}{\tau}.$$

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

Коэффициент полезного действия определить приближенно по экспериментальным данным и по формуле (8.4):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{I_{acp} U_a \cos \phi},$$

где $I_{acp} = 1,25$, I_{ay} – средний анодный ток; P_1 – активная мощность, подводимая к индуктору.

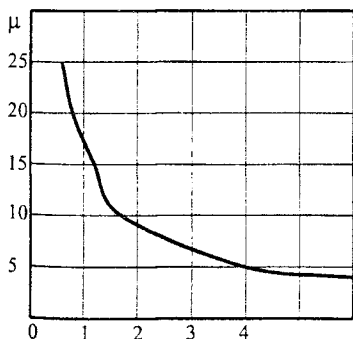


Рис. 8.5. Зависимость магнитной проницаемости сталей от напряженности магнитного поля

Содержание отчета

Эскиз цилиндрического индуктора. Таблицы с результатами измерений.

Графические зависимости: $U_1, H, P_1(U_a); t_0, t_y(\tau); P_2, \Delta t/\tau, \eta, \cos\varphi(a)$.
Выводы по работе.

Контрольные вопросы. 1. Назначение, классификация, конструктивное исполнение индукторов. 2. Основные характеристики системы индуктор-изделие. 3. Устройство лампового генератора ВЧИ4-10/0, 44. 4. Принцип работы генератора ВЧИ4-10/0, 44. 5. Настройка генератора ВЧИ4-10/0, 44 на оптимальный режим работы.

9. Установка диэлектрического нагрева ВЧД2-2,5/81

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрическую схему установки ВЧД2-2,5/81, определить энергетические параметры диэлектрического нагрева.

Задачи работы

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

Общие сведения

Диэлектрический нагрев является прямым бесконтактным нагревом не электропроводящих материалов в электрическом поле частотой от 5 до 300 МГц. В основе диэлектрического нагрева лежит поляризация вещества: электронная, ионная, дипольная, релаксационная и другие. Вследствие поляризации происходит знакопеременное с частотой поля смещение связанных зарядов. Кинетическая энергия смещения зарядов, запасенная в электрическом поле, передается элементарным структурам вещества диэлектрика, повышая интенсивность их теплового движения и в целом температуру. Удельная объемная

мощность, выделяемая в диэлектрике,

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

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

Произведение $\operatorname{tg} \delta$, отражающее электрофизические свойства диэлектрика, носит название фактора потерь. Из (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 повышения интенсивности высокочастотного нагрева диэлектриков является повышение частоты и, в конечном счете, переход к СВЧ нагреву.

Установка высокочастотная ВЧД2-2,5/81 предназначена для предварительного подогрева в электрическом поле высокой частоты таблетированных реактопластов в электротехнической, машиностроительной, химической и других отраслях промышленности, а также на предприятиях агропромышленности, ремонтных заводах и т.д.

Технические данные установки

1. Колебательная мощность, кВт	2,5
2. Мощность, потребляемая от сети, кВт	5,1
3. Частота рабочая, МГц	81
4. Номинальное напряжение питающей сети, В	380
5. Масса нагреваемых таблеток, кг	0,25...0,6
6. Время нагрева таблеток до температуры 110 °С, с	30...50
7. Ток анодный, А	0,7
8. Ток сеточный, А	0,2...0,3
9. Напряжение накала генераторной лампы, В	6
10. КПД, % не менее	50
11. Размеры рабочего конденсатора, мм	250 × 250
12. Расстояние между пластинами рабочего конденсатора, мм	20...50
13. Масса, кг	310

Установка (рис. 9.1) состоит из следующих основных частей: генератора лампового 1, камеры 2, шкафа с аппаратурой 3.

Генератор ламповый предназначен для преобразования постоянного высоковольтного (анодного) напряжения в напряжение высокой частоты.

Камера представляет собой замкнутую конструкцию, внутри которой размещается рабочий конденсатор и др. элементы. Внутри верх-

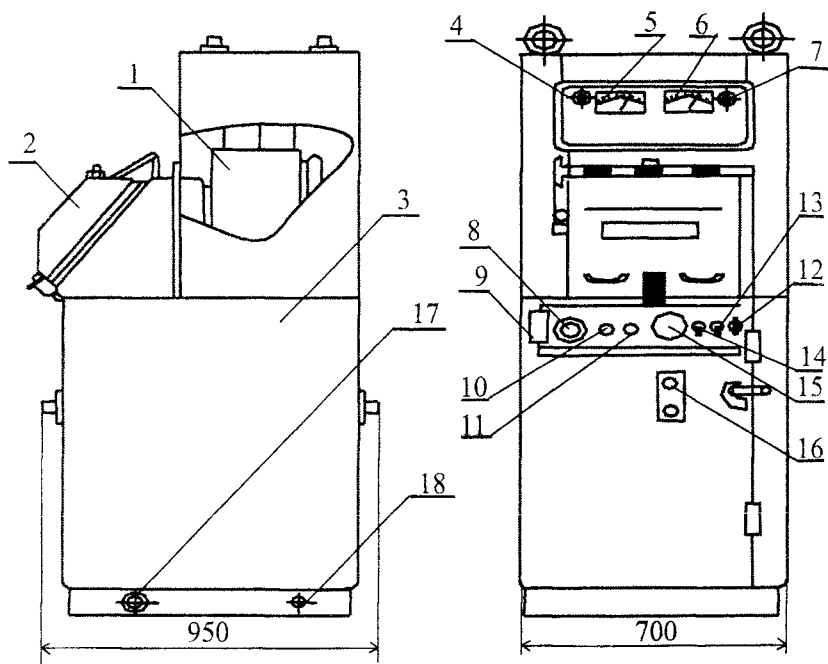


Рис. 9.1. Установка высокочастотная ВЧД2-2,5/81: 1—генератор ламповый; 2—камера; 3—шкаф с аппаратурой; 4—сигнальная лампа (накал HL2); 5—милливольтметр (A2); 6—амперметр (A1); 7—сигнальная лампа (нагрев PL3); 8—сигнальная лампа (готов к нагреву PL1); 9—выключатель автоматический (QF2); 10—кнопка (пуск, SB1); 11—кнопка (стоп, SB2); 12—резистор (R6); 13—переключатель (QF2); 14—тумблер (SA1); 15—реле времени (KT2); 16—выключатель (QF1); 17—подвод напряжения; 18—заземляющий болт

ней пластины рабочего конденсатора в целях предотвращения конденсации паров размещены нагреватели, поддерживавшие температуру пластины в пределах 85...95° С. Камера одновременно выполняет роль экрана, защищающего персонал от высокочастотных электромагнитных излучений. Принципиальная электрическая схема установки (рис. 9.2) включает следующие функциональные блоки: силовой блок, блок управления, выпрямитель, генераторный блок, систему стабилизации анодного тока, систему защиты, систему сигнализации.

Силовой блок включает автоматический выключатель QF1, рубильник QS, анодный трансформатор TV1. Блок управления содержит аппаратуру управления подогревом верхней пластины конденсатора, вентилятором, охлаждением генераторной лампы VL, накалом лампы, включения и отключения питания лампы, реле времени автоматического отключения нагрева и др.

Выпрямитель *UZ* собран из полупроводниковых силовых диодов по трехфазной двухполупериодной схеме. Он преобразует высокое напряжение анодного трансформатора в постоянное анодное напряжение, подаваемое на генераторную лампу. При помощи переключки напряжение можно изменять от 100 до 50 %.

Генератор ламповый состоит из лампы (*VL*), анодного колебательного контура (*C11, L2*), нагрузочного контура (*C15, L3*), сеточного контура (*C10, L1*), фильтров, разделительного конденсатора (*C12*), конденсаторов *C13, C14*. Принципиально – это генератор с общим анодом. Подробнее работа генератора описана ниже. Анодный ток замеряется амперметром *A1*, сеточный ток – миллиамперметром *A2*.

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.

Система защиты включает следующие ее виды: от длительной перегрузки и короткого замыкания выключатели *QF1, QF2*(рис.9.1 поз. 9,16); от перегрузки анодного тока (реле *KA*), от перегрузки элект-

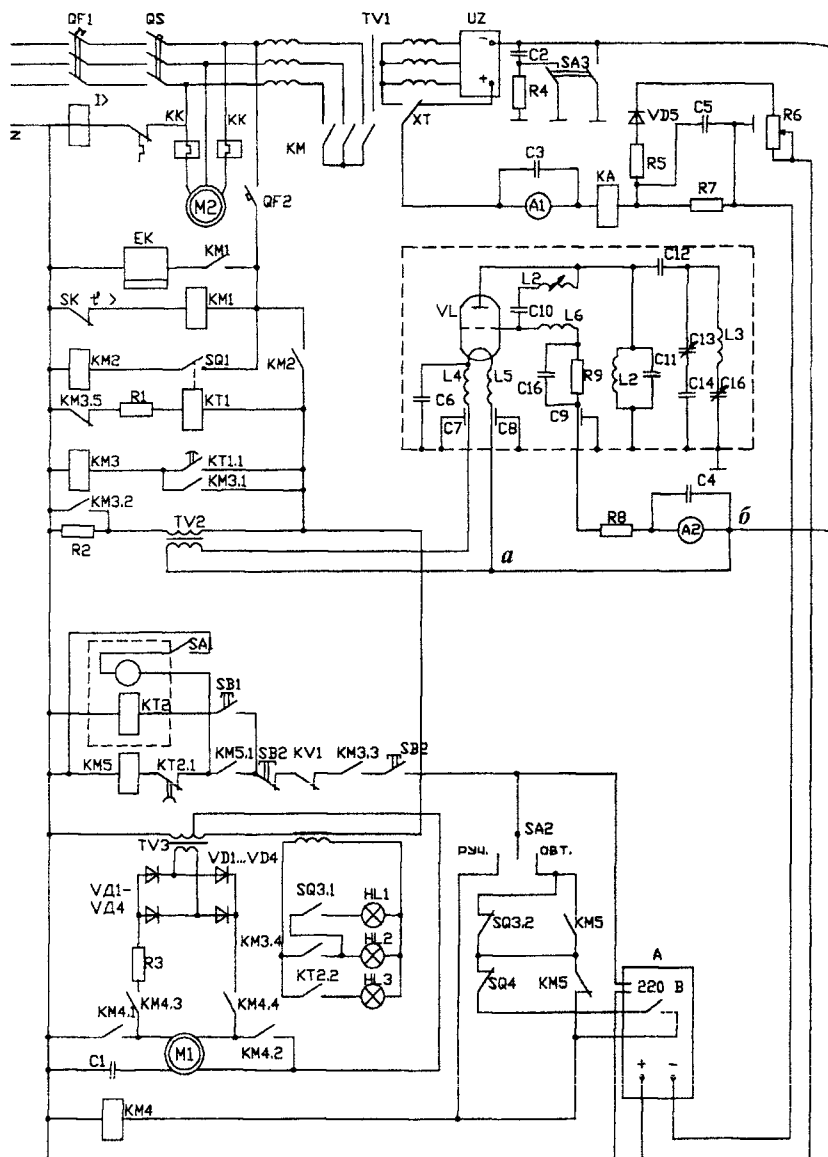


Рис.9.2 Принципиальная электрическая схема установки ВЧД-2,5/81

тродвигателя М2 (тепловые 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.

Ламповый генератор является преобразователем электрической энергии сетевых параметров (220/380 В, 50 Гц) в энергию высокой частоты, высокого напряжения, на которые рассчитан рабочий конденсатор. С помощью ламповых генераторов получают частоты до 100 МГц, единичная их мощность может составлять от сотен Вт до сотен кВт. Генераторы для высокочастотного нагрева выпускают одно- или двухконтурными и, как правило, с самовозбуждением (автогенераторы).

Рассмотрим принцип возникновения и поддержания колебаний в нагрузочном колебательном контуре установки, элементом которого является рабочий конденсатор (рис. 9.3), где воспроизведен генераторный блок со схемы (рис. 9.2).

Генераторная лампа VL служит нагрузкой источника питания-выпрямителя UZ и, в свою очередь, источником питания анодного колебательного контура $C11-L2$, подпитывая его импульсами энергии с частотой, равной собственной частоте контура. Энергия, поступающая в анодный колебательный контур, преобразуется в синусоидальные колебания. Собственная, или резонансная частота колебательного контура при пренебрежении его активным сопротивлением, определяется формулой:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (9.2)$$

Рассмотрим (упрощенно) процесс возникновения и поддержания незатухающих колебаний в анодном контуре $C11-L2$. Нагрузочный контур $L3-C15$ связан с анодным через конденсатор $C12$ (емкостная связь). Благодаря этой связи, колебания, возбуждаемые в анодном контуре, передаются нагрузочному контуру с той же частотой (собственные частоты обоих контуров равны).

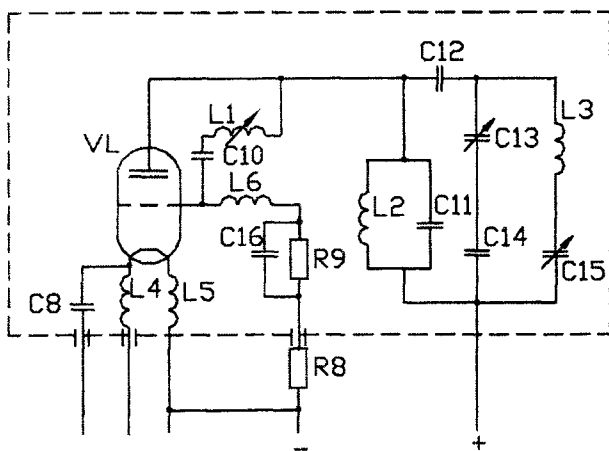


Рис. 9.3. Принципиальная электрическая схема генераторного блока установки ВЧД2-2,5/81

При включении питания постоянный ток от «плюса» выпрямителя UZ (рис. 9.2) протекает по цепи; амперметр $A1$ – реле KA – резистор $R7$ – корпус – индуктивность $L2$ анодного колебательного контура – анод VL – катод VL – индуктивность $L5$ в цепи катода –

точка. «а» – точка «б» – «минус» выпрямителя. При этом в анодном контуре возникают слабые колебания собственной частоты, которые всегда имеют место в переходные режимы во всяком контуре в результате электрических флуктуаций. Эти колебания воспринимаются устройством обратной сеточной связи в виде сеточного колебательного контура $C10-L1$, включенного между анодом и сеткой. Сеточный контур имеет собственную частоту, равную частоте анодного контура, и с этой частотой воздействует на сеточную цепь. Колебания анодного и сеточного контуров совпадают по фазам – в этом условии функционирования положительной обратной связи, обеспечивающей нарастание и затем (после наступления установившегося режима) поддержание незатухающих колебаний в анодном контуре. Одновременно с переменным потенциалом от сеточного контура на сетку подается постоянно отрицательное смещение, создаваемое постоянной составляющей сеточного тока на сопротивлении гридлика $R9$. Постоянная составляющая сеточного тока протекает по цепи: сетка – катод – точка «а» – точка «б» – миллиамперметр $A2$ – сопротивление гридлика $R9$ – индуктивность $L6$ – сетка, так что на конце гридлика $R9$, соединенного с сеткой, создается отрицательный потенциал. Пе-

ременная (высококачественная) составляющая сеточного тока протекает по цепи: сетка - катод - конденсатор С6 - корпус - анодный контур (С11-Л2)— сеточный контур (С10-Л1) - сетка. Результирующий потенциал сетки имеет форму периодических импульсов с частотой ω_0 .

Чтобы электрические колебания в колебательном контуре были незатухающими, необходимо в течение каждого периода вводить в контур столько энергии, сколько теряется на его активном сопротивлении R за время одного периода колебаний. Эта энергия вводится от источника питания UZ каждый раз, когда лампа отпирается, т.е. когда потенциал на управляющей сетке становится меньше запирающего потенциала. Открытие лампы происходит в течение некоторой доли каждого периода, определяемой «углом отсечки» ($70...80^\circ$), поэтому ток через лампу протекает в виде кратковременных импульсов с частотой следования ω_0 . Разложив функцию анодного тока в ряд Фурье, получим постоянную составляющую, замыкающуюся через лампу на источник питания UZ по цепи, приведенной выше, и переменную (высококачественную) составляющую (первую гармонику ряда, представляющую собой собственную частоту контура, остальные гармоники отфильтровываются контуром). Высококачественная составляющая анодного тока замыкается на лампу и колебательные контуры, протекая по цепи: анод — катод — конденсатор С6 — корпус — анодный и нагрузочный контуры — анод.

Процесс колебаний в анодном контуре протекает следующим образом. Импульсы анодного тока заряжают конденсатор С11, который (после прекращения импульса анодного тока) начинает разряжаться через катушку индуктивности Л2. Ток разряда конденсатора, протекая через катушку Л2, создает магнитное поле, энергия которого ω_L достигает максимума в момент времени, когда ток через катушку достигает наибольшего значения I_m :

$$W_L = \frac{1}{2} LI_m^2. \quad (9.3)$$

Напряжение на конденсаторе С11 при этом уменьшается до нуля, поэтому ток катушки Л2 начинает уменьшаться, а магнитное

поле, убывая по величине, вызывает ЭДС самоиндукции

$$e_L = L \frac{di}{dt}, \quad (9.4)$$

которая стремится сохранить ток неизменным. ЭДС самоиндукции заряжает конденсатор С11 до напряжения U , при котором энергия электрического поля конденсатора будет равна

$$W_c = \frac{1}{2} CU_m^2. \quad (9.5)$$

Таким образом, между катушкой L2 и конденсатором С11 происходит колебательный обмен энергией. С момента включения генератора под напряжение амплитуда колебаний, быстро нарастая, достигает установившегося значения, определяемого кривой насыщения анодно-сеточной характеристики лампы. Как отмечалось выше, одновременно с анодным контуром через емкостную связь С12 возбуждаются и поддерживаются незатухающие колебания и в нагрузочном контуре.

Для подготовки установки к включению следует убедиться в наличии защитных экранов генераторного блока, исправности блокировочных устройств. Подачу напряжения на схему управления осуществляют включением автоматического выключателя QF1 при включенном блокировочном рубильнике QS. Одновременно запитывается электрический двигатель M2 привода вентилятора охлаждения.

При включении автоматического выключателя QF2 срабатывает электромагнитный пускатель KM1 и включает нагреватели EK подогрева верхней пластины рабочего конденсатора. При наличии воздушного потока, создаваемого вентилятором, замыкается контакт реле потока SR1, срабатывает пускатель KM2 и через резистор R2 от трансформатора TV2 на лампу подается напряжение 1-й ступени накала катода. Одновременно получают питание реле времени KT1 и трансформатор TV3. Примерно через 30 с с помощью контакта реле времени KT1.1 включается пускатель KM3, контактом KM3.3 шунтирует пусковой резистор R2 и на лампу VL подается вторая ступень накала, загорается лампа HL2 "Накал". Для включения нагрева нажимают кнопку В1 (рис. 9.1, поз.10), при этом получает питание пускатель

КМ6 и замыкает силовые контакты КМ6, включая анодный трансформатор, загорается сигнальная лампа HL3 “Нагрев” (рис. 9.1, поз. 7).

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, SQ3.2 открыт). При превышении анодного тока выше заданного резистором R6 срабатывает блок сигнализации и регулирования А, замыкает свой замыкающий контакт, срабатывает пускатель КМ4 и включает 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 HL1 “Готов к нагреву».

Устройство А представляет собой двухпозиционный регулятор на полупроводниках. На вход его подается напряжение (около 15 В), снимаемое с резистора R7, через который протекает анодный ток. Выход релейный (замыкающий контакт, показанный пунктиром), питается от сети 220 В.

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 анодного тока.

Методика выполнения работы

1. Пункты 1 и 2 «Задач работы» выполняют при подготовке к лабораторной работе, используя рекомендованную литературу, настоящие методические указания, конспект лекций.

2. После проверки руководителем занятий знания устройства, принципа действия и правил обслуживания, с его разрешения включить установку под напряжение и прогреть на холостом ходу в течение не менее 5 минут и выключить.

3. Работу установки изучают на примере нагрева деревянных брусков с целью их сушки. Для этого необходимо:

- бруски предварительно увлажнить, лишнюю влагу снять;
- измерить (путем взвешивания) начальную массу образца m_1 и его температуру t_1 ;
- поместить образец в рабочий конденсатор, закрыть камеру, поставить переключатель SA2 в положение «Авт» и с разрешения преподавателя кнопкой SB1 «Нагрев» подать напряжение на генератор.

4. В процессе нагрева (сушки) через каждые 20 с, начиная с момента включения, измерять и заносить в табл. 9.1 указанные в ней величины. Нагрев производить в течение 4...5 минут. После оконча-

9.1. Нагрев образца N1 со стабилизацией анодного тока

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

ния нагрева, не извлекая образцы из камеры, измерить и записать в табл. 9.2 температуру t_2 внутри образца и на его поверхности $t_{2п}$, а также температуру t_k нижней пластины конденсатора. Извлечь образец, взвесить и занести в таблицу массу высушенного образца.

Повторить опыт с образцом N2 в режиме нагрева без стабилиза-

9.2. Результаты измерений и вычислений (образец N 1)

Измерено							Вычислено									
τ	m_1	m_2	t_1	t_2	$t_{2п}$	t_k	Δw	$P_{поп}$	$P_{нагр}$	I	η	$\cos \varphi$	η_T	P_v	E_M	a
с	кг	кг	°C	°C	°C	°C	кг	Вт	Вт	Вт	-	-	-	Вт/м ³	В/м	кВт ч/кг

ции анодного тока. Результаты представить в табл. 9.3 и 9.4, аналогичных табл. 9.1 и 9.2.

В табл 9.1: τ – время от начала опыта, с; U – напряжение питания, В; I , $P_{потр.}$ – ток и мощность, потребляемая из сети, А, Вт; I_a – анодный ток, А.

В табл. 9.2: τ – продолжительность нагрева (сушки) с; m_1 и m_2 – масса влажного и высушенного образца, кг; t_1 и t_2 – начальная и конечная температура образца, °C; $t_{2п}$ – температура поверхности образца в конце нагрева, °C; t_k – температура нижней пластины конденсатора, °C; Δw – количество удаленной влаги, кг; $P_{пол}$ – полезная мощность, израсходованная на нагрев образца и испарение влаги, Вт; $P_{потр.}$, I – средние за период нагрева значения потребляемой мощности и тока:

$$P_{потр} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} P_{потр}(\tau) d\tau \quad I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} I(\tau) d\tau ;$$

$P_{потр.}$, I – определяют путем графического интегрирования кривых $P_{потр}(\tau)$, $I(\tau)$, η , $\cos \varphi$ – полный КПД и $\cos \varphi$ установки; η_T – тепловой КПД рабочего конденсатора; P_v – удельная объемная мощность, выделяемая в древесине, Вт/м³; E_M – напряженность электрического поля в древесине, В/м; a – удельный расход электроэнергии на испарение влаги кВт ч/кг влаги.

Расчетные зависимости.

$$\Delta w = m_1 - m_2,$$

$$P_{пол} = \frac{\Delta w [C_B(t_2 - t_1) + q] + m_2 C_M(t_2 - t_1)}{\tau}, \quad (9.6)$$

где C_B – удельная теплоемкость воды (4190 Дж/(кг·°С)); C_D – удельная теплоемкость древесины (1760 Дж/(кг·°С)); q – удельная теплота испарения воды ($2,96 \cdot 10^6$ Дж/кг).

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{исп}}}, \quad \cos \varphi = \frac{P_{\text{пол}}}{UI}, \quad \eta_T = \frac{P_{\text{пол}}}{P_V V}, \quad (9.7)$$

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

$$E_M = \frac{U}{d_M + \varepsilon d_B}, \quad (9.8)$$

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

Сумма

$$d = d_M + d_B$$

представляет собой расстояние между обкладками конденсатора ($50 \cdot 10^{-3}$ м).

По результатам опытов (табл. 9.1 и 9.2) построить зависимости $I, P_{\text{потр}}, I_a$ от τ для образцов N1 и N2.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, таблицы измерений и вычислений, графические зависимости, выводы по работе.

Контрольные вопросы 1. Физическая природа нагрева диэлектриков в высокочастотном электрическом поле. 2. Принцип работы лампового автогенератора. 3. Принципиальная электрическая схема установки ВЧД2-2,5/81. 4. Факторы, определяющие мощность, выделяющуюся в диэлектрике. 5. Особенности эксплуатации установок диэлектрического нагрева.

10. Бытовые электротермические приборы

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы, энергетические характеристики некоторых бытовых приборов.

Задачи работы

1. Изучить устройство, принцип действия бытовых электротехнических приборов, представленных в лаборатории.
2. Изучить способы регулирования мощности и электрическую схему электроплиты “Электра-1002”.
3. Исследовать кинематику нагрева, определить энергетические показатели конфорки плиты “Электра-1002”.

Общие сведения

Бытовые электротехнические приборы разделены на группы: приготовления пищи, нагрева воды, дополнительного обогрева жилых помещений, нагревательный инструмент, приборы для глажения, приборы личной гигиены. В свою очередь приборы пищевого назначения делят на пять больших групп: напольные электроплиты, настольные электроплиты, настольные электроплитки, жарочные шкафы и специальные приборы.

Электроплиты классифицируют по способу установки (напольные, блокируемые с кухонным оборудованием) и типу электроконфорки (Ч – чугунная, Т – трубчатый нагреватель и П – пирокерамический). Электроплиты включают в сеть трехфазного переменного тока 380/220 В, их установленная мощность до 8,5 кВт (рис. 10.1).

Настольные электроплитки по конструктивному исполнению делят на одно- и двухконфорочные. Одноконфорочные плитки выпускают на номинальную мощность 0,8; 1,0; 1,2 и 1,5 кВт, двухконфорочные – 1,6; 2,0; 2,2 кВт. Электроплитки, так же как и электроплиты, в качестве электронагревателей имеют конфорки: чугунные трубчатые, пирокерамические (рис. 10.2, 10.3).

Наиболее широкое распространение нашли литые чугунные конфорки, которые имеют два или три спиральных паза, в которые укла-

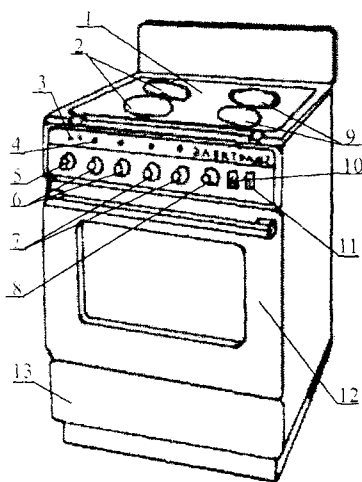


Рис.10.1. Общий вид электроплиты : 1 – рабочий стол; 2 – трубчатые электроконфорки; 3 – сигнальная лампа температуры; 4 – сигнальные лампы включения нагревателей; 5 – ручка трехпозиционного переключателя жаровочного шкафа; 6 – ручки бесступенчатых переключателей; 7 – ручки ступенчатых переключателей; 8 – ручка трехпозиционного блокирующего переключателя; 9 – чугунные электроконфорки; 10 – розетка; 11 – трехпозиционный клавишный переключатель; 12 – дверка жаровочного шкафа; 13 – вспомогательный шкафчик

дывают наполнитель на основе талька либо периклаза и нагревательные элементы из сплава марки Х20Н80-Н. Высота корпуса конфорки 17 ... 23 мм, толщина рабочей поверхности 2,5 ... 3 мм.

Трубчатые конфорки выполняют из одного, двух или трех трубчатых нагревательных элементов, согнутых в виде одного или нескольких спиралей Архимеда. Для улучшения контакта посуды с ТЭНом рабочая поверхность его выполнена плоской. Установка отражателя под ТЭН, изготовленного из нержавеющей стали, позволяет повысить КПД. В конфорках используют либо односпиральные двухконцевые ТЭНы диаметров 7 ... 9 мм, либо двухспиральные одноконцевые 14 ... 16 мм. Конфорка, изготовленная из одного ТЭНа, позволяет сделать ТЭН съем-

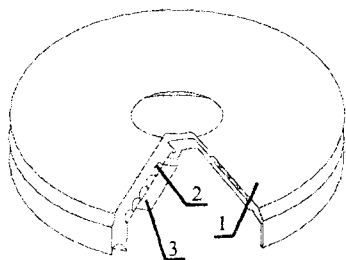


Рис.10.2. Чугунная конфорка

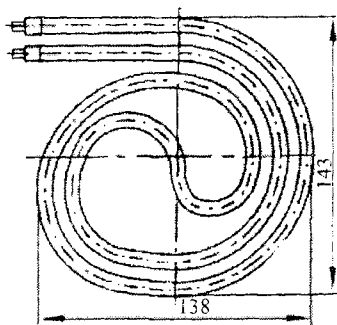


Рис. 10.3. Трубчатая конфорка из одного двухконцевого ТЭНа

ным или откидываемым на угол 90° , что значительно облегчает очистку отражателя при эксплуатации.

Регулирование мощности чугунных конфорок осуществляют семипозиционными переключателями или полупроводниковыми терморегуляторами (рис. 10.4). Позиционный переключатель позволяет изменять схемы включения спиралей (табл. 10.1). Первичным преобразователем температуры полупроводникового терморегулятора служит термопара хромель-алюмель. ТермоЭДС поступает на умножитель постоянного тока, выполненный на интегральной схеме. Резисторы $R1 \dots R5$, конденсаторы $C1, C2$ обеспечивают нужный режим усилителя. Релейный элемент $VT1$ обеспечивает двухпозиционный режим регулирования и управляет работой релаксационного генератора на базе двухбазового диода $VT2$, конденсатора $C3$, резисторов $R7, R8$ и первичную обмотку разделительного трансформатора TV . Температуру конфорки задают с помощью потенциометра $R4$. При температуре меньше заданной, напряжение, снимаемое с усилителя, обеспечивает закрытое состояние транзисторного ключа VT , и генератор вырабатывает импульсы, которые открывают синистор VS , и подается напряжение на EK . При достижении заданной температуры шунтируется зарядный конденсатор $C3$, генератор прекращает подачу. Диапазоны регулирования температуры $90 \dots 600^\circ C$.

Регулирование мощности трубчатых конфорок осуществляют бесступенчатым регулятором мощности, позволяющим менять потреб-

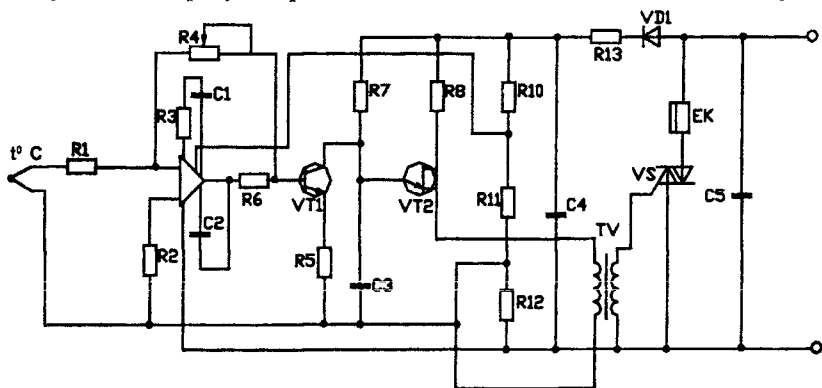


Рис. 10.4. Регулятор температуры конфорок электроплиты

10.1. Мощности спиралей чугунных конфорок и схема их включения при семиступенчатом регулировании

Параметры конфорок		Схемы включения нагревательных спиралей						
								
Диаметр, мм	Номинальная мощность, Вт	Мощность при различных положениях регулятора, Вт						
		6	5	4	3	2	1	0
145	1000	1000	750	500	250	165	100	0
	1500	1500	750	500	250	165	135	0
220	1800	1800	1350	900	450	300	180	0
	2000	2000	1500	1000	550	330	200	0

ляемую мощность от 6 до 100 % за счет изменения продолжительности в цикле регулирования. В большинстве случаев они представляют собой систему из двух биметаллических пластин. Одна из них служит для компенсации температуры окружающей среды, вторая рабочая – имеет собственный нагревательный элемент, подключаемый последовательно или параллельно нагревателю конфорки. Имея мощность несколько ватт, он нагревает биметаллическую пластинку, которая изгибаясь, размыкает цепь питания конфорки и свою собственную. Остывая, пластина возвращается в исходное положение, и цикл повторяется вновь.

Экономичность электроплит и электроплиток в эксплуатации определяется типом конфорки, способом регулирования мощности и условиями эксплуатации. Наибольший КПД, равный 75%, имеют трубчатые электроконфорки. При этом время разогрева их до температуры 450 °С не превышает 4 мин. Применение бесступенчатого регулятора мощности позволяет экономить 10 ... 12 % энергии. Загрязнение отражателя трубчатых конфорок ведет к снижению КПД на 3 ... 5 %.

К специальным приборам для приготовления пищи относятся: шашлычницы, тостеры, грили, сковороды, вафельницы, кастрюли и др. Нагрев продукта с помощью инфракрасного (ИК) излучения применяют в шашлычницах тостерах и грилях. Использование ИК-на-

гревателей позволяет уменьшить длительность тепловой обработки для мяса на 40 – 50%, а для рыбы на 30%. При этом биологическая ценность продукта не ухудшается. Сокращение времени обработки происходит за счет того, что энергия, сообщаемая продукту излучением, выделяется в виде теплоты не только в поверхностном слое продукта, но и внутри его. В качестве ИК - излучателей применяют либо кварцевые лампы, либо ТЭНы.

Приборы электронагрева воды разделяют на три основные группы: проточные и емкостные – аккумуляционные электроводонагреватели, переносные приборы для нагрева и кипячения небольших количеств воды. Конструкция бытовых электроводонагревателей аналогична конструкции промышленных элементных водонагревателей. Для получения небольшого количества воды широкое распространение получили переносные приборы: электросамовары, электрочайники, электрокофеварки, погружные кипяtilьники и др. емкость таких приборов 1 ... 3 литра, мощность – 0,3 ... 2 кВт. Благодаря относительно большой мощности и высокому КПД (не менее 30%) использование этих приборов удобно и экономично. Конструкция приборов принципиально отличается лишь внешним видом.

Дополнительный обогрев помещений осуществляют электрокаминами и комбинированными приборами. По способу теплоотдачи электронагревательные приборы различают: с преимущественно свободной или вынужденной конвекцией и излучением. Преобладание конвекции или излучения в тепловом балансе определяет вид, конструкцию отопительного прибора и его назначение. Электрокамины и ИК - обогреватели отдают теплоту в отапливаемое помещение преимущественно излучением. Электроконвекторы – естественной конвекцией, электротепловентиляторы – принудительной конвекцией.

Электроконвекторы классифицируют по исполнению (напольные, настенные), конструкции нагревательного элемента (открытые, закрытые), системе регулирования мощности (со ступенчатым или бесступенчатым регулированием с термоограничителем или терморегулятором). Электрокамины мощностью выше 0,75 кВт имеют не менее 2 ступеней регулирования.

Электроконвекторы имеют небольшую массу из-за отсутствия

промежуточного теплоносителя. Они состоят из полого металлического корпуса, открытого сверху и снизу. В нижней части корпуса расположен нагревательный элемент, при нагреве которого происходит естественная конвекция – нагретый воздух поднимается вверх, его место занимает холодный и так далее.

Электрорадиаторы бывают панельные и секционные. Панельные приборы состоят из металлического корпуса, в нижней части которого располагается трубчатый нагревательный элемент. Корпус залит теплоносителем – минеральным маслом. Секционные приборы имеют более развитую поверхность, чем напольные. Предусмотрены приборы с автоматическим регулятором температуры воздуха (РМА), с регулятором мощности (РМБ), с переключателем мощности (РМС) и термоограничителем (РМТ). Все типы электрорадиаторов автоматически отключаются термоограничителем или регулятором мощности при температуре поверхности, превышающий ее максимальное эксплуатационное значение.

Комбинированные приборы, сочетающие в себе элементы радиаторов, конвекторов и каминов, изготавливают напольного исполнения.

Для глажения и личной гигиены применяют электронагревательные приборы: утюги, электросушилки, фены, грелки. В качестве нагревателя используют ТЭН или спираль из нихрома.

Методика выполнения работы

1. Устройство, принцип действия, схемы управления электроплиты “Электра-1002” изучить на представленных образцах; приборы нагрева воды, дополнительного обогрева жилых помещений, глажения и личной гигиены, нагревательный инструмент – по плакатам и литературе. Уяснить местоположение, назначение, действие аппаратов электрической схемы управления бытовыми электроприборами.

2. Наполнить емкость водой, поставить на трубчатую электроконфорку. Включить конфорку. Измерить по показаниям приборов температуру трубки ТЭНа. Результаты записать в табл. 10.2.

В табл. 10.2: τ – продолжительность нагрева; t – температура воды; t_n – температура трубки ТЭНа; P – потребляемая мощность;

10.2. Изменение температуры трубчатой электроконфорки

Параметры	Режим разогрева								Режим автоматического регулирования				
	0	10	20	30	60	120	180	240	$\tau_{\text{откл}}$	$\tau_{\text{вкл}}$...
$t, ^\circ\text{C}$													
$t_n, ^\circ\text{C}$													
$P, \text{Вт}$													
$K, \text{Вт}/(\text{М}^2\text{C})$													

K – коэффициент теплоотдачи от ТЭНа к емкости с водой.

3. Наполнить емкость водой. Поставить ее на чугунную конфорку диаметром 145 мм и включить на максимальную мощность. Показания приборов записать в табл. 10.3. Аналогичные исследования произвести и для чугунной конфорки диаметром 220 мм. По результатам исследований сделать выводы о быстроте действия и экономичности конфорок.

10.3. Энергетические характеристики чугунных конфорок электроплиты “Электра -1002”

Измерено					Вычислено		
τ	t_1	t_2	P	m	η	q	$\Delta t/\tau$
с	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	Вт	кг		Дж/кг $^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}/\text{с}$

В табл. 10.3. t_1 и t_2 – начальная и конечная температура воды; η – КПД конфорки; q – удельный расход энергии на нагревание воды; $\Delta t/\tau$ – скорость нагрева воды; ; m – масса воды в емкости; τ – время нагрева воды.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{mC(t_2 - t_1)}{p\tau},$$

где $C = 4190$ Дж/(кг °С) – удельная теплоемкость воды.

Удельный расход энергии

$$q = \frac{P\tau}{m(t_2 - t_1)}.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$K = \frac{P}{(t_H - t)A},$$

где $A = 0,31$ м² – площадь теплоотдающей поверхности нагревателя.

Скорость нагрева

$$\Delta t / \tau = \frac{t_2 - t_1}{\tau}.$$

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Схема регулирования мощности конфорок электроплиты “Электра-1002”. Таблицы с результатами измерений и расчетов. Графические зависимости t , t_H , P , $K(\tau)$. Выводы.

Контрольные вопросы. 1. Устройство и принцип действия бытовых электроприборов. 2. Принципы и схемы регулирования мощности приборов. 3. Основные правила эксплуатации бытовых электротермических приборов. 4. Основные факторы, влияющие на надежность и КПД приборов для приготовления пищи и нагрева воды.

11. Термоэлектрический холодильник ХАТЭ-24

Цель работы

Изучить принцип термоэлектрического нагрева и охлаждения на примере термоэлектрического холодильника ХАТЭ-24, получить основные его энергетические характеристики.

Задачи работы

1. Уяснить физические закономерности, лежащие в основе термоэлектрического нагрева и охлаждения.
2. Изучить устройство и принцип действия термоэлектрического трансформатора теплоты холодильника ХАТЭ-24.
3. Определить энергетические характеристики холодильника при различной силе тока, проходящего через термобатарей.

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, которые могут быть компрессионными (механическими), адсорбционными (термохимическими) и полупроводниковыми (термоэлектрическими).

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

В соответствии со 2-м законом термодинамики перенос (передача) теплоты от среды с меньшей температурой к среде с более высокой температурой возможен лишь при затрате внешней энергии. Чаще всего для этого используют электрическую энергию. Перенос тепло-

ты осуществляется с помощью промежуточных энергоносителей. В компрессионных и адсорбционных ТТ в качестве промежуточных энергоносителей используют низкокипящие жидкости: NH_2 (температура кипения – $33,4^\circ\text{C}$), фреон-12 CF_2Cl_2 (температура кипения – $29,8^\circ\text{C}$), фреон-22 и другие.

Термоэлектрический ТТ представляет собой термоэлектрическую батарею (рис.11.1) из последовательно соединенных термоэлементов 1, каждый из которых состоит из двух ветвей, изготовленных из полупроводниковых материалов. Одна ветвь обладает электронной (n), а вторая дырочной (p) проводимостью. Ветви соединены при помощи коммутационных пластин 2. Места соединения пластин называют спаями. Для повышения поверхности теплообмена с охлаждаемой и нагреваемой средами спая снабжают радиаторами 5.

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

$$Q_n = \Pi I \tau = (\alpha_1 - \alpha_2) \Pi I \tau, \quad (11.1)$$

где $\Pi = (\alpha_1 - \alpha_2) \tau$ – коэффициент Пельтье, В; α_1, α_2 – коэффициенты

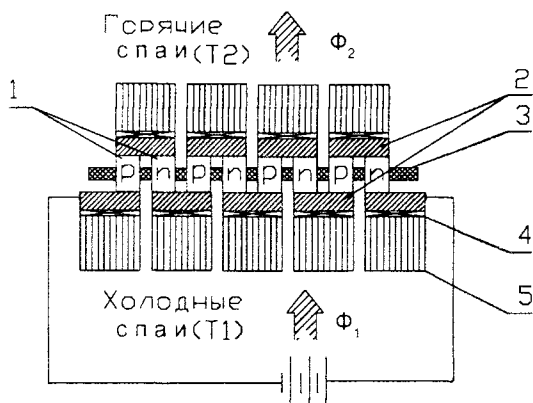


Рис.11.1. Схема термоэлектрической батареи: 1 – ветви термоэлемента; 2 – коммутационные пластины; 3 – теплоизоляционная перегородка; 4 – электрическая изоляция; 5 – радиатор

термо-ЭДС ветвей термоэлемента, В/К; T – температура спая, К; τ – время протекания тока, с.

В основе физической природы теплоты Пельтье лежит возникновение в месте контакта разнородных полупроводников контактной разности потенциалов $\Delta\varphi$, направленной так, что при движении электронов от п-полупроводника к р-полупроводнику скорость их и, следовательно, энергия снижаются – спай (контакт) охлаждается (холодный спай). При обратном направлении скорость движения электронов под действием $\Delta\varphi$ возрастает, энергия повышается – спай нагревается (горячий спай).

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 реки, 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 этом 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:

$$Q_D = I^2 R \tau. \quad (11.2)$$

Физическая природа теплоты Пельтье и Джоуля различна, различна и их зависимость от тока: теплота Джоуля пропорциональна

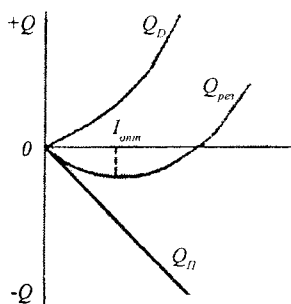


Рис. 11.2. Зависимость теплоты Пельтье ($Q_{\text{П}}$), теплоты Джоуля (Q_D) и результирующего значения ($Q_{\text{рез}}$) от величины тока в термоэлементах

току во 2-й степени (11.2), а теплота Пельтье – току в 1-й степени (11.1).

Построив на одном графике зависимости $Q_{\text{П}} = f(I)$ и $Q_D = \varphi(I)$ и алгеб-

11.1. Режимы работы и соответствующие им энергетические параметры трансформаторов теплоты

Режим работы	Оборудование	Энергетические параметры, характеризующие работу трансформатора теплоты
Охлаждение (получение холода)	Холодильные машины (холодильники)	<p>Холодильный коэффициент</p> $\varepsilon = \frac{q}{w} \quad (11.3)$ <p>Глубина охлаждения среды</p> $\Delta T = T_1 - T_2$ <p>q – количество теплоты, отбираемое от охлаждаемой среды за один цикл работы, w – энергия, затраченная трансформатором теплоты за один цикл работы</p>
Нагрев (получение теплоты)	Тепловые насосы	<p>Отопительный коэффициент</p> $\varphi = \frac{q + w}{w} = 1 + \varepsilon \quad (11.4)$
Охлаждение и нагрев (получение холода и теплоты)	Тепловые насосы, работающие по совмещенному циклу	<p>Коэффициент преобразования энергии</p> $\psi = \varepsilon + \varphi = 1 + 2\varepsilon \quad (11.5)$

Значение ε находится в пределах 2,5...3, а ψ – 3...4 и более в зависимости от вида ТТ и режимов работы.

раически сложив координаты, получим результирующую кривую $Q_{\text{рез}} = \psi(I)$ (рис. 11.2), которая характеризует тепловой баланс холодного спая при различных значениях тока I . Из рис. 11.2 видно, что максимальное понижение температуры холодного спая имеет место

при определенном значении тока. Дальнейшее увеличение тока приводит к превалированию теплоты Джоуля над теплотой Пельтье, в результате чего температура холодного спая начинает повышаться.

Энергетическую эффективность трансформаторов теплоты характеризуют энергетическими параметрами, зависящими от режимов их работы (табл. 11.1).

Настоящая работа посвящена изучению и исследованию термоэлектрического трансформатора теплоты, которым оборудован автомобильный термоэлектрический холодильник ХАТЭ-24, предназначенный для кратковременного хранения пищевых продуктов и напитков.

Техническая характеристика ХАТЭ-24

1. Напряжение питания, В	24
2. Род тока – постоянный	
3. Потребляемая мощность, Вт, не более	170
4. Перепад температур воздуха при окружающей температуре $+30^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}$, не менее	28
5. Время выхода на перепад температур 25°C при окружающей температуре не менее 30°C , ч, не более	1
6. Внутренний объем холодильника, дм^3	7
7. Масса, кг	15

Холодильник состоит из корпуса 1 (рис. 11.3), съемной крышки 2, холодильной камеры 3, 4-х термоагрегатов 4, вентилятора 5, электропроводки 6.

Холодильная камера 3 представляет собой емкость для хранения продуктов, выполненную из алюминия. К двум противоположным стенкам камеры крепятся попарно термоагрегаты 4, соединенные между собой последовательно (рис. 11.4). Каждый термоагрегат представляет собой блок термоэлектрической батареи. Холодные спаи каждого термоблока прижаты к холодильной камере, охлаждая ее. Горячие спаи термоблоков снабжены радиаторами – теплообменниками, предназначенными для отвода теплоты. Радиаторы охлаждаются воздухом, протягиваемым вентилятором 5. Электрическая схема хо-

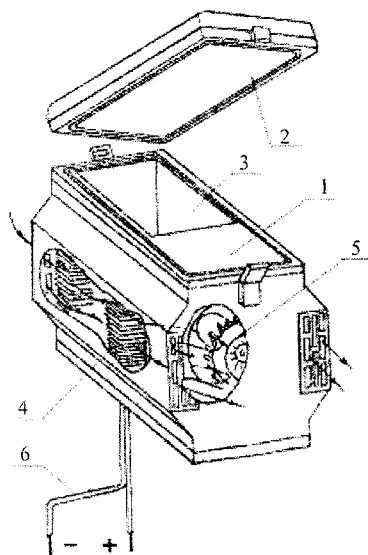


Рис. 11.3. Термоэлектрический холодильник ХАТЭ-24: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – холодильная камера; 4 – термоагрегат; 5 – вентилятор; 6 – подвод тока

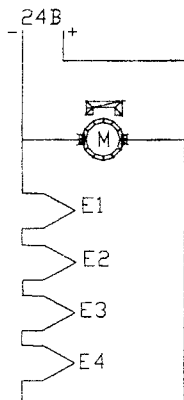


Рис. 11.4. Схема электрическая принципиальная: М – электродвигатель; E1...E4 – термобатареи

лодильника приведена на рис. 11.4.

Методика выполнения работы

При подготовке к работе изучить основы термоэлектрического преобразования энергии, используя рекомендованную литературу, конспект лекций, настоящие методические указания.

Устройство термоэлектрического холодильника ХАТЭ-24 изучить на натурном образце, нарисовать его эскиз и принципиальную электрическую схему.

По п.3 “Задач” охладить алюминиевое тело, помещенное в камеру (рис.11.5) при различной величине тока, протекающего через термобатареи. По результатам опытов заполнить столбцы “Измерено” табл. 11.2. Работу выполнять в следующей последовательности.

1. Не включая холодильник, записать в табл. 11.2 температуру охлаждаемого тела t и разность температур горячих и холодных спаев Δt в начале опытов (при $\tau = 0$).

2. Включить холодильник, установить ток $I=3\text{А}$ и через каждые 3 минуты в течение первых 15 минут охлаждения измерять и

11.2. Результаты измерений и вычислений

Измерено					Вычислено		
U	I	τ	t	Δt	w	Q_x	ε
В	А	мин	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	Дж	Дж	-

записать в табл. 11.2 значения t и Δt .

3. Отметив значения t и Δt , соответствующие 15 минутам охлаждения, увеличить ток до 4А, через 3 минуты (через 18 минут от начала охлаждения) записать значения t и Δt и так продолжать до 30 минут от начала процесса.

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

Энергию W (Дж), потребляемую холодильником для охлаждения содержимого камеры, определяют по показаниям приборов РА, PV1 и времени протекания каждого опыта:

$$W = UI\tau,$$

где U, I, τ – напряжение, ток и время каждого (i -го) опыта при токе соответственно 2, 3, 4 и 6А.

Количество теплоты Q_x (Дж), уносимое из камеры в каждом (1 -м) опыте:

$$Q_x = mc(t_1 - t_2),,$$

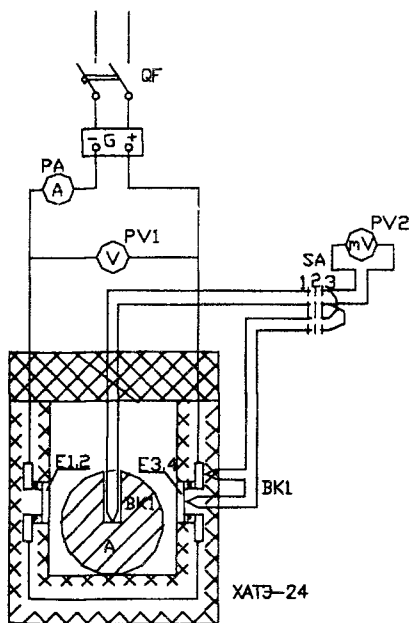


Рис.11.5. Схема экспериментальной установки: ХАТЭ-24 – холодильник; А – охлаждаемое тело; E1,2; E3,4 – термобатареи; BK1; BK2 – терморезисторы; G – источник питания; SA – переключатель терморезисторов

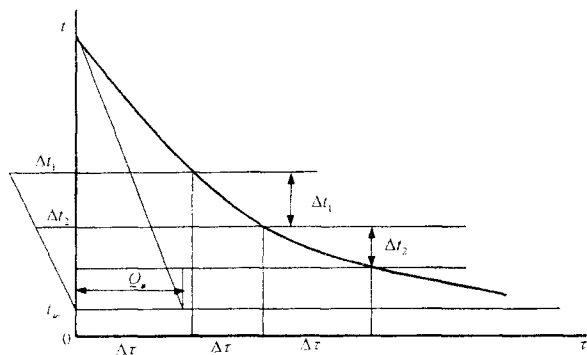


Рис. 11.6 Графическое определение установившейся температуры охлаждения $t_{уст}$ и постоянной времени охлаждения $Q_{охл}$

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

Холодильный коэффициент приближенно

$$\varepsilon = \frac{Q_x}{W}$$

По результатам измерений и вычислений построить кривые охлаждения $t = f(\tau)$ для каждого значения тока I , определить постоянную времени охлаждения $Q_{охл}$ и установившуюся температуру охлаждения $t_{уст}$, используя графики 1-го ($I=3A$) и 3-го ($I=5A$) опытов. Способ определения этих параметров показан на рис. 11.6.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, принципиальная схема термоэлектрической батареи, таблица измерений и вычислений, графические зависимости, построенные по результатам опытов.

Контрольные вопросы. 1. Физическая природа теплоты Пельтье и ее зависимость от силы тока. 2. Устройство, электрическая схема и принцип действия термоэлектрического холодильника

ХАТЭ-24. 3. Энергетические параметры трансформатора теплоты в режиме холодильной машины, теплового насоса, в совмещенном цикле. 4. Экспериментальное определение энергетических параметров трансформатора теплоты. 5. Графическое определение установившейся температуры и постоянной времени охлаждения термоэлектрического холодильника.

12. Электрические изгороди

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы генераторов импульсов электрических изгородей, экспериментально определить основные параметры импульса.

Задачи работы

1. Изучить назначение, устройство, принцип действия, требования к параметрам электрических импульсов для электроизгородей, электрические схемы генераторов ИЭ-200, ГИЭ-1, ИЭ-4.

2. Освоить порядок включения генераторов в работу, приемы регулировки и настройки на необходимый режим, опробовать работу генераторов в автоматическом и ждущем режимах.

3. Определить для автоматического режима генератора ИЭ-200 максимальную и минимальную частоту при изменении положения переключателя SA2.

4. Зарисовать с экрана осциллографа кривую импульса тока одного из генераторов и определить его амплитудные значения и количество электричества в импульсе.

5. Определить величину сопротивления между изгородью и землей, при котором генератор ГИЭ-1 переходит из ждущего в автоматический режим работы.

Общие сведения

Электрические изгороди применяют для загона и пастьбы скота, ограждения летних лагерей, выгульных площадок, прогонов, посевов, глубоких ям (выработок) и т.п. Для управления поведением животных или их защиты (в том числе от хищников).

Изгородь состоит из ограждения, генератора электрических импульсов (пульсатора) высокого напряжения и источника питания. Ограждение выполняют в виде изгороди в один или несколько проводов из мягкой стальной оцинкованной проволоки диаметром 1 ... 1,5 мм, подвешенной на изоляторах опорных стоек. Высота подвеса проводов в зависимости от вида и возраста животных достигает 0,25 ... 0,85 м, расстояние между опорными стойками – от 8 до 20 м, частота импульсов – 60 ... 120 в минуту. На проволоку ограждения (токоведущую линию – ТВЛ) подают импульсы высокого напряжения от генератора импульсов. При прикосновении к ограждению (ТВЛ) животные получают электрический “удар”, который не представляет опасности для его жизни и здоровья, но достаточен для выработки условного рефлекса “боязни” прикосновения к ТВЛ. Безопасным для животных является импульс не более 2,5 мКл электричества.

Электрические изгороди относят к устройствам электроимпульсной техники, основу которой составляют генераторы электрических импульсов. По принципу действия генераторы подразделяют на зависимые и независимые.

В генераторах электроизгородей можно реализовать оба принципа. В электроизгородях чаще всего используют простейшие релаксационные генераторы типа RC (рис. 12.1). Генераторы питаются от источника постоянного тока. В конденса-

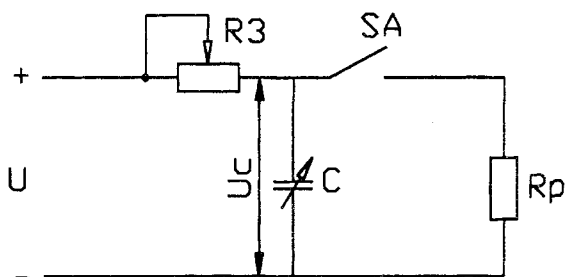


Рис. 12.1. Принципиальная схема простейшего релаксационного генератора импульсов RC: R_3 – сопротивление зарядной цепи; C – конденсатор; R_p – сопротивление цепи разряда; SA – коммутирующее устройство

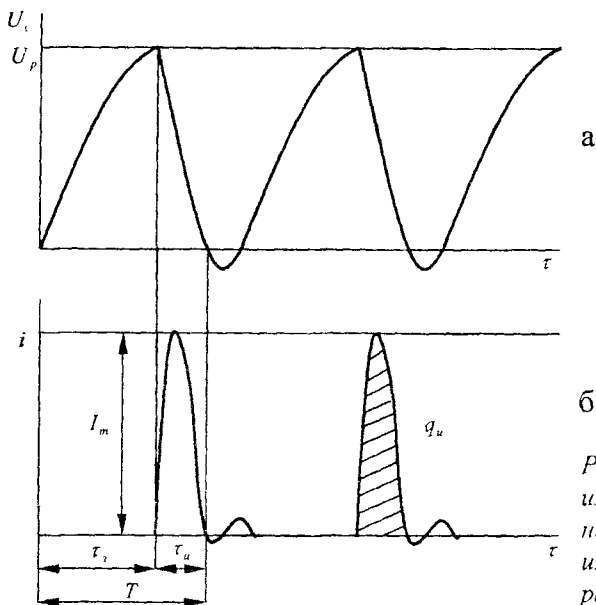


Рис.12.2. Графики изменения напряжения на конденсаторе (а) и импульсов тока в разрядной цепи (б)

торе C происходит периодическое накопление электрического заряда с последующим разрядом на нагрузочное сопротивление R_p при замыкании разрядной цепи.

Основными параметрами периодических импульсов являются: энергия импульсов, Дж,

$$W = \frac{1}{2} C U_p^2, \quad (12.1)$$

где U_p – напряжение разряда, C – емкость накопительного конденсатора;

амплитудное значение тока, мА (рис. 12.2).

$$I_m = \frac{U_p}{R_p}; \quad (12.2)$$

количество электричества в импульсе, Кл,

$$q_u = \int_0^{\pi} i(\tau) d\tau, \quad (12.3)$$

где $i(\tau)$ – функция изменения тока импульса во времени. Величина q_u численно равна площади, ограниченной кривой $i(\tau)$ и осью абсцисс (рис. 12. 2);

период автоколебаний (период повторения импульсов), с,

$$T = \tau_3 + \tau_u, \quad (12.4)$$

где τ_3 – время зарядки конденсатора, продолжительность импульса; частота следования импульсов, с⁻¹,

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(\tau_3 + \tau_u)}; \quad (12.5)$$

время зарядки τ_3 , с,

$$\tau_3 = RC \ln \frac{U_n}{U_n - U_p}, \quad (12.6)$$

где U_n – номинальное напряжение источника питания.

Так как $\tau_3 \gg \tau_u$, то

$$f \approx \frac{1}{\tau_3} = \frac{1}{RC \ln \frac{U_n}{U_n - U_p}}. \quad (12.7)$$

Параметры генераторов импульсов для электрических изгородей должны отвечать определенным зоотехническим требованиям (табл. 12.1), обеспечивающим здоровье животных, эффективность работы.

Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ИЭ-200 приведена на рис. 12.3. Генератор может питаться от сети переменного тока 220 В через выпрямитель, включающий элементы VD1, VD2, R1, R2, C1, или от батареи сухих элементов G1 ... G4.

Генератор включают переключателем SA1. Генератор может работать в автоматическом режиме, непрерывно подавая импульсы на

12.1. Параметры генераторов импульсов электрических изгородей

Параметры электрических импульсов	По условию безопасности	По условию эффективности работы
Амплитудное значение напряжения на изгороди, кВ	2 ... 10	
Амплитудное значение тока в импульсе, мА	не более 150	не менее 2
Количество электричества, протекающего через тело животного, мКл	не более 2,5	3
Длительность импульсов, с	не более 0,1	—
Частота импульсов, имп./мин	не более 120	не менее 60
Перерывы между импульсами, с	не более 0,7	—

В работе представлены генераторы импульсов электрических изгородей типа ИЭ-200, ГИЭ-1, ИЭ-4.

ТВЛ изгороди независимо от того, прикасается животное к ней или нет, и в “Ждущем” режиме, когда импульсы подаются только при прикосновении животного к изгороди. “Ждущий” режим более экономичный, особенно при питании генератора от сухих батарей. Режим устанавливается с помощью переключателя SA3: в верхнем положении – автоматический режим, в нижнем – “Ждущий”.

Автоматический режим. При включении SA1 начинается зарядка конденсатора C2 (или C2, C3, и C4 при включенном SA2). Одновременно напряжение от источника питания подается через резистор R6 и нижний (размыкающий) контакт SA3 на делитель напряжения из резисторов R8, RP2, R9. С делителя снимается часть напряжения для зарядки конденсатора C5. По мере зарядки C5 разряжается через VL и ограничивающий резистор R7 на управляющий электрод тиристора VS, последний открывается, и конденсатор C2 разряжается через первичную обмотку повышающего трансформатора TV1, вызывая во вторичной обмотке импульс высокого напряжения. Вторичная обмотка заземлена через разрядник F1 и при прикосновении живот-

ного к проволоке ограждения оно попадает под напряжение и получает электрический “удар”. Частота и сила импульсов могут изменяться изменением емкости конденсаторов С2 ... С4 и сопротивлений R4, RP1.

Ждущий режим. При переключении SA3 в нижнее положение напряжение от источника питания подается через верхний (замыкающий) контакт SA3 на вторичную обмотку трансформатора и через нее на ТВЛ изгороди. При прикосновении животного к проволоке изгороди через его тело замыкается цепь тока от ТВЛ на землю. Цепь тока от источника замкнута через контакты SA3, вторичную обмотку трансформатора, ТВЛ, тело животного, землю, резисторы R8, RP2, R9. Ток в этой цепи составляет 0,1 мА. С возникновением этого тока заряжается конденсатор С5 до зажигания тиратрона. Далее образуется импульс высокого напряжения в последовательности, изложенной выше. Импульс в изгороди появится через 0,2 с после прикосновения животного. При импульсе высокого напряжения в цепи вторичной обмотки трансформатора через линию изгороди и тело животного высокое напряжение будет приложено к разряднику, который пробивается, и животное получает электрический “удар”. Импульсы высокого напряжения поступают в линию изгороди до тех пор, пока животное касается проволоки. Генератор перейдет (вернется) в ждущий режим только тогда, когда животное перестает касаться проволоки.

Генератор импульсов может самопроизвольно перейти из ждущего в автоматический режим при снижении сопротивления изоляции линии изгороди ниже 1,5 МОм или увеличении емкости линии. Поэтому провода изгороди не должны касаться растительности, а высокую траву под линией изгороди необходимо выкашивать, т.к. при ее росте может измениться сопротивление изоляции линии и ее емкость.

Более совершенный способ обнаружения контакта с линией изгороди при работе в ждущем режиме реализован в генераторе импульсов ГИЭ – 1 (рис.12. 4). В основу способа положена реакция на скорость изменения сопротивления между ТВЛ и землей. При этом используется то, что за счет влияния окружающей среды на изоляцию сопротивление между ТВЛ и землей изменяется относительно медленно, а при контакте животного с ТВЛ – за доли секунды. Источни-

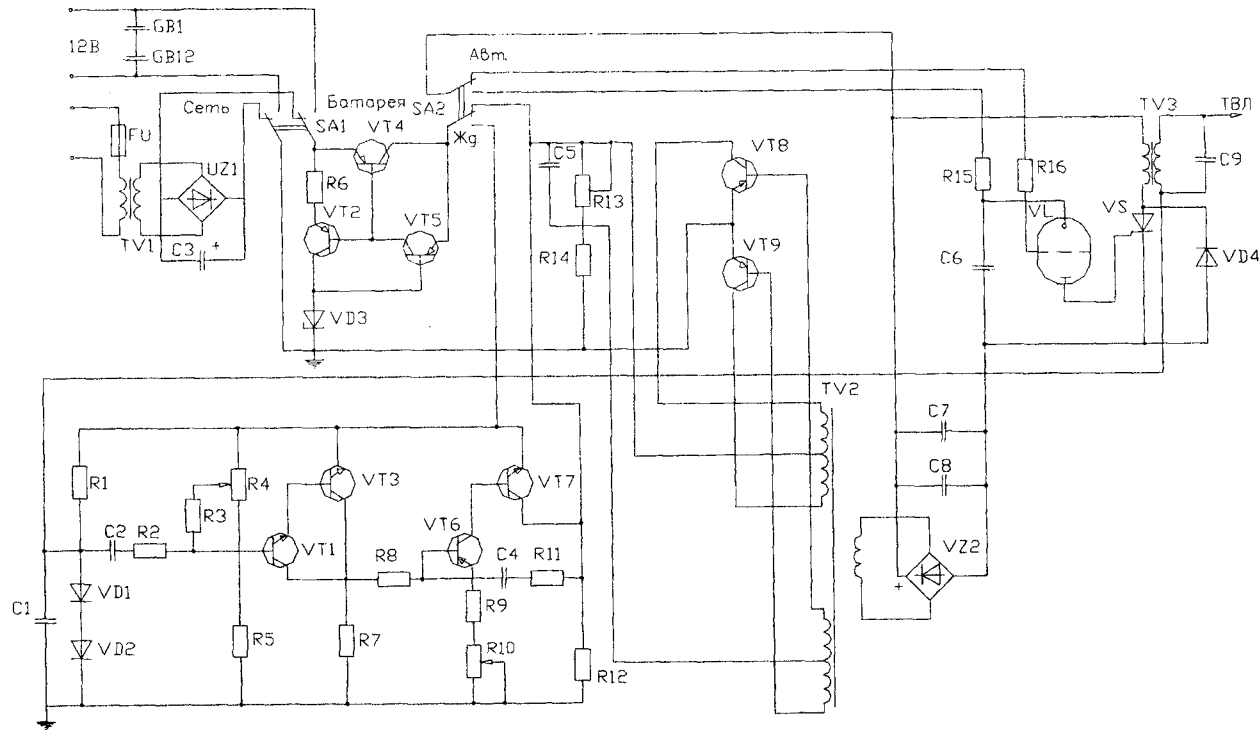


Рис.12.4. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ГЭИ-1

ками питания генератора ГИЭ-1 могут служить: батарея сухих элементов GB1 ... GB12, аккумуляторная батарея на 12 В либо сеть переменного тока 220 В.

Срок службы батареи сухих элементов в автоколебательном режиме не менее 300 часов, в ждущем режиме – не менее 3600 часов; мощность, потребляемая от сети – не более 8 Вт; габаритные размеры генератора – 225x160x185 мм.

Для питания генератора от сети переключатель S1 (рис. 12.4) ставят в левое положение (“сеть”). Питание осуществляется через трансформатор TV1 и выпрямитель UZ1. В правом положении SA1 генератор питается либо от внутренней батареи сухих элементов GB1 ... GB12, либо от внешней аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Напряжение питания поступает на стабилизатор напряжения, собранный на стабилитроне VD3, транзисторах VT2, VT4, VT5 и резисторе R6.

Для работы в автоколебательном режиме переключатель SA2 ставят в верхнее положение (“авт.”). Тогда напряжение с выхода стабилизатора подается на вход повышающего преобразователя постоянного напряжения, включающего резисторы R13, R14, конденсатор C5, транзисторы VT8, VT9, трансформатор TV2 и выпрямитель UZ2. От выпрямителя UZ2 заряжается емкостный накопитель энергии (конденсаторы C7 и C8). Одновременно происходит зарядка конденсатора C6 через резистор R16. Когда напряжение на конденсаторе C6 достигает значения напряжения открытия тиратрона VL, последний открывается, и конденсатор C6 разряжается через тиратрон VL и управляющий электрод коммутирующего тиристора VS. Тиристор открывается, и емкостной накопитель (C7 – C8) разряжается на первичную обмотку повышающего высоковольтного трансформатора TV3. Во вторичной обмотке трансформатора TV3 возникает высоковольтный импульс, который поступает в ТВЛ электроизгороди (один вывод вторичной обмотки соединен с ТВЛ, другой – заземляется через цепочку стабилитронов VD1 и VD2). Далее снова начинается зарядка конденсаторов C6 – C8, и описанный выше процесс повторяется.

Конденсатор C9, включенный параллельно вторичной обмотке трансформатора TV3, служит для повышения КПД генератора импуль-

сов. С этой же целью, а также для защиты тиристоров от обратного перенапряжения при переходном процессе во время разрядки накопителя установлен шунтирующий диод VD4.

После выработки у животного условного рефлекса боязни электроизгороди генератор импульсов может быть переведен в ждущий режим работы. Для этого переключатель SA2 ставят в нижнее положение. В этом положении преобразователь постоянного напряжения отделен от стабилизатора транзистором VT7. С выхода стабилизатора напряжение примерно 7 В (так называемое дежурное напряжение) подается через резистор R1 и вторичную обмотку трансформатора TV3 на ТВЛ изгороди. При контакте животного с ТВЛ сопротивление между ТВЛ и землей резко изменяется, это приводит к резкому изменению напряжения между ТВЛ и землей и, в конечном счете, к формированию сигнала, поступающего на вход порогового устройства, собранного на транзисторах VT1 и VT3. Устройство усиливает поступающий сигнал и передает его на исполнительный элемент – несимметричный мультивибратор на транзисторах VT6 и VT7. Через цепочку коллектор – эмиттер выходного транзистора VT7 подается питание от стабилизатора к преобразователю постоянного напряжения. Далее схема работает так же, как и в автоколебательном режиме. После выдачи высоковольтного импульса генератор вновь приходит в режим ожидания до следующего прикосновения животного к ТВЛ.

Устройство обнаружения контакта животного с ТВЛ защищено от попадания высоковольтного импульса стабилитронами VD1 и VD2. В ждущем режиме эти стабилитроны создают разрыв в цепи и не влияют на формирование сигнала, возникающего при прикосновении животного к ТВЛ. При появлении же высоковольтного импульса в ТВЛ стабилитроны VD1 и VD2 начинают проводить ток, замыкая на землю один из выводов вторичной обмотки трансформатора TV3. При этом на вход устройства обнаружения контакта животного с ТВЛ попадает только напряжение стабилизации, возникающее на стабилитронах.

Генератор изгороди ИЭ-4 (рис. 12.5) состоит из преобразователя напряжения (транзистор VT и трансформатор TV1), выпрямителя с удвоением напряжения (конденсатор C1 и диоды VD1 и VD2), накап-

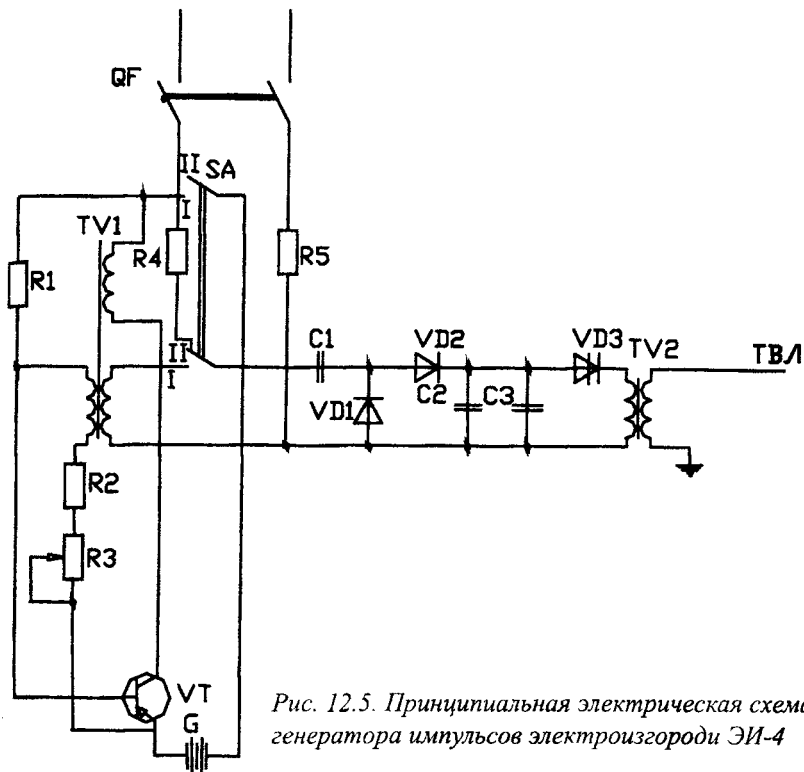


Рис. 12.5. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов электроизгороди ЭИ-4

ливающих конденсаторов $C2$ и $C3$, динисторов $VD3$ и трансформатора высокого напряжения $TV2$.

Переменное напряжение, получаемое от преобразователя напряжения (положение 1 переключателя SA) или от сети переменного тока (положение 2), выпрямляется в выпрямителе. Выпрямленным напряжением заряжаются накопительные конденсаторы $C2$ и $C3$ до тех пор, пока напряжение на них не превысит напряжения пробоя динисторов (180...220В). При пробое динисторов конденсаторы $C2$, $C3$ разряжаются через динисторы на первичную обмотку высоковольтного трансформатора $TV2$. При этом во вторичной обмотке высоковольтного трансформатора индуцируется импульс высокого напряжения, который подается на $TV1$ изгороди. После разряда конденсаторов динисторы восстанавливаются, начинается новый процесс зарядки конден-

саторов С2, С3, и цикл повторяется. Частота импульсов зависит от тока заряда накопительных конденсаторов и от напряжения пробоя диристоров.

Методика выполнения работы

1. П. 1 «Задач» изучить по методическим указаниям и на образцах в лаборатории.

2. П. 2 выполняют после изучения п. 1. Необходимо уяснить назначение всех элементов электрических схем генераторов импульсов и существующие регулировки параметров импульсов (рис.12.3, 12.4, 12.5).

Для исследования генератора ИЭ-200 установить переключатель SA1 экспериментальной установки (рис. 12.6) в положение 1. Включив QF, подать напряжение на схему, включить генератор ИЭ-200 и осуществить его настройку, регулируя силу и частоту следования импульсов.

Переключая SA1 в положения 2 и 3, повторить опыт для генераторов ГИЭ-1 и ИЭ-4 соответственно.

3. Включить тумблер «сеть» осциллографа РА (рис. 12.6). После появления на экране горизонтальной светящейся линии переключить SA1 в положение 1, включить генератор ИЭ -200 и выключатели SA2 и SA3. Настроить генератор на работу с силой импульса «Меньше» и минимальной частотой. При помощи осциллографа определить количество импульсов в минуту (частоту). Установить и определить максимальную частоту. Результаты записать в табл.12. 2.

Установить переключатель силы импульса «Больше», тем самым изменив параметры нарядного контура (R и C) генератора (рис. 12.3). В соответствии с формулами (12.1) и (12.7) при этом изменяется энергия («сила») импульса и частота их следования. Определить диапазон изменения частоты. Результаты также записать в табл. 12. 2.

4. Для выполнения п. 4 «Задач» определить масштаб изображения импульса на экране осциллографа с помощью переключателей «Время» и «Напряжение». Для определения масштаба времени разделить значение, на которое указывает переключатель “Время”, на ко-

личество делений масштабной сетки экрана по горизонтали. Аналогично определите масштаб напряжения, используя количество делений масштабной сетки по вертикали.

Зарисовать с экрана осциллографа кривую импульса генератора ИЭ-200 (для обоих положений переключателя "Сила импульса").

Количество электричества в импульсе можно приблизительно рассчитать по формуле

$$q_u = \frac{U_p}{R_p} \tau. \quad (12.8)$$

Величину разрядного сопротивления R_p принять по паспортным данным осциллографа (сопротивление входа). Значение $U_p \tau$ вычислить графически интегрированием площади, ограниченной кривой импульса и осью абсцисс. Определить амплитудное (максимальное) значение напряжения импульса. Результаты записать в табл. 12. 2.

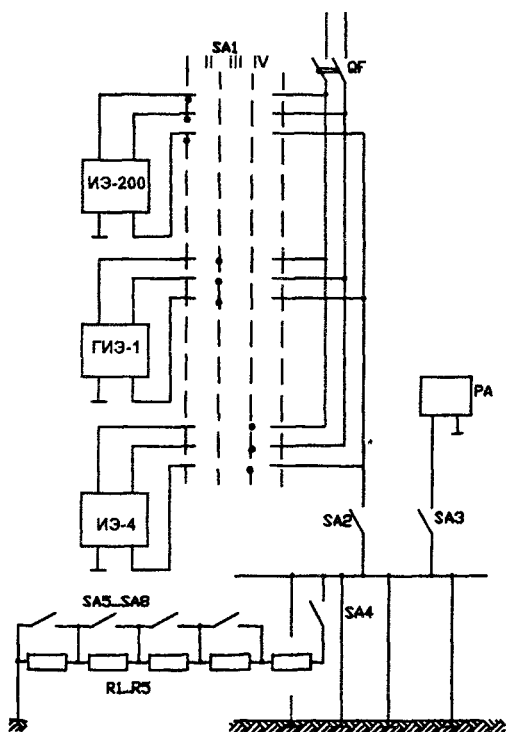


Рис.12.6. Электрическая схема экспериментальной установки

5. Установить переключатель SA1 экспериментальной установки в положение 2. Установить ждущий режим работы генератора ГИЭ-1. Включая последовательно SA1.. SA8 изменять значение нагрузочного сопротивления до тех пор, пока изгородь не перейдет из «ждущего» режима в автоматический. Записать в отчет значение R_p , при котором меняется режим работы изгороди.

12.2. Параметры импульса

Положение переключателя	Измерено			Вычислено	
	Частота		Амплитуда напряжения импульса	Амплитуда тока импульса	Количество электричества в импульсе
“Сила импульса”	$f_{\text{мин}}$ МИН	$f_{\text{макс}}$ МИН ⁻¹	U_m , В	I_m , мА	
“Меньше”					
“Больше”					

Содержание отчета

Цель и задачи работы, таблицы наблюдений и вычислений, графические зависимости.

Контрольные вопросы. 1. Изобразить принципиальную электрическую схему релаксационного генератора импульсов типа RC. 2. Основные параметры импульсов электрических изгородей. 3. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ИЭ-200. 4. Принципиальная электрическая схему генератора импульсов ГИЭ-1. 5. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ИЭ-4.

13. Диэлектрический сепаратор семян СДЛ-1

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрическую схему диэлектрического сепаратора семян.

Задачи работы

1. Усвоить физические основы разделения семян в электрическом поле диэлектрических сепараторов.
2. Изучить устройство, электрическую схему, принцип действия сепаратора СДЛ-1.
3. Произвести испытание сепаратора в работе и установить технологическую эффективность разделения семян.

Общие сведения

Семена сельскохозяйственных культур отличаются физико-механическими свойствами (размерами, формой, массой и др.), на этом основаны механические способы сепарации семян. Однако семена, имеющие одинаковые физико-механические свойства, могут заметно отличаться по биохимическому составу (степени зрелости, химическому составу, влажности и др.) и, следовательно, по электрическим свойствам (диэлектрической проницаемости, электрической проводимости, способности воспринимать и удерживать электрический заряд и др.). На этом основаны электрические способы разделения семян, которые позволяют отбирать семена по качеству. В этом коренное отличие методов сепарации семян в электрических полях от механических способов. Совокупность физико-механических, электрических и биохимических свойств, по которым производят разделение семян, составляет признак делимости семян. Для каждого вида сепараторов он выражается определенной аналитической зависимостью.

Разделение семян в электрических полях осуществляется в электрических сепараторах (электросепараторах) зерна.

Электросепараторы классифицируют:

- по виду электрического поля: коронные, электростатические, с

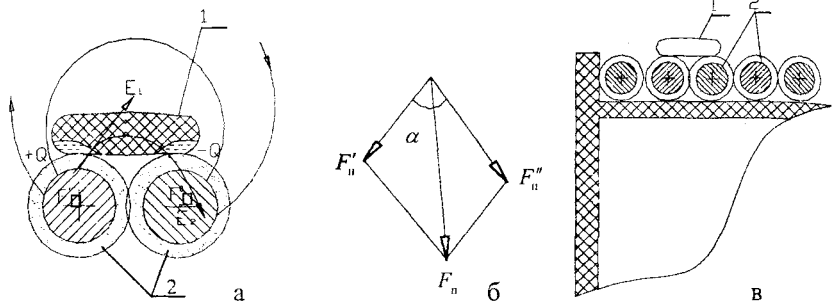


Рис. 13.1. Схема действия поляризационных сил F_n' и F_n'' (а), результирующая поляризационная сила F_n (б), фрагмент барабана (в): 1 – семя, 2 – проводники-электроды

переменным полем, комбинированные; по способу зарядки частиц: ионной зарядки, электродной (контактной) зарядки, зарядки поляризацией (диэлектрические), зарядки трением (трибоэлектрические), комбинированные; по конструкции: камерные, барабанные, транспортные (ленточные), решетные и др.

В работе представлен электросепаратор СДЛ-1 (сепаратор диэлектрический лабораторный однокамерный), 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.

Разделение частиц сыпучих смесей в электросепараторах основано на использовании механических сил электрического поля, которые возникают вследствие взаимодействия поля со свободными или связанными электрическими зарядами частиц смеси. Поэтому для разделения частиц (например, семян) их необходимо предварительно зарядить, сообщив им свободные заряды (коронные, электростатические сепараторы), т.е. сместить связанные заряды вещества в противоположные стороны (положительные по направлению действия поля, отрицательные – в обратном направлении).

В диэлектрическом сепараторе СДЛ-1 рабочим органом служит барабан 7 (рис. 13.2) из диэлектрического материала, на котором на-

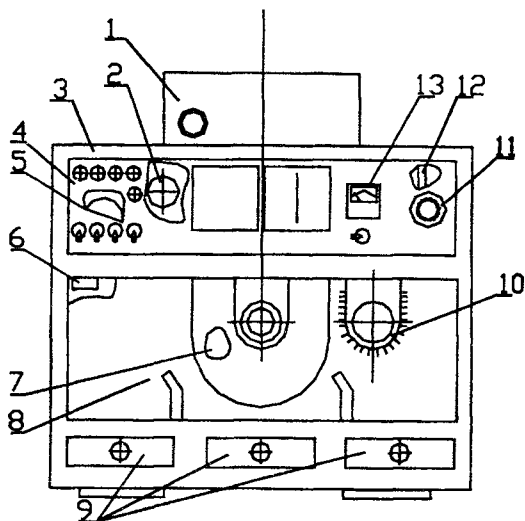


Рис. 13.2. Сепаратор семян диэлектрический лабораторный СДЛ-1 (общий вид): 1 – бункер; 2 – электродвигатель; 3 – корпус; 4 – панель управления; 5 – мотор-редуктор; 6 – конечный выключатель; 7 – барабан; 8 – защитные стекла; 9 – кассеты; 10 – щетка; 11 – автотрансформатор; 12 – высоковольтный трансформатор; 13 – вольтметр

мотаны (вплотную – виток к витку) два изолированных проводника (рис. 13.1,в), являющихся электродами. К ним подводится высокое (до 5 кВ) напряжение от повышающего маломощного трансформатора. Между проводниками-электродами создается неоднородное электрическое поле, используемое для разделения семян.

Семя, поступающее на проводники-электроды, поляризуется: в нем наводятся заряды $+Q$ и $-Q$ от взаимодействия между которыми и элект-

рическим полем создается поляризационная сила F_n , притягивающая частицу к проводникам-электродам.

Поляризационная сила может быть выражена следующими двумя адекватными зависимостями

$$F_n = \frac{1}{2} \int_V E^2 \text{grad} \varepsilon_a dV = \int_V n \bar{p} (\text{grad} E) dV, \quad (13.1)$$

где E – напряженность электрического поля, В/м; ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость вещества зерна, Ф; V – объем частицы, м³; n – число диполей в единице объема вещества зерна, 1/м³; \bar{p} – электрический момент поляризованной молекулы зерна, Клм.

Как видно из формулы (13.1), сила F_n зависит от напряженности электрического поля, его неоднородности, поляризуемости семян, а последняя – от биологического состояния, химического состава, физических параметров. Необходимое условие возникновения силы F_n – неоднородность электрического поля, которая и создается между проводниками-электродами сепаратора (рис. 13.1,а).

В неоднородном поле на поверхности семян, обращенной к положительно заряженному электроду, наводится отрицательный заряд $-Q$, а на противоположной стороне – положительный $+Q$ (рис. 13.1).

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

$$\bar{F}_n' = -Q\bar{E}_1, \quad \bar{F}_n'' = +Q\bar{E}_2, \quad (13.2)$$

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

Результирующая поляризационная сила равна

$$\bar{F}_n = \bar{F}_n' + \bar{F}_n'' . \quad (13.3)$$

Значение силы F_n зависит от соотношения диэлектрической проницаемости частицы ε_1 и среды ε_2 . При $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ частица втягивается в область наибольшей напряженности поля, имеющей в точке соприкосновения проводников-электродов, а при $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ выталкивается из этой области. Диэлектрическая проницаемость семени ε_1 больше диэлектрической проницаемости воздуха ε_2 , поэтому семя прижимается к электродам.

Используя теорему косинусов, получим

$$F_n = \sqrt{(F_n')^2 + (F_n'')^2 + 2F_n'F_n''\cos\varphi} \quad (13.4)$$

Из (13.4) следует, что чем меньше расстояние между электродами (угол φ), тем больше результирующая поляризационная сила.

Таким образом, поляризационная сила зависит от напряженно-

сти электрического поля, диэлектрической проницаемости семян, других физико-химических параметров, а также от расстояния между электродами.

Так как поляризационная сила пропорциональна квадрату напряженности электрического поля:

$$\bar{F}_n = k\bar{E}^2, \quad (13.5)$$

где k – коэффициент пропорциональности, то при питании электродов переменным напряжением направление силы не меняется, но величина ее изменяется во времени с удвоенной частотой сети. Среднее значение силы F_n остается неизменным, если действующее значение переменного напряжения равно постоянному. Переменное напряжение предпочтительнее, т.к. в этом случае нет необходимости в выпрямляющем устройстве. 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.

В общем случае, помимо поляризационной силы F_n на семя могут действовать и другие механические силы электрического поля. Результирующую силу $F_{ЭЛ}$, которую в отличие от механических сил неэлектрического происхождения (центробежной $F_{ЦБ}$, силы тяжести P , силы трения $F_{ТР}$ – рис. 13.3), называют электрической, можно представить в виде

$$F_{ЭЛ} = k_1 E^n, \quad (13.6)$$

где k_1 – постоянная, не зависящая от E ; n – показатель степени ($1 < n < 2$).

Общий вид сепаратора представлен на рис.13.2, а технические данные – в табл. 13.1.

Основным узлом сепаратора является барабан 7. Бункер 1 предназначен для загрузки семян и обеспечения равномерной их подачи на барабан. Мотор-редуктор 5 осуществляет вращение барабана 7 и щетки 10, которая очищает барабан от пыли и неполноценных зерен. Кассеты 9 предназначены для приема семян после сепарации. Конечные выключатели 6, защитные стекла 8 обеспечивают отключение сепаратора от сети при незакрытых защитных стеклах, снятых верхней и задней крышках. Розетка-блокировка (на задней стенке аппарата, на рис. 13.2 не показана) обеспечивает отключение от сети при снятии задней стенки. Вольтметр 13 контролирует величину высокого напряжения, подаваемого на рабочий орган барабана от высоковольтного трансформатора 12. Величину напряжения регулируют с помощью автотрансформатора 11. На панели управления 4 размещены органы управления и измерительные приборы. Электродвигатель 2 приводит во вращение загрузочный валик бункера (рис. 13.2).

Технологическая схема разделения (сортирования) семян представлена на рис. 13.3. Семена из бункера поступают через щель, образованную стенкой бункера и задвижкой 7, подаются на вращающийся загрузочный валик 2 и затем на рабочий орган барабана 3.

В общем случае на семена, находящиеся на барабане, действуют силы (рис. 13.3): электрическая $F_{Эл}$, центробежная $F_{ЦБ}$, сила тяжести P , сила трения $F_{Тр}$. Соотношение этих сил определяет траекторию семян. Так, электрическая сила стремится прижать их к электродам, а центробежная – оторвать. Поскольку семена разнокачественные, т.е. различаются по физико-химическим и биохимическим свойствам, то при одном и том же напряжении на электродах будут действовать разные по величине электрические силы.

Условие равновесия семени на рабочем органе барабана имеет вид:

$$F_{Эл} + P \cos \varphi = F_{ЦБ}. \quad (13.7)$$

Нарушение этого условия приводит к отрыву семени от барабана под тем или иным углом, называемым углом отрыва $\alpha_{отр}$ (рис. 13.3).

13.1. Основные технические данные и характеристики сепаратора СДЛ-1

Наименование	Единицы измерения	Значение
Производительность не менее :		
семена зерновых культур	кг/ч	10
семена овощных культур	кг/ч	7
семена травяных культур	кг/ч	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

$$\cos \alpha_{\text{опр}} = (F_{\text{ЦБ}} - F_{\text{ЭЛ}}) \quad P = (F_{\text{ЦБ}} - F_{\text{ЭЛ}}) / vq, \quad (13.8)$$

где m – масса семени, кг; q – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Следовательно, самые крупные и плотные семена слабее удерживаются на поверхности обмотки и падают в первую фракцию, менее крупные – во вторую. Самые же легкие и мелкие, т.е. семена с меньшей плотностью и массой, а следовательно и с меньшей энергией прорастания и всхожестью, сильнее притягиваются к поверхности электродов, они очищаются щеткой и попадают в третью фракцию. При дальнейшем повышении напряжения к электродам притягиваются семена и с большей массой и большей плотностью.

Принципиальная электрическая схема сепаратора приведена на рис. 13.4. Сепаратор включают выключателем SA1, при этом загорается индикатор VD2. Конденсатор С3 обеспечивает однофазное включение трехфазного электродвигателя М1. Выключателем SA3 "Дозатор" включают электродвигатель М2 привода загрузочного валика бункера – при этом загорается индикатор VD3. Т.к. рабочее напряжение двигателя М2 127 В, питание его осуществляется через

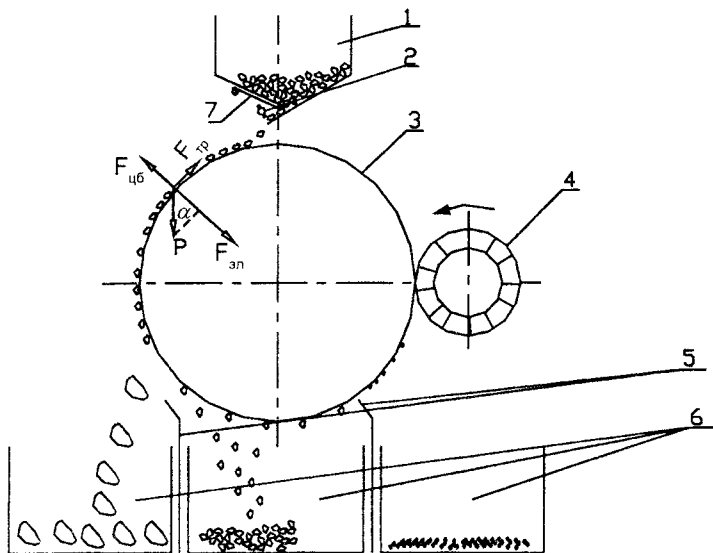


Рис. 13.3. Технологическая схема процесса сортирования семян на сепараторе СДЛ-1: 1 – бункер; 2 – загрузочный валик; 3 – барабан; 4 – щетка; 5 – перегородки; 6 – приемное устройство (кассеты); 7 – задвижка. Силы, действующие на семя: $F_{эл}$ – электрическая сила; P – сила тяжести; $F_{цб}$ – центробежная сила; $F_{тр}$ – сила трения семян о бункер

делитель С1, С4. Необходимое смещение фазы питающего напряжения в обмотке возбуждения осуществляется конденсатором С2.

Подачу напряжения на барабан производят 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 кВ и 0...5 кВ) положением выключателя SA5 “Режим”. Соответственно изменяются показания вольтметра PV.

Диапазон 0...1 кВт получают при включении первичной обмотки TV2 через конденсаторы С5 и С6. Резисторами R7, R8, R9 осуществляют тарировку PV в диапазонах 0...1 кВ и 0...5 кВ.

Напряжения подводят к рабочим органам осуществляют с помощью скользящих контактов ХА1, ХА2.

Порядок включения и работы

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 “Барaban” 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 (о) произвести реверсирование загрузочного валика.
8. После очистки бункера установить выключатели “Сеть”, “Сепаратор”, “Барaban”, “Дозатор”, в положение “Выключено”, ручку автотрансформатора повернуть против часовой стрелки до упора.
9. Отключить сепаратор от сети.

Методика выполнения работы

1. Пункты 1, 2 и 3 “Задач” выполняют при подготовке к лабораторной работе, используя настоящие методические указания и рекомендованную литературу. К работе допускаются студенты, усвоившие физические основы разделения семян в диэлектрическом сепараторе, принцип устройства, электрическую схему сепаратора.
2. На рабочем месте изучить практически устройство сепаратора, правила техники безопасности, последовательность операций по его подготовке к работе, включению, регулированию режимов. Необходимо проверить целостность заземления корпуса сепаратора, наличие диэлектрического резинового коврика.

3. После проверки техники безопасности и правил безопасности и правил обслуживания с разрешения преподавателя включить сепаратор в сеть и убедиться в исправной работе всех механизмов (подачи семян, регулирования напряжения на рабочем органе и д. р.). Отрегулировать положение заслонки бункера, обеспечивающее поступление семян на барабан равномерно в один слой.

4. Произвести опыты по определению эффективности разделения семян в сепараторе в зависимости от напряженности электрического поля и числа повторности обработки. В опытах используют семена ячменя. Напряженность поля изменяют, регулируя напряжение, подаваемое на электроды.

Опыты производить в следующей последовательности:

1) смешать и взвесить всю партию семян, представленную в опытах, определить суммарную их массу и записать в табл. 13. 2;

13.2. Эффективность сепарирования семян в зависимости от напряжения на электродах

U	Общая масса семян, m_{Σ}	Фракции						C
		I		II		III		
		m_I	\bar{m}_I	m_{II}	\bar{m}_{II}	m_{III}	\bar{m}_{III}	
кВ	г	г	%	г	%	г	%	-
1,6								
1,9								
2,2								
2,5								

2) засыпать семена в бункер, обработать их , выполняя операции в последовательности, приведенной в разделе “Порядок подключения и работы”;

3) после обработки отключить сепаратор, аккуратно собрать и взвесить семена каждой фракции (m_I, m_{II}, m_{III}) и записать в табл. 13.2;

4) смешать семена всех фракций, взвесить, определить m_{Σ} (она может отличаться от первого результата), установить новое значение

напряжения на электродах, произвести обработку, повторить все операции предыдущего пункта и так для всех 4-х значений напряжения на электродах;

5) произвести трехкратную обработку семян при одном и том же напряжении на электродах 2,2 кВ. Первый раз обрабатывать как в предыдущем случае, в последующем – только семена первой фракции, полученные при предшествующей обработке. Данные записать в табл. 13.3.

13.3. Эффективность сепарирования семян в зависимости от числа повторностей обработки

n	Общая масса семян, m_{Σ}	Фракции						C
		I		II		III		
		m_I	\bar{m}_I	m_{II}	\bar{m}_{II}	m_{III}	\bar{m}_{III}	
	г	г	%	г	%	г	%	-
1								
2								
3								

Обработать результаты и получить:

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

$$m_i = \frac{m_i}{m_{\Sigma}} 100;$$

2. Степень очистки C (в относительных единицах) для каждого значения U , которую упрощенно определить по качеству отсепарированных малоценных семян и примесей, считая семена I-й фракции наиболее качественными. В реальных условиях степень очистки определяют по массе 1000 отсепарированных семян по сравнению с массой 1000 семян до очистки. Построить графические зависимости:

- степени очистки от напряжения на электродах $C = f(U)$ по данным табл. 13 2;

- степени очистки от числа повторности обработки $C = f(n)$

по данным табл. 13.3.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, технологическая и электрическая схемы сепаратора, таблицы наблюдений и вычислений, графические зависимости.

Контрольные вопросы. 1. Отличие электрических сепараторов семян от механических сепараторов. 2. Природа механических сил электрического поля, действующих на семена в диэлектрическом сепараторе. 3. Технологический процесс в сепараторе СДЛ-1, условия удержания семени на барабане сепаратора. 4. Устройство и работа сепаратора СДЛ-1. 5. Принципиальная электрическая схема СДЛ-1.

14. Установки электроочистки и ионизации воздуха

Цель работы

Изучить устройство и принцип действия установок электроочистки и ионизации воздуха.

Задачи работы

1. Изучить действие электрических полей на заряженные частицы, способы зарядки частиц и ионизации воздуха.

2. Изучить устройство и принцип работы установок электроочистки и ионизации воздуха.

3. Исследовать влияние напряженности электрического поля на величину заряда частицы и степень очистки воздуха. Определить мощность фильтра, диапазон регулирования напряжения на электродах, расход энергии на очистку воздуха.

4. Определить зависимость потока аэроионов от напряжения на разрядной линии, мощность установки и расход энергии на иониза-

цию воздуха. Рассчитать длину разрядной линии и напряжение на ней применительно к аэроионизатору и помещению, показанным на рис. 14.2.

Описание работы

Электроочистку воздуха относят к электронно-ионной технологии. В ее основе лежит механическое действие электрического поля на заряженные частицы с целью придания им упорядоченного движения, необходимого для осуществления технологического процесса. Например, сортировка и очистка зерносмеси, осаждение пестицидов, красок, лекарственных препаратов, фильтрация воздуха и др.

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

- сила тяжести

$$F_T = mg, \quad (14.1)$$

- сила электрического действия

$$F_E = qE, \quad (14.2)$$

- сила, обусловленная неравномерностью электрического поля, для сферической частицы

$$F_H = 2\pi\epsilon_0 a^3 \text{grad}E(\epsilon_r - 1)/(\epsilon_r + 2), \quad (14.3)$$

- сила сопротивления среды

$$F_C = 0,5C_X \rho_{cp} (v_r - v_{cp})^2 S_r, \quad (14.4)$$

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

$$C_X = 24 \left(1 + 0,167 R^{2/3} \right) / R_e, \quad (14.5)$$

где C_x – коэффициент сопротивления среды; R_e – число Рейнольдса. В электрофильтрах $R_e = (2...8)10^3$.

Суммарная сила

$$P_{ак} = \frac{mc(t_2 - t_1)}{\tau\eta_n},$$

может перемещать или ориентировать частицу в электрическом поле и тем самым способствовать какому-то технологическому процессу. Например, направлять заряженные частицы аэрозоли краски на окрашиваемое изделие.

Существуют различные способы зарядки частиц. Наиболее распространенный – путем осаждения ионов на ее поверхности в поле коронного заряда. Осаждение ионов происходит под действием внешнего электрического поля, поля поляризации частицы, сил зеркального отображения и др. 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:

$$q_m = 4\pi\epsilon_0\kappa_\Sigma a^2 E, \quad (14.6)$$

для проводящих – $q_m = 12\pi\epsilon_0 a^2 E$,

где $\kappa_\Sigma = 1 + 2(\epsilon_r - 1)/(\epsilon_r + 2)$. (14.7)

Заряд сферических частиц, находящихся на электроде в электрическом поле:

$$q_m = 2\pi^3 E a^2 / 3. \quad (14.8)$$

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

Основной характеристикой электрофильтров является степень очистки газов η :

$$\eta = 1 - \exp(-\chi v_{oc} S/w), \quad (14.9)$$

где v_{oc} – скорость движения частиц к осадительному электроду, м/с; S – площадь осадительного электрода, м²; w – объемный расход возду-

4.1. Зоотехнические рекомендации по дозам аэроионизации воздуха в помещениях

Вид животных, птиц	Концентрация отрицательных аэроионов, $\cdot 10^{11}$ ион/м ³	Режим аэроионизации
Птенцы до 11 мес.	2...3	Ежедневно по 6...8 ч
Попугавы	2...3	В течение 15...20 дней по 5...8 ч/сут.
Птички производители	2,5	В течение 2 мес. по 8...10 ч/сут. перерыв на 20...30 дней, повтор.
Поросята... свиньи	3...5	В течение 3...4 недель по 0,5 часов 2 раза в день, повтор через 1 мес.
Пыпята 3...60 дней	0,25	Ежедневно по 1...4 ч.
Пойлеры	0,6...0,7	С 3-х по 65-е сутки продолжительность увеличивают с 0,5 до 3 ч/сут., 7 дней воздействия, 5 дней пауза
Полодняк птицы ...5 месяцев	0,2...1,6	Увеличение продолжительности аэроионизации с возрастом от 0,5 до 9...12 ч/сутки
Пурь-несушки	1,5...2,5	
Пнкубаторы	0,13	19 дней круглосуточно

(газа), м³/с; $\chi = 1,1...1,3$ – поправочный коэффициент.

Скорость осаждения частиц в пластинчатых электрофильтрах

$$v_{oc} = B_K q_{cp} E_{oc}, \quad (14.10)$$

где B_K – подвижность частицы с учетом поправок, м²/(В с);

$q_{cp} = 0,5q_m$ – средний заряд частицы, Кл; E_{oc} – напряженность поля у осадительного электрода, В/м.

Ионизация воздуха также относится к области электронно-ионной технологии. В ее основе лежит искусственное придание отрицательного заряда молекулам кислорода с целью положительного влияния на продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы.

В воздухе имеют место положительно и отрицательно заряженные частицы пыли, влаги и др. и молекулы воздуха. Последние называются легкими аэроионами. Благоприятное воздействие на животных оказывают отрицательно заряженные молекулы кислорода (легкие, отрицательные аэроионы), которые стимулируют биологические процессы в организме животных.

Уровень естественной ионизации воздуха составляет вне помещений $(700 \dots 1000)10^6$ легких отрицательных ионов в 1 м^3 воздуха, - в помещении может быть менее $100 \cdot 10^6$ ион/м³.

Приведенные в табл.14.1 концентрации и режимы ориентировочные. Предельная концентрация аэроионов не более 10^{12} ионов в м³.

Существуют различные способы ионизации воздуха. Наиболее распространенный – электрическая ионизация в поле коронного разряда.

Коронный разряд возникает между электродами, к которым приложено напряжение определенной величины (14.11). С уменьшением радиуса электрода снижается напряженность поля образования короны:

$$E_i = 3,04 \cdot 10^6 \left(\delta + 0,0311 \sqrt{\delta/R_i} \right), \quad (14.11)$$

где E_i – критическая (минимальная) напряженность возникновения коронирующего разряда, В/м; $\delta = \rho/\rho_o$ – относительная плотность воздуха; R_i – радиус коронирующего электрода.

Корона может быть как отрицательной, так и положительной. Чаще используют отрицательную, т.к. в этом случае напряжение возникновения разряда ниже.

У поверхности коронирующего электрода, при достаточной величине возникают условия для ударной ионизации. Любой свободный заряд ускоряется в этом электрическом поле и за время свободного пробега приобретает кинетическую энергию, достаточную для ионизации воздуха при взаимодействии с ней. Кроме того, происходит возбуждение молекул воздуха, которые испускают оптическое излучение, в том числе и в видимой области спектра. Поток электронов и ионов у коронирующего электрода нарастает. Часть электронов попадает из коронирующего, приэлектродного слоя во внешнюю область короны и в среднем через $2 \cdot 10^5$ столкновения с молекулами воздуха за время 10^{-8} с присоединяются к нейтральным молекулам кислорода и образуют отрицательные аэроионы O_2^- . Далее отрицательные аэроионы перемещаются в электрическом поле к осадительному электроду и с окружающим воздухом попадают в дыхательные пути животных и птиц.

В общем случае ионизатор воздуха состоит из коронирующего (разрядного) устройства и источника питания высокого напряжения (5...25 кВ) постоянного тока.

Разрядное устройство может быть выполнено в виде набора острых игл (рис. 14.1) или металлического провода с хлопчатобумажной оплеткой типа ПБД, ПВБД (рис. 14.2), расположенных в помещении. Для получения отрицательных аэроионов к иглам или металлической жиле провода подключают отрицательный полюс высоковольтного источника питания, а положительный полюс заземляется. Коронный разряд возникает у острия игл или у ворсинок хлопчатобумажной оплетки провода. Осадительным электродом, к которому направляются отрицательные аэроионы, служат элементы помещения (пол, стены) и технологического оборудования.

Источниками питания установок фильтрации и ионизации воздуха служат высоковольтные выпрямители, собранные по схеме умножения напряжения, например, как на рис. 14.3. Сетевое напряжение повышается трансформатором TV1 до U_2 и схемой умножения $C1...C2$ и $VD1...VD6$ до $n \sqrt{2}U_2$, где n – число конденсаторов, образующих схему умножения. Сопротивление $R1$ ограничивает ток ис-

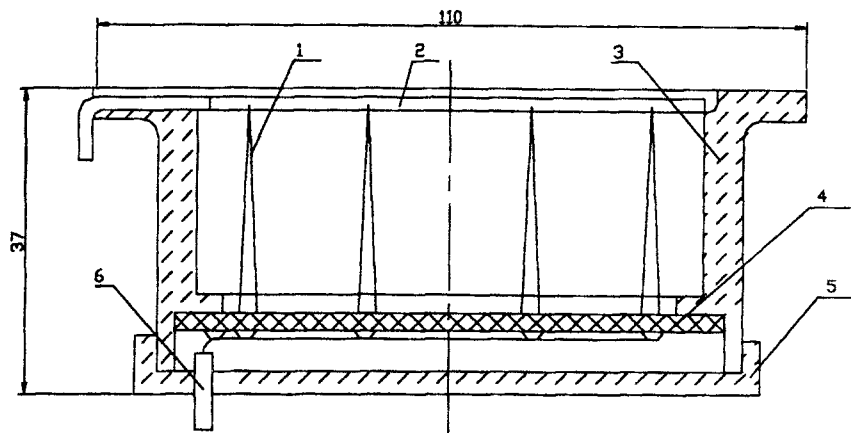


Рис. 14.1. Игольчатый электроразрядник: 1 – игла швейная № 3; 2 – провод экранирующий; 3 – корпус; 4 – основание для крепления игл; 5 – крышка изоляционная; 6 – провод токоподводящий

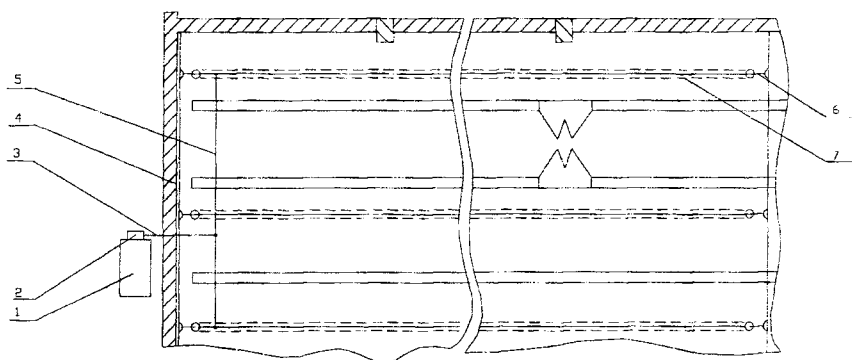


Рис. 14.2. Схема размещения аэроионизационной установки в животноводческом помещении: 1 – щит силовой; 2 – блок питания аэроионизатора; 3,5 – кабель РК - 75-17-21, соединяющий блок питания с разрядной линией; 4 – изоляторы; 6 – трос; 7 – линия разрядная (провод ПВД1x2)

точника питания до величины, безопасной для человека (4 мА). Мощность коронного разряда составляет от сотых до десятых долей ватта. Мощность блока питания не превышает 3...5 Вт.

Минимальное напряжение U_i на разрядной линии (рис. 14.2), необходимое для зажигания коронного разряда,

$$U_i = 3,04 \cdot 10^6 (R_1 + 3,14 \cdot 10^{-2} \sqrt{R_1}) l_n l_2 / R_1, \quad (14.12)$$

где R_1, R_2 – радиус кривизны коронирующего и собирающего электродов, м.

Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации n аэроионов,

$$U = U_i + \frac{neR_2^2}{4\epsilon_0}, \quad (14.13)$$

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

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

$$U_0 = U^2 / (1 - C)(2U - U_i), \quad (14.14)$$

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

Разрядный ток на единицу длины линии:

$$i = 8\pi\epsilon_0\kappa U (U - U_i) / (R_2^2 \ln R_2 / R_1), \quad (14.15)$$

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

Ток разрядной линии

$$I = il, \quad (14.16)$$

где l – длина линии, м.

Поток аэроионов с единицы длины коронирующего электрода

$$N = i/l. \quad (14.17)$$

Установка электроочистки и ионизации воздуха (рис. 14.4,а) сочетает электрофльтрацию и ионизацию воздуха. Предназначена для использования в птицеводческих и животноводческих поме-

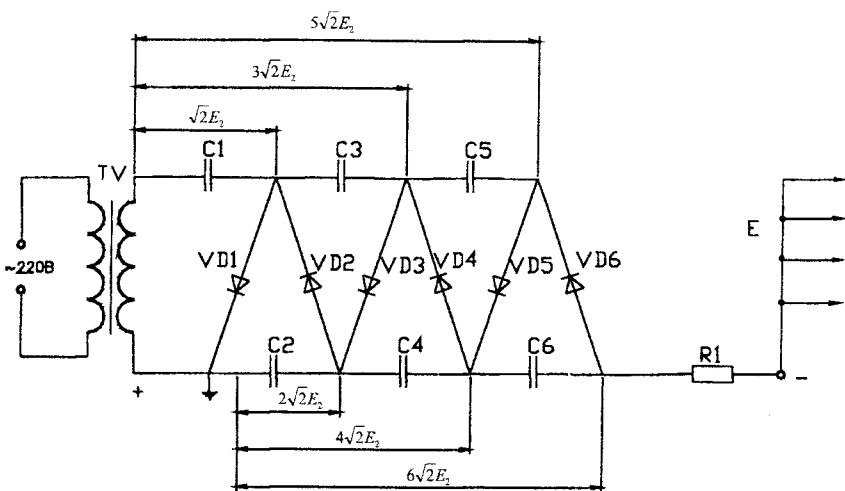


Рис. 14.3. Схема умножения напряжения: $R1 = 20 \dots 50 \text{ МОм} \cdot 10 \text{ Вт}$ - резистор, ограничивающий ток; E - разрядная линия

щениях.

Запыленный воздух из помещения проходит между заряжающими и осадительными пластинами фильтра, очищается и поступает опять в помещение. 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. 14.5) состоит из панели управления работой вентилятора и блока повышения сетевого напряжения до 8 кВ. Высоковольтный блок содержит: понижающий трансформатор TV1 220/32 В; выпрямитель UZ; конденсатор C1, сглаживающий пульсацию выпрямленного напряжения; стабилизатор-регулятор напряжения со схемой защиты от перегрузки и короткого замыкания, выполненный на трансформаторах VT1, VT2, VT3; преобразователь постоянного тока в ток повышенной частоты на транзисторах VT4, VT5 и трансформаторе TV2; схему удвоения напряжения, вы-

полненную на конденсаторах С3, С4 и диодах VD5, VD6. Высокое напряжение регулируют резистором R5.

Установку размещают или в помещении, где очищают воздух, или в подсобном помещении (рис. 14.4, б), в котором желательно иметь водопровод для промывки фильтра один раз в две недели и слив загрязненной воды.

Методика выполнения работы

1. Действие электрического поля на заряженные частицы в воздухе, способы зарядки частиц и молекул кислорода изучить по описанию работы и литературе. Знать факторы, влияющие на заряд частицы и действующие на нее силы. Уметь определить напряжение, необходимое для получения требуемой степени очистки газов или создания необходимой концентрации аэроиона в воздухе.

2. Устройство и принцип работы установок изучить на лабораторном оборудовании и по рисункам описания работы. Измерить конструктивные параметры установки очистки и ионизации воздуха УОВ-1 и электрического ионизатора, необходимые для дальнейших расчетов (табл. 14.2).

14.2. Конструктивные и технологические параметры установок очистки и аэроионизации воздуха

Установка очистки воздуха				Ионизатор воздуха		
S_1	$n_э$	d	ω	R_1	R_2	l
м	шт	м	м/с	м	м	м

В табл. 14.2: S_1 – площадь электрода осадительной секции; $n_э$ – число электродов; d – расстояние между электродами в осадительной секции; $\omega = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ – подача воздуха; R_1, R_2 – радиус кривизны коронирующего и осадительного электродов; l – длина коронирующих электродов.

Радиус коронирующего электрода R_1 принять равным радиусу волокон хлопчатобумажной оплетки разрядного провода. Замерить

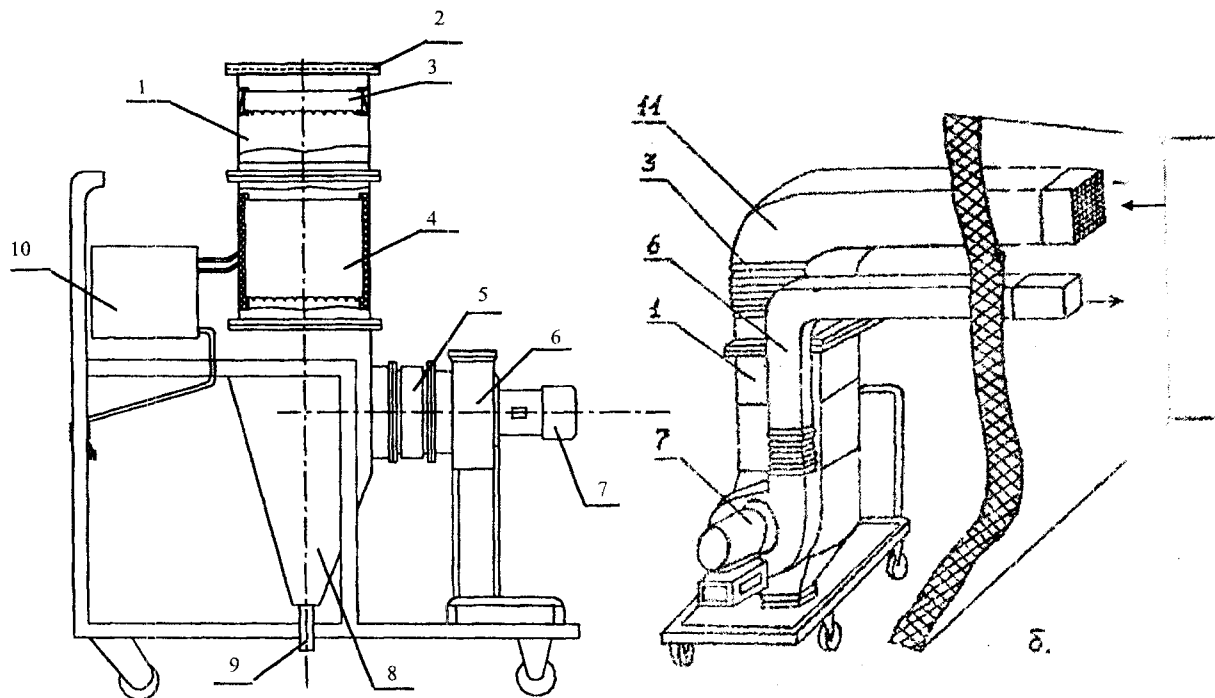


Рис. 14.4. Установка электроочистки и ионизации воздуха УОВ-1 (а) и схема размещения ее в помещении (б): 1 – электрофильтр-аэроионизатор; 2 – сетка защитная; 3 – пластина секции заряжающей; 4 – пластина секции осадительной; 5 – вставка виброгасительная; 6 – воздуховод нагнетательный; 7 – электропривод вентилятора; 8 – пылеуловитель; 9 – патрубок удаления пыли; 10 – блок управления и питания; 11 – воздуховод заборный

микрометром. Радиус осадительного электрода R_2 принять равным высоте подвеса разрядной линии.

3. Влияние напряженности E электрического поля на степень очистки воздуха и величину заряда q_{cp} частицы определить расчетным методом по формулам (14.6), (14.9), (14.10). Принять $B_n = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В с})$, $\varepsilon_r = 2 \dots 6$; $a = (1 \dots 4) \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Значения η и q_{cp} найти для 3...4 значений E . Напряжение на электродах регулировать в диапазоне от U_{\min} до U_{\max} резистором R4 (рис. 14.5).

Мощность фильтра (Вт) $P = UI$, где U, I – напряжение и ток фильтра.

Расход энергии на фильтрацию воздуха (Дж/м³) $W = P/\omega$

Результаты расчетов записать в табл. 14.3.

14.3. Зависимость степени очистки воздуха и величины частиц от напряженности электрического поля

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

4. Зависимость потока N аэроионов от напряжения на зарядной линии U , мощность P аэроионизатора и расход энергии W определить расчетным и экспериментальным методом, используя зависимости (14.16), (14.17). Результаты расчетов записать в табл. 14.4.

14.4. Зависимость потока аэроионов, мощности и расхода энергии на аэроионизацию от напряжения на разрядной линии

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

В табл. 14.4: I – ток разрядной линии; i – разрядный ток на единицу длины линии; $n = Nl_p/V$ – средняя концентрация аэроионов в

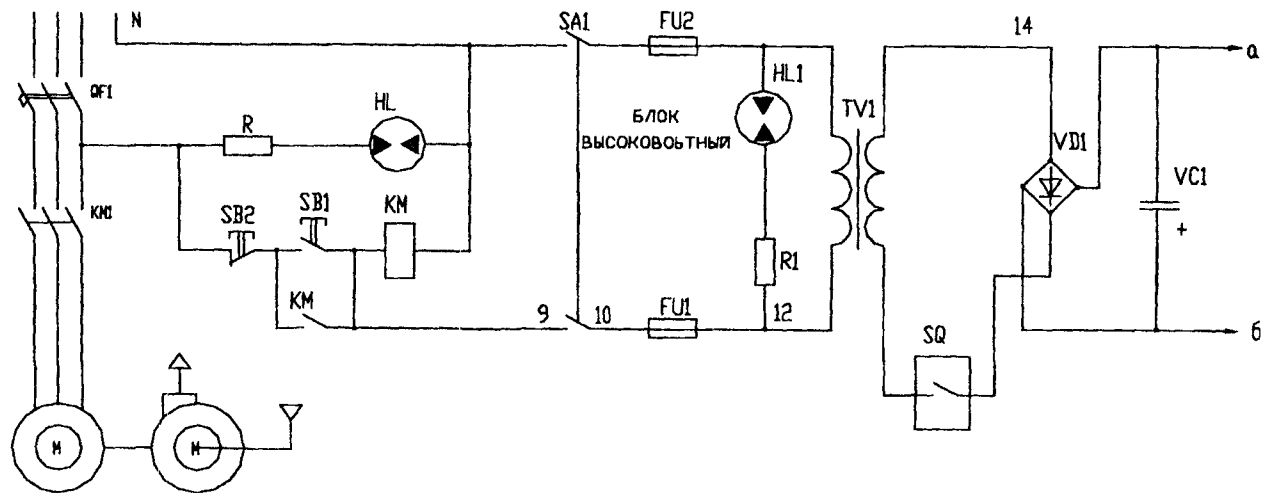


Рис. 14.5,а. Схема принципиальная электрическая установки VOB-1

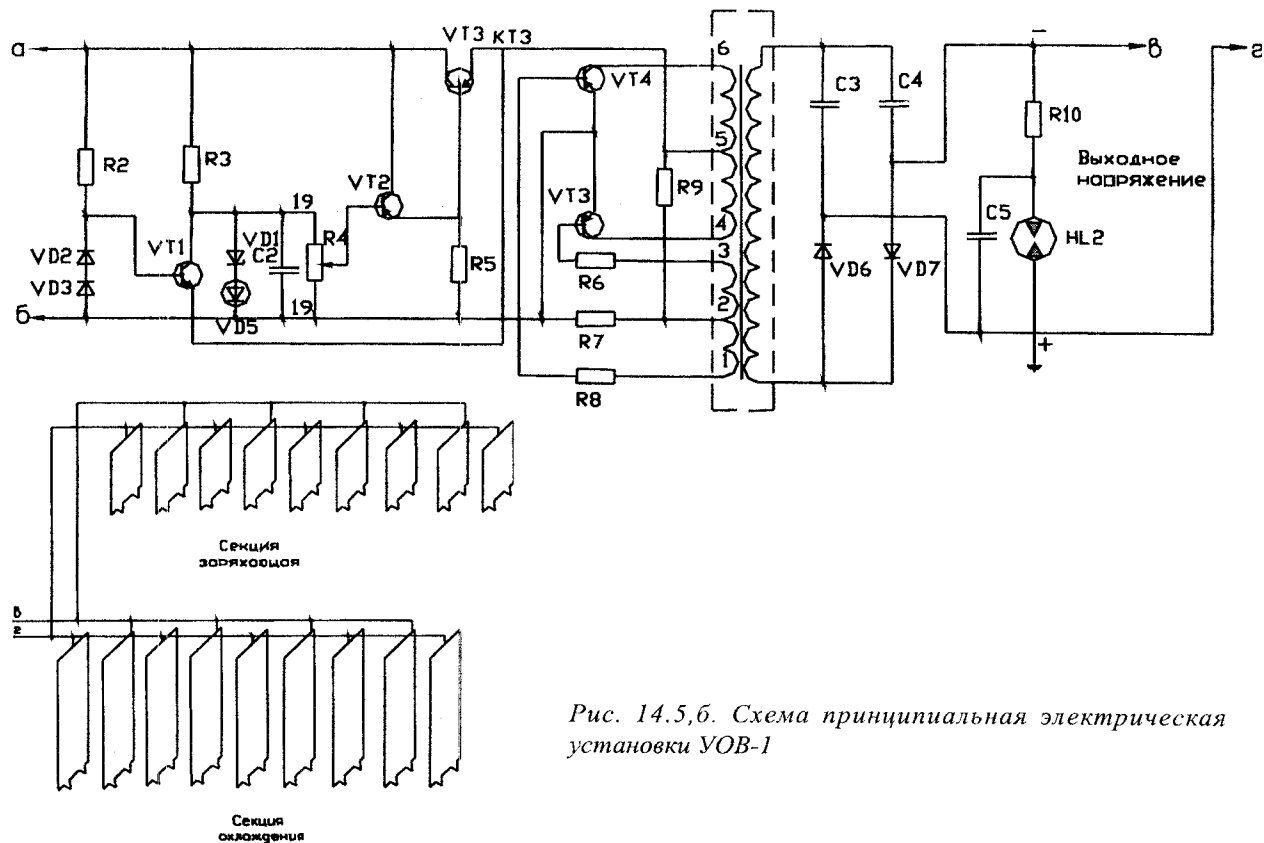


Рис. 14.5,б. Схема принципиальная электрическая установки УОБ-1

помещении объемом V ; $P = UI$ – мощность аэроионизатора;
 $W = P\tau/V$ – расход энергии на аэроионизацию воздуха.

Расчетная длина разрядной линии в помещении (рис. 14.2)

$$l_p = n_H V_n / N,$$

где n_H – рекомендуемая концентрация аэроионов в помещении, ион/м³, принять из табл. 14.1; V_n – объем помещения, м³. Размеры помещения принять из рис. 14.2, высота помещения 4 м.

Напряжение на разрядной линии в помещении (рис. 14.2) определить по формулам (14.12)...(14.14).

Содержание отчета

Цель, задачи работы. Таблицы с результатами исследований. Графические зависимости $\eta, q_{cp}(E)$; $N, n(U)$. Мощность и расход энергии на фильтрацию и аэроионизацию. Расчетные значения l_p и U_0 для разрядной линии в помещении (рис.14.2). Выводы по задачам и результатам работ.

Контрольные вопросы 1. Способы зарядки частиц. 2 Силы действующие на заряженные частицы в электрическом поле. 3. Принципы электрофильтрации и ионизации воздуха. 4. Устройство и принцип работы установки УОВ-1 и аэроионизатора.

15. Ультразвуковые установки

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы технологических ультразвуковых установок, приобрести навыки обслуживания и испытания.

Задачи работы

1. Изучить природу, характеристики, технологические свойства, области применения ультразвука
2. Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы генератора УЗГ-3-04 с ванной лужения УЗВЛ-0,4 и ультразвуковой установки УЗУ-0,25, приобрести навыки работы.
3. Настроить генератор УЗГ-3-04 на оптимальный режим работы и определить основные энергетические параметры установки.
4. Исследовать интенсивность ультразвуковых колебаний в ванне установки УЗУ-0,25, провести опыты по некоторым технологическим проявлениям ультразвука.

Общие сведения

Ультразвук представляет собой периодические механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах, обладающих упругими свойствами, с частотой, лежащей выше порога слышимости человеческого уха (выше 16 кГц). Верхний предел частоты ультразвуковых колебаний – 10^{10} Гц.

Возбуждают ультразвук с помощью вибраторов (преобразователей), которые преобразуют механическую или электрическую энергию в механические колебания частиц среды путем создания в ней периодических повторяющихся упругих напряжений. Эти напряжения, в свою очередь, возбуждают колебания соседних частиц и т.д. – ультразвуковые колебания распространяются от частицы к частице, каждая из которых колеблется с частотой около некоторого среднего положения равновесия. Средние частицы во времени имеют волновой характер и в первом приближении подчиняются синусоидально-

му закону:

$$b = B \sin \omega(\tau - x/c), \quad (15.1)$$

где b – смещение частиц среды относительно положения равновесия; B – амплитуда смещения; $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ – круговая частота ($T = 1/f$ – период); τ – время; c – скорость распространения ультразвуковой волны; x – текущая координата. Величину $\omega(\tau - x/c)$ называют фазой волны.

Как физическое явление, ультразвук относится к области акустики: излучение, распространение и поглощение упругих колебаний в различных средах подчиняются общим законам акустики. Но ультразвуковая технология (использование ультразвука в технологических процессах) является частью электротехнологии, т.к. получение ультразвука основано преимущественно на преобразовании электрической энергии в энергию механических (акустических) колебаний упругих сред).

В среде, в которой возбуждается ультразвук, создается ультразвуковое поле. Основными параметрами, характеризующими ультразвуковое поле, являются: звуковое давление P , плотность энергии W , интенсивность ультразвука I , скорость распространения ультразвуковой волны.

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

$$P = \rho c B \omega \cos \omega(\tau - x/c) = P \cos \omega(\tau - x/c), \quad (15.2)$$

где $P = \rho c B \omega = z_a U$ – амплитудное значение давления, Па; $U = B \omega$ – амплитуда скорости смещения частиц, м/с; $z_a = \rho c$ – удельное акустическое сопротивление среды, (Па с)/м; ρ – плотность среды, кг/м.

Скорость распространения продольной ультразвуковой волны:
- в жидкостях

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho\beta}}, \quad (15.3)$$

в твердых телах

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (15.4)$$

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

Плотность энергии (средняя за период колебаний T)

$$W = \frac{1}{2} \rho U^2 = \frac{1}{2} \rho B^2 \omega^2. \quad (15.5)$$

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

$$I = \frac{1}{2} P U = \frac{1}{2} \rho c U^2 = \frac{1}{2} z_u U^2. \quad (15.6)$$

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

Ультразвук используют в технологических процессах и измерительной технике в соответствии с его проявлениями (эффектами), наблюдаемыми в средах при возбуждении в них ультразвука. Основные из них следующие: акустические, механические, термические, биологические.

Акустические проявления состоят в том, что, как отмечалось, ультразвук распространяется, частично или полностью поглощается, отражается (на границах раздела фаз) в соответствии с законом акустики. Эти свойства ультразвука используют в измерительной технике и дефектоскопии, применяя слабые интенсивности колебаний ($10^{-2} \dots 10^2$ Вт/м²).

Механические проявления ультразвука наблюдаются в газообразных и жидких средах, это: переменное давление и переменный поток частиц, радиационное давление, кавитация (в жидких средах), поверхностное трение, диспергирование твердых тел, коагуляция частиц, разделение частиц, дегазация жидкостей и др.

Термические проявления состоят в том, что среда, в которой происходит распространение колебаний, поглощает часть энергии колебаний, которая переходит в тепловую и нагревает среду, а также расходуется на изменение структуры вещества.

Биологические проявления заключаются во влиянии ультразвука на изменение скорости протекания физиологических процессов в биологических объектах (высших и низших). При высокой интенсивности ультразвука это может привести к необратимым повреждениям и даже отмиранию тканей.

В технологических процессах используют, главным образом, механические проявления ультразвука при высокой его интенсивности (более 10^3 Вт/м²). Области технологического использования ультразвука чрезвычайно обширны: очистка и мойка деталей; сведение, фрезерование, разрезание, долбление глухих отверстий в материалах, обладающих большой ударной хрупкостью (стекло, керамика, кварц, сверхтвердые сплавы); сварка и пайка металлов (в том числе и алюминия), пластмасс с металлами, очистка дымовых газов; смешивание несмешивающихся жидкостей (масел с водой и т. п.), приготовление эмульсий; пастеризация и гомогенизация молока; предпосевная обработка семян и др.

Ультразвуковые преобразователи предназначены для преобразования электрической энергии ультразвуковой частоты в энергию механических колебаний и подвода их к объекту воздействия. Магнито-стрикционные преобразователи основаны на магнито-стрикционном эффекте, состоящем в изменении геометрических размеров тел, выполненных из магнито-стрикционных материалов (железо, никель, сплавы альфер, пермандюр 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 (ЦТС) и др.) в переменном электрическом поле.

Конструктивное выполнение преобразователей может быть весьма разнообразно в зависимости от технологического назначения, мощности, частоты, условий работы. Некоторые виды преобразователей

приведены на рис. 15.1.

Ультразвуковые генераторы предназначены для преобразования электрической энергии промышленной частоты в энергию переменного тока ультразвуковой частоты, необходимой для питания преоб-

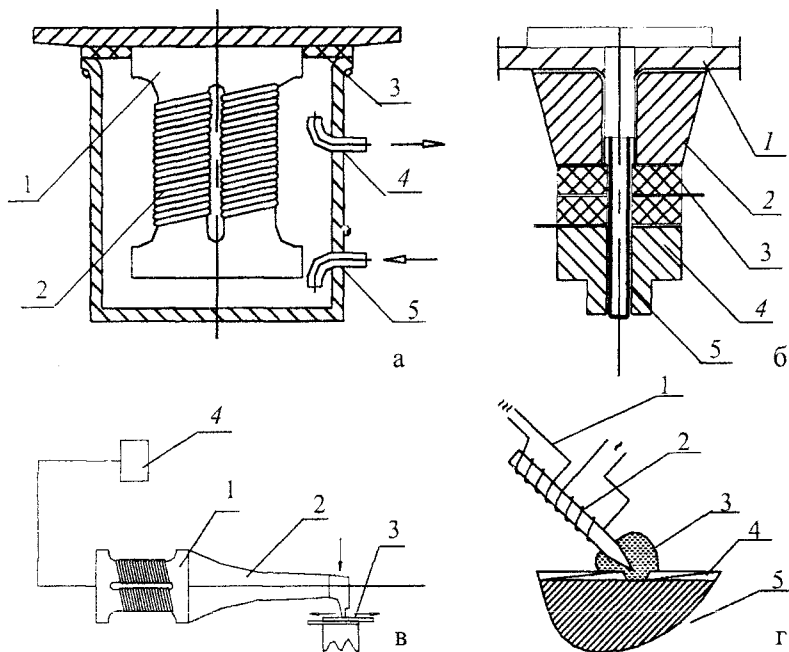


Рис. 15.1. Некоторые виды ультразвуковых преобразователей: а – магнестрикционный преобразователь типа ПМС: 1 – магнестрикционный пакет; 2 – обмотка; 3 – излучающая пластина; 4,5 – выход и вход охлаждающей воды; б – пьезокерамический преобразователь: 1 – дно или стенка оборудования; 2,4 – накладки; 3 – пьезокерамическая пластина; 5 – стяжной болт с излучающей головкой; в – магнестрикционный преобразователь с концентратором для ультразвуковой сварки: 1 – магнестрикционный пакет с обмоткой; 2 – концентратор ультразвука; 3 – свариваемые детали; 4 – генератор; г – схема ультразвукового паяльника: 1 – магнестрикционный пакет с обмоткой, питаемой от ультразвукового генератора; 2 – нагревательная обмотка; 3 – припой; 4 – окисная пленка; 5 – деталь

разователсй (магнитострикционных или пьезоэлектрических). Генератор может питать различные по назначению преобразователи, дополнительные устройства и приспособления (ультразвуковые ванны, механизмы подачи и др.). Генераторы могут быть ламповыми, транзисторными, тиристорными, машинными. В лаборатории представлены ультразвуковой генератор УЗГ-3-04 и ультразвуковая установка УЗУ-0,25.

Генератор УЗГ-3-04 является источником электрической энергии ультразвуковой частоты для питания ванн для очистки и лужения, сварочного пистолета, паяльника.

Ультразвуковая установка УЗУ-0,25 предназначена для очистки мелких деталей. Технические характеристики приведенного оборудования представлены в табл. 15.1.

15.1. Технические характеристики ультразвукового оборудования, представленного в лаборатории

Параметры	УЗГ-3-04	УЗУ-0,25
Мощность генератора, кВт		
- выходная	0,4	0,25
- потребляемая	1,1	0,45
Напряжение, В		
- выходное	20...220	-
- питающее сетевое	220	220
Преобразователь	магнито-	пьезо-
Частота, Гц	стрикционный	керамический
- питающей сети	50	50
- генератора		
в положении ВО	$(17,5...19,3)10^3$	$18 \cdot 10^3$
в положении	$(20,4...23,0)10^3$	-
в положении П и ПС	$(39,6...45,0)10^3$	-
Ток подмагничивания, А	2...6	-
Масса, кг	60	30

Генератор УЗГ-3-04 изготовлен в соответствии с принципиальной электрической схемой (рис. 15.2) и состоит из следующих узлов: автогенератора, анодного выпрямителя, выпрямителя тока подмагничивания, выпрямителя экранной сетки, феррорезонансного стабилизатора напряжения накала, цепей управления и защиты. Автогенератор выполнен на тетроиде VL1 по схеме двухконтурного автогенератора. Контур в цепи управляющей сетки лампы, включающий элементы L1, C13...C18, используется для получения обратной связи. В зависимости от рода работы переключатель SA4 устанавливают в одно из следующих положений: ВО – ванна для очистки, ВЛ – ванна для лужения, ПС – для сварочного пистолета, П – для паяльника. Каждому из положений соответствуют свои параметры сеточного контура и, следовательно, частота, приведенная в табл. 15.1.

Анодный колебательный контур образован первичной обмоткой выходного трансформатора TV4 и конденсаторами C9, C10. Напряжение вторичной обмотки трансформатора TV4 через разделительный конденсатор C12 подается на нагрузку и контролируется вольтметром PV.

Выходное напряжение регулируется плавно переменным резистором RP1 и ступенчато переключением витков вторичной обмотки TV2. Смещение на управляющую сетку автоматическое, за счет падения напряжения от постоянной составляющей катодного тока на резисторе R7. Анодный выпрямитель собран по однофазной мостовой схеме на выпрямительных столбах VD7...VD18. В каждом плече моста включено по три последовательно соединенных столба. Выпрямитель питает автогенератор выпрямленным напряжением при токе 0,35 А (напряжение 2,5). Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения применен фильтр C7, LL2.

Выпрямитель тока подмагничивания служит для обеспечения эффективной работы магнестрикционного преобразователя. Он собран на диодах VD1...VD4 по однофазной мостовой схеме и рассчитан на выпрямленный ток от 2 до 5 А. В схеме предусмотрена ступенчатая регулировка тока подмагничиванием магнестрикционного преобразователя путем постановки пакетного переключателя SA2 в положение, соответствующее подключенному технологическому

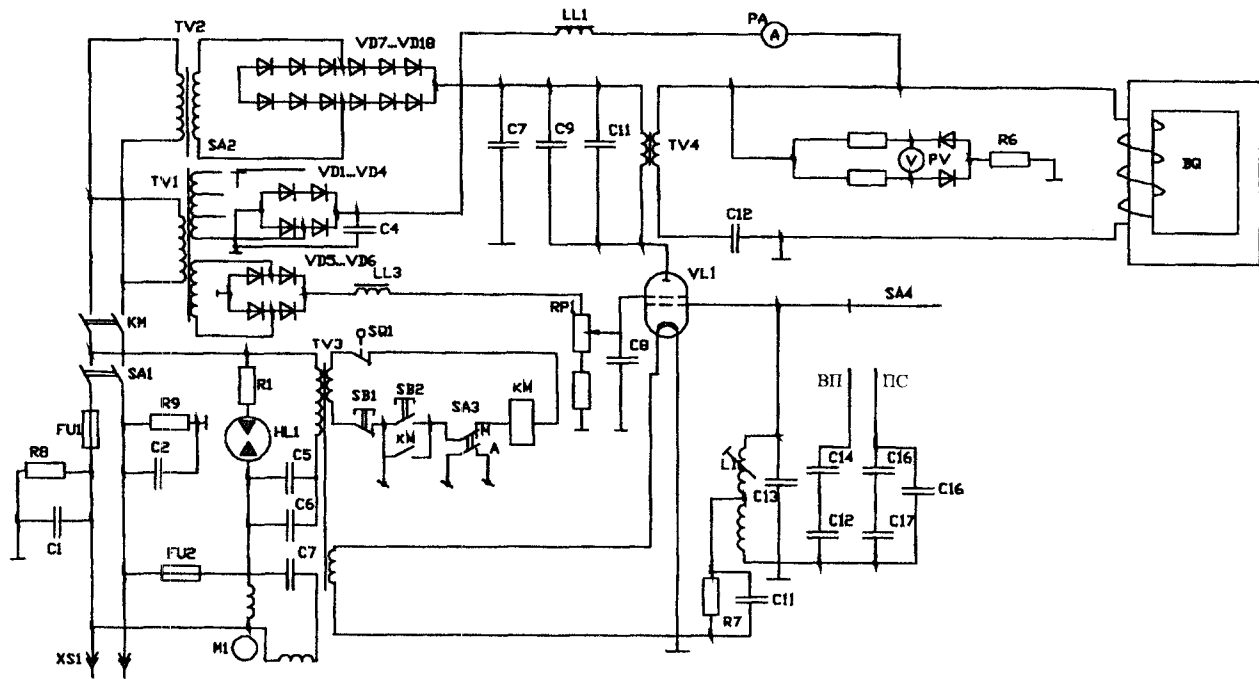


Рис. 15.2. Принципиальная электрическая схема генератора УЗГ-3-04

оборудованию.

Выпрямитель экранной сетки собран по однофазной мостовой схеме на кремниевых диодах VD5, VD6. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения имеется фильтр (LL3, C8). Выпрямленное напряжение регулируют переменным резистором RP1 в пределах от 60 до 220 В.

Для поддержания напряжения накала генераторной лампы и напряжения обмотки реле KV1 в допустимых пределах при произвольных изменениях напряжения в сети в генераторе имеется феррорезонансный стабилизатор напряжения. Для стабилизации используется свойство глубокого насыщения сердечника трансформатора TV3.

Напряжение накала лампы VL1 подают выключателем SA1. Анодное, экранное напряжение и ток подмагничивания включают нажатием кнопки SB2 “Пуск”.

Микровыключатель SQ1 служит для защиты от включения высокого напряжения генератора при снятом кожухе.

Выключатель SA3 имеет два положения “Местное” и “Дистанционное”. В первом из этих положений оператор включает колебания с передней панели генератора, а во втором – с моста установки технологического оборудования.

Ультразвуковая установка УЗУ-0,25 состоит из генератора и ванны. Принципиальная электрическая схема установки приведена на рис. 15.4.

Включение установки производят выключателем SA1. Питание от трансформатора TV1 подается через диод VD1 на задающий генератор, собранный на транзисторе VT1 по схеме с индуктивной обратной связью и колебательным контуром.

Электрические колебания ультразвуковой частоты, возникающие в задающем генераторе, подаются на вход предварительного усилителя мощности трансформатором TV2.

Предварительный усилитель мощности состоит из двух ступеней, одна из которых собрана на транзисторах VT2, VT3, вторая - на транзисторах VT4, VT5. Обе ступени предварительного усиления мощности собраны по последовательно-двухтактной схеме, работающей в режиме переключения. Ключевой режим работы транзисторов по-

звolyет получить достаточно высокий КПД.

Цепи без транзисторов первой и второй ступени усиления мощности подключены к отдельным, включенным вторично обмоткам возбуждения TV2, TV5. Это обеспечивает двухтактную работу транзисторов, т.е. поочередное включение.

Автоматическое смещение транзисторов обеспечивается резисторами R3 ... R6 и конденсаторами C6, C7, 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, проходя через резисторы R3...R6, создает на них падение напряжения, обеспечивающее 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 обмотке трансформатора TV4, причем в каждой ячейке эти напряжения противофазны. С трансформаторных ячеек переменное напряжение подается на обмотки трансформатора TV3, где происходит сложение мощностей, и с выходной обмотки трансформатора напряжение подается на пьезоэлектрические преобразователи BQ1...BQ3.

Так как транзисторы работают в режиме переключения, то выходное напряжение имеет прямоугольную форму, содержащую гармоники. Для выделения 1-й гармоники напряжения на преобразователе, к выходной обмотке трансформатора TV3 последовательно с преобразователем включена катушка L, индуктивность которой рассчитана таким образом, что собственной емкостью преобразователя она составляет колебательный контур, настроенный на 1-ю гармонику напряжения. Это позволяет получить на нагрузке синусоидальное напряжение, не меняя энергетически выгодного режима транзисторов.

Методика выполнения работы

Изучение электрических схем и конструкций установок, правил

настройки и обслуживания, а также основных применений ультразвука производится предварительно при подготовке к лабораторной работе по рекомендованной литературе и в соответствии с настоящими указаниями.

В данной работе ультразвуковой генератор УЗГ-3-04 комплектуется ванной лужения УЗВЛ-0,4 с магнитострикционным преобразователем, поэтому переключатель SA4 устанавливают в положение ВЛ. Припой помещают в ванночку, соединенную с магнитострикционным преобразователем. Расплавление припоя осуществляют с помощью специального (встроенного в УЗВЛ-0,4) электрического нагревателя. В расплавленном припое возбуждаются ультразвуковые колебания, которые снимают окисные пленки со спаиваемых, например алюминиевых, деталей и надежно их залуживают.

По условиям охраны труда работу с припоем в учебной лаборатории производить нельзя. Вместо припоя в ванночку помещают другой материал (по указанию преподавателя). Для преподавания испытаний установка оборудована необходимыми приборами (рис. 15.3). Последовательность операций по вводу установки в работу такова. Посредством штепсельной вилки XS1 и шнура на генератор подают питание от сети 220 В, 50 Гц. Одновременно с включением вилки в сеть начинает работать электродвигатель M1 вентилятора (рис. 15.2).

Выключателем SA1 подают напряжение накала и генераторной лампы VL1, о чем сигнализирует лампочка HL1 "НАКАЛ". Через 3...5 минут после включения накала кнопкой SB2 "ПУСК" включать высокое напряжение. В исправном генераторе одновременно с включением высокого напряжения должны возникнуть колебания.

При работе с ванной лужения включение генератора в работу осуществляют выключателем "КОЛЕБАНИЯ" на передней панели ванны. При этом переключатель SA3 (рис. 15.2) генератора переводят в положение "Д" (дистанционно).

Ручкой RP1 "РЕГУЛИРОВКА ЧАСТОТЫ" по минимуму выходного напряжения устанавливают частоту, соответствующую резонансной частоте преобразователя.

Ручкой SA2 "РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ" устанавливают выходное напряжение, контролируемое вольтметром PV2.

После окончания работы выключателем “КОЛЕБАНИЯ” (или кнопкой SB1) выключают напряжение. Выключатель SA1 “НАКАЛ” переводят в нижнее положение.

Спустя 5 минут после выключения накала генератор отключают от сети, а затем для разрядки конденсаторов C1 и C2 вилку питания замыкают накоротко.

Экспериментальные исследования производят после выполнения п.п. 1 и 2 “Задачи работы” и получения разрешения преподавателя.

А. Установка с генератором УЗГ-3-04 и ванной лужения УЗВЛ-0,4:

1. Заполнить ванночку для припоя водой (50 г) или другим материалом по указания преподавателя.

2. Выполнить все операции по вводу установки в работу в последовательности, приведенной выше. Ток подмагничивания (амперметр PA3) не должен превышать 8А.

3. Включив установку, ручкой RP1 “РЕГУЛИРОВКА ЧАСТОТЫ” настраивают генератор на оптимальный режим, устанавливаемый по минимуму выходного напряжения. Параметры, соответствующие оптимальному режиму: силу входного тока I_1 (PA1), потребляемую мощность P_1 (PW), ток подмагничивания I_3 (PA3), входное напряжение U_2 (PV2) и ток I_2 (PA2) заносят в табл. 2 для значений входного напряжения U_2 , указанных ниже.

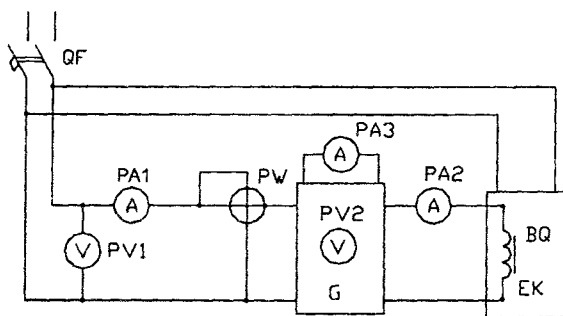


Рис. 15.3. Схема экспериментальной установки: G – ультразвуковой генератор УЗГ-3-04; EK – ванна лужения УЗВЛ; BQ – обмотка магнотрикссионного преобразователя

ность P_1 (PW), ток подмагничивания I_3 (PA3), входное напряжение U_2 (PV2) и ток I_2 (PA2) заносят в табл. 2 для значений входного напряжения U_2 , указанных ниже.

4. Для оптимального режима работы установить

выходное напряжение в 100, 140, 180, 220 В и при каждом из них обрабатывать (“озвучивать”) материал в течение 3...10 мин (по указанию преподавателя). Температуру обрабатываемого материала измерять термомпарой или ртутным термометром (в последнем случае необходимо ОБЯЗАТЕЛЬНО отключить колебания).

5. По результатам измерений определить:

- приближенное значение акустической мощности $P_{ак}$ преобразователя, полагая, что ультразвуковая энергия, поглощаемая в материале, преобразуется в тепловую:

$$P_{ак} = \frac{mc(t_2 - t_1)}{\tau\eta_n}, \quad (15.7)$$

где m – масса (кг) и удельная теплоемкость (Дж/кг⁰С) материала; t_1, t_2 – начальная и конечная температура материала, ⁰С; τ – время “озвучивания” материала, с; η_n – КПД преобразователя, который можно принять равным 0,54;

- коэффициент мощности установки

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

- мощность, потребляемую преобразователем, полагая, что в оптимальном режиме (при резонансе) сопротивление рабочего колебательного контура и, следовательно, его элемента ВQ (см. рис. 15.2) является активным. В этом случае

$$P_2 = U_2 I_2, \quad (15.8)$$

- акустический КПД $\eta_{ак}$, КПД генератора η_g и КПД установки η_y :

$$\eta_{ак} = \frac{P_{ак}}{P_2}; \quad \eta_g = \frac{P_2}{P_1}; \quad \eta_y = \frac{P_{ак}}{P_1}; \quad (15.9)$$

- построить графические зависимости вычисленных величин (табл. 15.2) в функции выходного напряжения U_2 .

Б. Установка УЗУ-0,25 используется для измерения интенсивно-

15.2. Энергетические характеристики установок с генератором УЗГ-3-04

Измерено								Вычислено					
$U_1,$ B	P_1 Bm	$I_1,$ A	I_3 A	$I_2,$ A	$U_2,$ B	$m,$ $кг$	$t_1,$ $^{\circ}C$	$t_2,$ $^{\circ}C$	$P_{ак},$ Bm	$\cos \varphi$ -	$\eta_{ак}$ -	η_{σ} -	η_y -

сти ультразвука и проведения демонстрационных опытов.

Перед включением установки ванну заполняют измеренным количеством воды до уровня 120...130 мм. Включение генератора производят штепсельной вилкой и тумблером SA (рис. 15.4).

1. "Озвучить" воду в течение $\tau = 10 \dots 15$ мин, записав в табл. 15.3 ее массу m , объем V , начальную t_1 и конечную t_2 температуру. Плотность энергии (Дж/м³), поглощенной водой:

$$W = \frac{mc(t_2 - t_1)}{V}.$$

Согласно формулам (15.5) и (15.6) интенсивность ультразвука

$$I = cW,$$

где $C = 1495$ м/с – скорость ультразвука в воде.

Измерения и вычисления проделать с трехкратной повторностью (табл. 15.3), не меняя воду в ванне.

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 :

15.3. Плотность ультразвуковой энергии и интенсивность ультразвука в ванне установки УЗУ-0,25

Измерено					Вычислено	
$m,$	$V,$	$\tau,$	$t_1,$	$t_2,$	$W,$	$I,$
$кг$	$м^3$	$с$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$Дж / м^3$	$Вт / м^2$

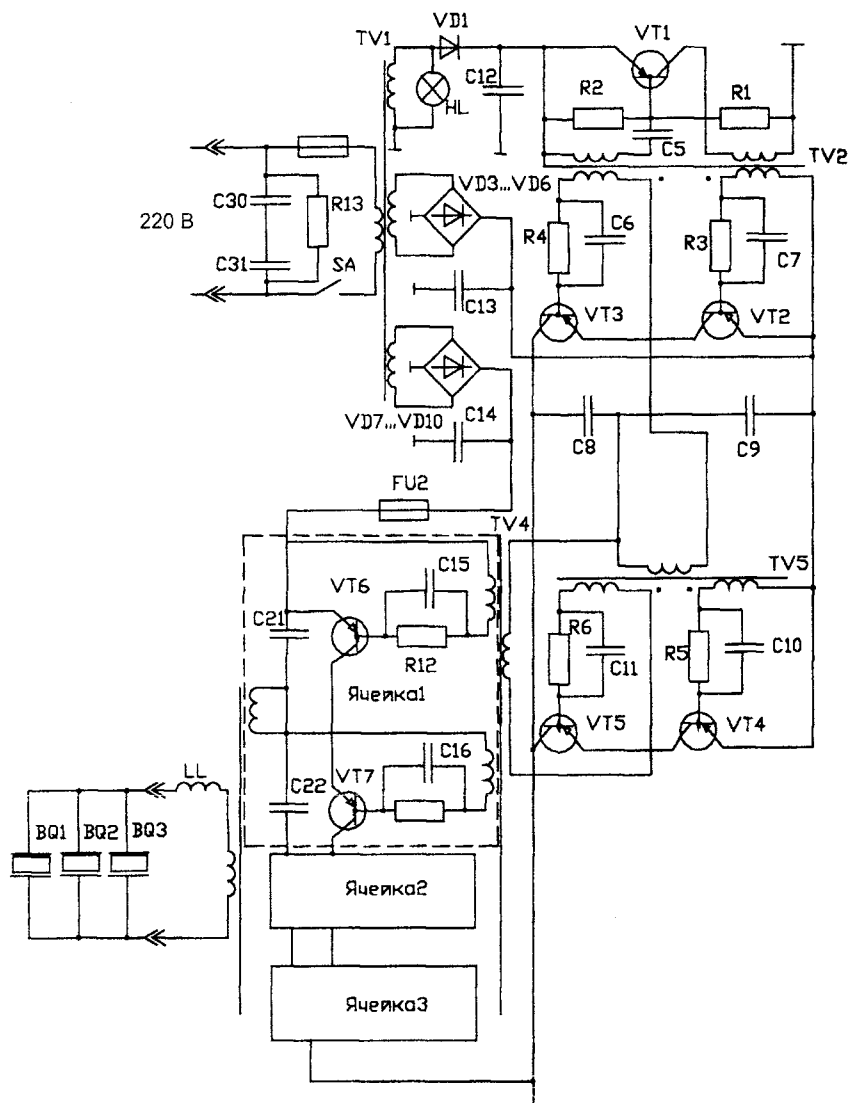


Рис. 15.4. Принципиальная электрическая схема установки УЗУ-0,25

$$I = \frac{1}{2} Sc = \frac{1}{2} \rho g h c,$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h – высота уровня жидкости в капилляре над уровнем в ванне. Эти зависимости используют как один из методов измерения интенсивности ультразвуковых колебаний в жидких средах.

3. Поместить в ванну пробирку, заполненную водой и трансформаторным маслом, и наблюдать явление смешивания жидкостей. Пробирку, заполненную маслом, несколько раз энергично встряхнуть, поместить в ванну и наблюдать эффект дегазации жидкости.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, схемы электрические, принципиальные установок УЗГ-3-04, УЗУ-0,25; результаты измерений и расчетов, графические зависимости $P_{ак}$, $\cos \varphi$, $\eta_{ак}$, η_2 , η_y в функции U_2 .

Контрольные вопросы. 1. Технологические свойства ультразвука и области применения в с.х. производстве. 2. Параметры ультразвукового поля и как они определяются. 3. Физические принципы, на которых основаны ультразвуковые преобразователи. 4. Принципиальные электрические схемы ультразвукового генератора УЗГ-3-04. 5. Принципиальная электрическая схема ультразвуковой установки УЗУ-0,25.

16. Установки электромагнитной обработки материалов

Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, электрические схемы представленных в лаборатории установок магнитной обработки материалов, приобрести навыки их обслуживания.

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 МДС магнитного отделителя.

Общее положение

В установках магнитной обработки материалов для технологических целей используют энергию магнитного поля непосредственно или путем ее преобразования в другие виды (механическую, тепловую, химическую и др.)

Объемная энергия магнитного поля (Дж/м^3) в вещественной среде

$$W = \frac{1}{2}BH = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0\mu} = \frac{1}{2} \mu_0\mu H^2, \quad (16.1)$$

где B и H – магнитная индукция (Тл) и напряженность магнитного поля (А/м) – основные величины, характеризующие магнитное поле.

Они связаны известной зависимостью

$$\bar{B} = \mu_0 \mu \bar{H} = \mu_0 \bar{H}, \quad (16.2)$$

где $\mu_0 = 2 \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость вещества, Гн/м; $\mu = \mu_a / \mu_0$ – относительная магнитная проницаемость вещества.

Основными технологическими свойствами магнитного поля являются: механические (электродинамические) силы поля; электромагнитная индукция; физико-химическое действие; биологическое действие.

В данной работе изучаются установки, основанные на использовании механических сил и физико-химического действия магнитного поля.

Механические силы магнитного поля используются в установках магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов.

Насыщение сельскохозяйственного продукта средствами механизации приводит к засоренности зерна, продуктов его переработки, кормов различными металлическими (в основном ферромагнитными) предметами и частицами, попадающими в кормоприготовительные машины и пищеварительный тракт животных. Это неблагоприятно сказывается как на работе машин, так и на организме животных. Например, на животноводческих комплексах по откорму молодняка КРС на 10 тысяч голов из потока стебельчатых кормов в зависимости от способа их закладки и хранения извлекается в среднем в год от 3000 до 6500 ферромагнитных предметов общей массой от 120 до 180 кг.

Законы механики определяют силу как частную производную энергии по некоторой координате x , в направлении которой находят силу поля. Прделав эту операцию с выражением (16.1), получим формулу для плотности механических сил поля, Н/м³,

$$f = \frac{B}{\mu_0 \mu} \text{grad} B = \mu_0 \mu H \text{grad} H, \quad (16.3)$$

где $\text{grad} B = \partial B / \partial x$. Равенство $\text{grad} B = \text{grad} H$ имеет место лишь в средах, где зависимость $B = f(H)$ линейна (в неферромагнитных

средах). Из (16.3) видно, что механические (пндематорные) силы поля имеют место лишь в неоднородных магнитных полях, т.к. в противном случае $gradB = 0$ и $f = 0$.

На тело объемом $V, м^3$, действует сила H ,

$$\vec{F} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu} V grad \vec{B}. \quad (16.4)$$

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. На рис.16.1 приведены технологические схемы некоторых типов установок.

Магнитные колонки типа БКМ (рис. 16.1,а) имеют модификации: БКМ2-1,5; БКМ2-3; БКМП2-3; БКМА2-500 и предназначены для выделения металломагнитных примесей из продуктов переработки зерна. Первая цифра в марке колонки обозначает число магнитных линий, вторая – длину одной магнитной линии в миллиметрах. Колонки оборудованы постоянными магнитами из сплава магнико.

Электромагнитный сепаратор ЭМ – 10 А (рис.16.1,б) предназначен для удаления металломагнитных примесей. Состоит из питающего устройства, электромагнита, механизма очистки магнитных полюсов от примесей, привода. Неподвижный электромагнит питается постоянным током от выпрямителя, мощность 0,8 кВт.

Электромагнитный сепаратор А1 – ДЭС (рис. 16.1,в) устанавливают перед дробилками в технологических линиях комбикормовых предприятий. Сепаратор состоит из корпуса, внутри которого расположены питающее устройство, вращающийся барабан, электромагнитная система, устройство для вывода сырья и металломагнитных примесей, привода. Металломагнитные тела притягиваются электромагнитом к вращающейся обечайке из немагнитного материала в нерабочую зону, где экран нейтрализует магнитное поле, и металлочастицы удаляются с помощью щетки 4 в сборник 6. Мощность электромагнита 0,45 кВт.

Установки магнитной очистки семян применяют для отделения семян таких сорняков, как повилика, горчак, василек, лебеда, герань

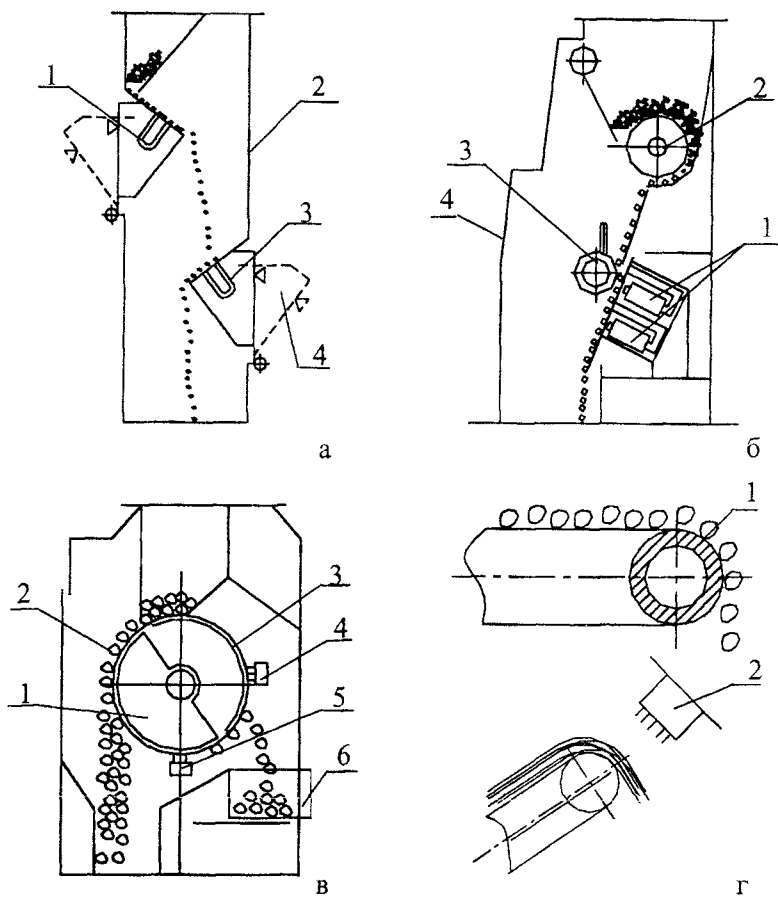


Рис.16.1. Технологические схемы установок магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов: а – магнитная колонка БКМ2-3 – 1,3 – магниты, 2 – смотровое окно, 4 – магниты в положении для очистки от металлических частиц; б – электромагнитный сепаратор ЭМ-101 – 1 – электромагниты, 2 – барабан, 3 – механизм очистки электромагнитов, 4 – смотровое окно; в – электромагнитный сепаратор А1-ДЭС – 1 – электромагнитная система, 2 – обечайка, 3 – экран, 4, 5 – щетки, 6 – сборник металлических примесей; г – сепараторы транспортерного типа – 1 – магнитный барабан, 2 – электромагнит

и др. от семян культурных растений: клевера, люцерны, льна, других мелкосеменных культур. Обычными, механическими способами их разделить практически невозможно, т.к. они имеют примерно одинаковую массу, парусность и др. признаки, на которых основано разделение в механических установках. Однако, в отличие от семян культурных растений, имеющих гладкую поверхность, семена сорных растений имеют шероховатую поверхность, обусловленную биологической приспособляемостью видов.

Принцип магнитной очистки семян заключается в том, что в результате предварительной обработки зерновой смеси магнитным порошком 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. Для улучшения обволакивания зерновой смеси магнитным порошком при смешивании добавляется масло или вода.

Технические данные некоторых магнитных семяочистительных машин приведены в табл. 16.1, общий вид – на рис. 16.2.

Технологический процесс во всех типах машин идентичен (рис. 16.3,а): в семенную смесь добавляют воду (или масло), магнитный порошок, перемешивают и подают на магнитный барабан. Далее процесс протекает, как упоминалось выше. Машины различаются лишь степенью механизации операций, производительностью.

В лаборатории представлена машина К-295 (рис. 16.2,в), небольшой производительности, предназначенная для селекционных центров. Зерновую смесь засыпают в сосуд для смешивания 8, впрыскивают воду, добавляют магнитный порошок. Приготовленную смесь засыпают в загрузочный бункер 1.

Электрическая схема машины приведена на рис. 16.4. 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 C1 и узла, собранного на транзисторе VT, резисторе R и

16.1. Технические данные магнитных сеяноочистительных машин

Показатель	ЭМС-1А	СМЦ-0,4	К-295
1. Производительность, кг/ч 1			
- по клеверу	80...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...0,07	
3. Чистота очистки, %	95...96	98	96...98
4. Магнитная система	Электро- магнит	Постоянный магнит	Электро- магнит
5. Установленная мощность, кВт	2,5	2,6	0,27
6. Масса, кг	1100	806	165

конденсаторе С2. Питание подводится к катушке электромагнита с помощью щеток и колец 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. 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 5, из которого в последующем извлекаются и подвергаются качественному и количественному анализу.

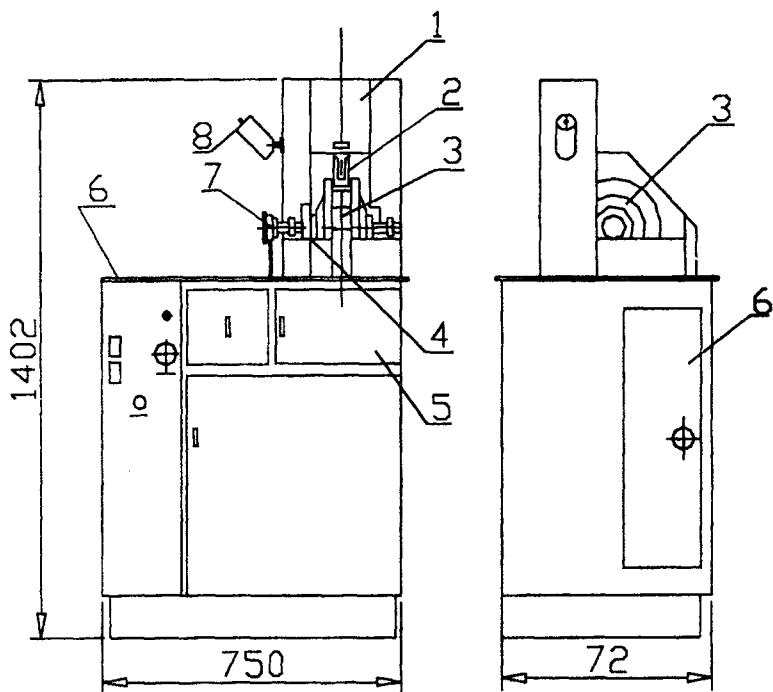


Рис.16.2. Электромагнитная сеяочистительная машина К-295:
 1- загрузочный бункер; 2 - вибратор; 3- магнитный барабан; 4 - привод барабана; 5 - ящики классификатора; 6 - панель управления; 7 - токопровод электромагнита; 8 - смеситель семян с магнитным порошком

По санитарным условиям применение порошка в условиях учебной лаборатории не рекомендуется (мелкий железный порошок засоряет приборы, оборудование требует спецодежду для обслуживающего персонала и др.), поэтому работа производится с относительно крупными металлочастицами. Принципы работы машины и физические основы при этом не меняются.

На семя, находящееся на поверхности вращающегося магнитного барабана, действуют силы (рис. 16.3,б):

- сила тяжести

$$P = mg, \quad (16.5)$$

где m – масса семян с порошком, кг; g – ускорение силы тяжести, м/с²;

- центробежная сила

$$F_{цб} = \frac{mv^2}{R}, \quad (16.6)$$

где v – линейная скорость барабана, м/с; R – радиус барабана, м ;
- сила, удерживающая семя, покрытое магнитным порошком,

$$F_M = \frac{m_n}{\rho} \frac{B}{\mu_0 \mu} \text{grad} B, \quad (16.7)$$

где m_n – масса порошка на семени, кг; ρ – плотность металла, кг/м³.

Условие удержания семени на барабане

$$F > P \cos \beta + F_{цб}. \quad (16.8)$$

Неравенство (16.8) служит основой для расчета параметров установок магнитной очистки материалов.

Установки магнитной обработки воды основаны на использовании физико-химического действия магнитного поля и предназначены для “умягчения” технической воды с высокой концентрацией растворенных солей. Процесс магнитной обработки воды заключается в пропускании ее через рабочий зазор установки, в котором создают магнитные поля чередующейся направленности. Под действием знакопеременного магнитного поля определенных параметров в движущейся воде происходит ряд сложных физико-химических изменений, в результате которых при нагреве такой воды в энергетических установках (водонагревателях, водогрейных и паровых котлах и др.) на их греющих поверхностях (а также на электродах при прямом нагреве воды) не образуется трудноудаляемая накипь. Это существенно повышает экономические показатели установок, удлиняет сроки их службы. Считается, что под действием поля ионы растворенных в воде солей образуют центры кристаллизации. При использовании необработанной воды центры кристаллизации находятся на греющих поверхностях установок, и там отлагаются соли, образующие накипь. В дальнейшем оказалось, что обработанная в магнитном поле вода об-

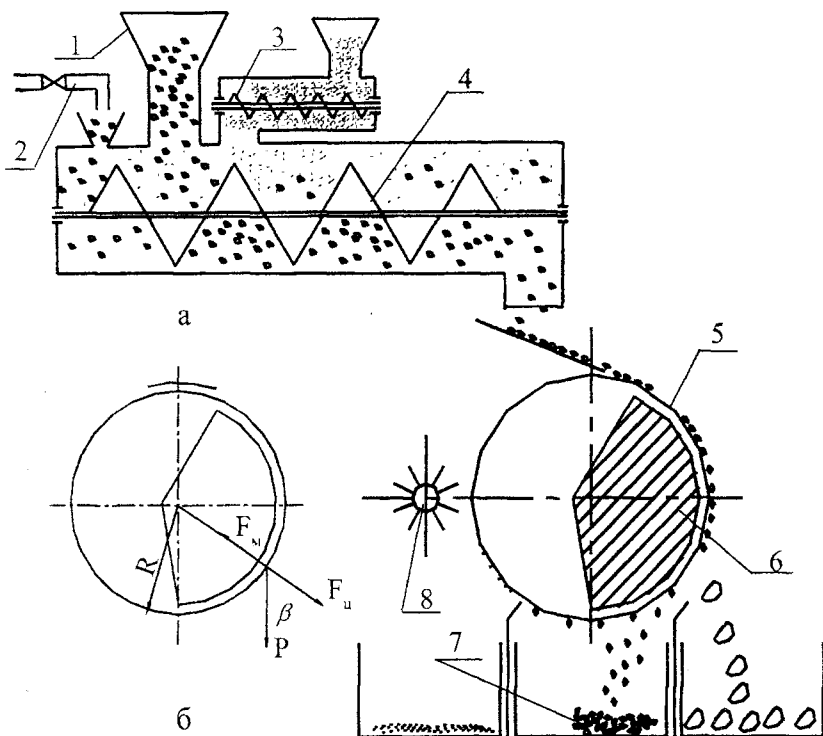


Рис. 16.3. Технологическая схема магнитной семяочистительной машины (а) и схема сил, действующих на семя, покрытое магнитным порошком (б): 1 – бункер с зерновой смесью; 2 – подача воды; 3 – подача магнитного порошка; 4 – смешивающий шнек; 5 – барабан; 6 – неподвижный магнитный сектор; 7 – классификатор фракций зерновой смеси; 8 – щетка

ладает и другими биологическими качествами: при поливе растений такой водой, замачивании семян и т.п. возрастает энергия прорастания, 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 накипеобразованию становится такой же, как и у необработанной. Период релаксации составляет 18...24 часа. Параметры аппаратов устанавливаются, в основном, экспериментально. Они имеют следующий порядок.

- напряженность магнитного поля, А/м (120...150) 10³;
- скорость воды в зазоре, м/с 0,5...2;
- длина пути воды в магнитном поле, м 0,15...0,55;
- величина зазора для протекания воды, мм 9,5...10.

Удельная установленная мощность электромагнитов для обработки воды составляет 10...40 Вт/м³.

Устройство для магнитной обработки воды выполняют с постоянными магнитами и электромагнитами. Первые проще конструктивно, однако с течением времени наблюдается их размагничивание, особенно при неблагоприятных условиях эксплуатации (механических ударах, сильном нагреве).

На рис. 16.5 приведена схема электромагнитного аппарата и его включение в сеть питательной воды энергетических установок. Магнитный сердечник 3 с обмоткой подмагничивания 4 помещен в латунный кожух 2 и залит трансформаторным маслом. Образующиеся магнитные потоки чередующейся полярности замыкаются через воду и внешний стальной корпус 1. Питание установки осуществляется от блока питания 9.

При определении места установки аппарата стремятся к тому, чтобы путь воды после обработки до защищаемого от накипи оборудования был возможно короток. Для исключения образования в аппаратах воздушных пузырей его следует устанавливать вертикально, с направлением движения воды снизу вверх.

Методика выполнения работы

1. Пункты 1 и 2 “Задач” выполняют при подготовке к занятиям, используя рекомендованную литературу, конспект лекций, настоящие методические указания.

2. Пункт 3 выполняют при подготовке к занятиям и на рабочем месте путем практического изучения устройства, работы, электрических схем, правил обслуживания представленных в лаборатории уста-

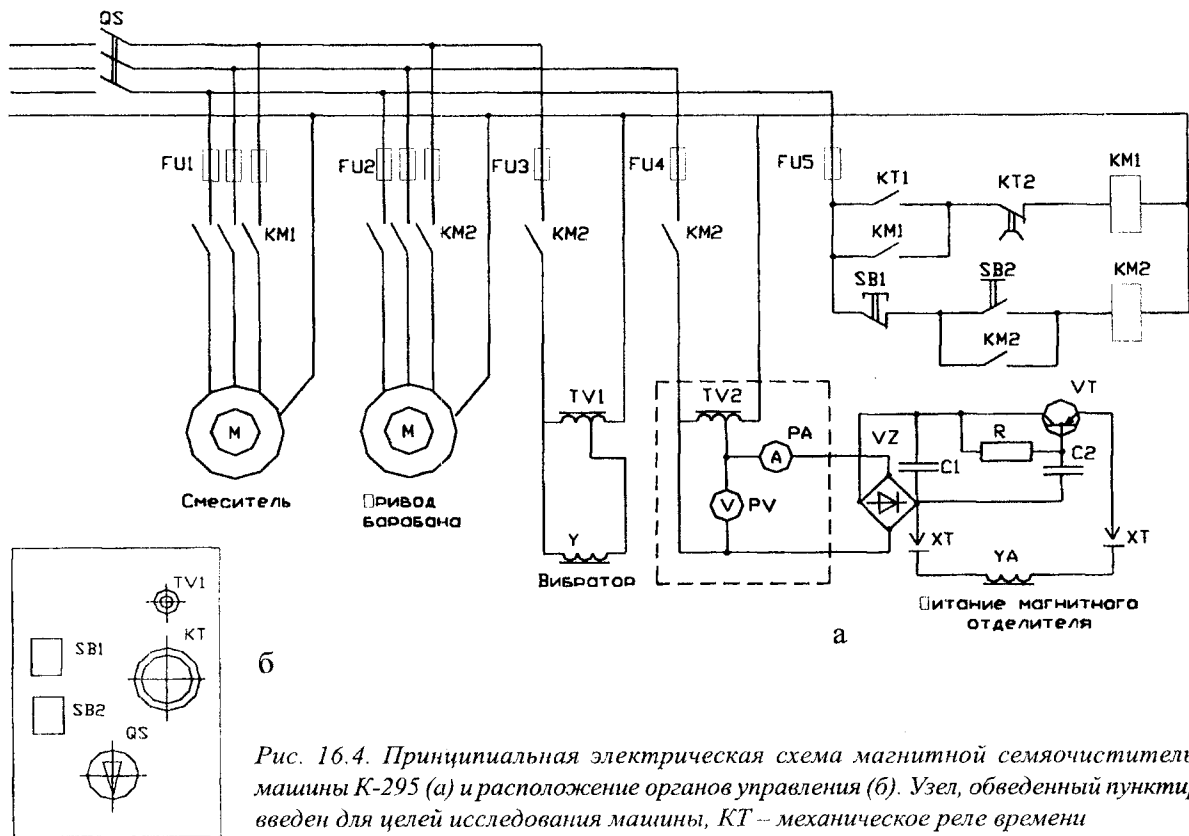


Рис. 16.4. Принципиальная электрическая схема магнитной сеяноочистительной машины К-295 (а) и расположение органов управления (б). Узел, обведенный пунктиром, введен для целей исследования машины, КТ – механическое реле времени

новок. Зарисовать технологическую схему процесса очистки семян и схему действующих на частицу сил (рис. 16.3), электрическую схему машины К-295 (рис. 16.4), разрез аппарата магнитной обработки воды (рис. 16.5).

3. Экспериментальные исследования (п. 4) выполняют после усвоения порядка обслуживания машины, правил техники безопасности и получения разрешения преподавателя на включение.

Обработку смеси зерна с металломагнитными частицами проводят 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 формулой (16.7) величина магнитной силы F_m , удерживающей металломагнитную частицу на поверхности барабана. В зависимости от величины силы F_m частицы попадают в ту или иную секцию классификатора 7 (рис. 16.3). Силу тока в обмотке электромагнита регулируют автотрансформатором TV2 (рис. 16.4).

Последовательность выполнения операций с машиной К-295.

1. Взвесить 500 г незасоренного зерна и 100 г металлических частиц, смешать их и высыпать в приемный бункер.

2. Отрегулировать зазор вибратора-питателя 2 (рис. 16.2), 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 данные внести в таблицу 16.2.

5. Установить автотрансформатором TV2 силу тока, указанную в табл. 16.2.

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. 16.2.

8. Повторить опыты при других значениях тока, указанных в табл.

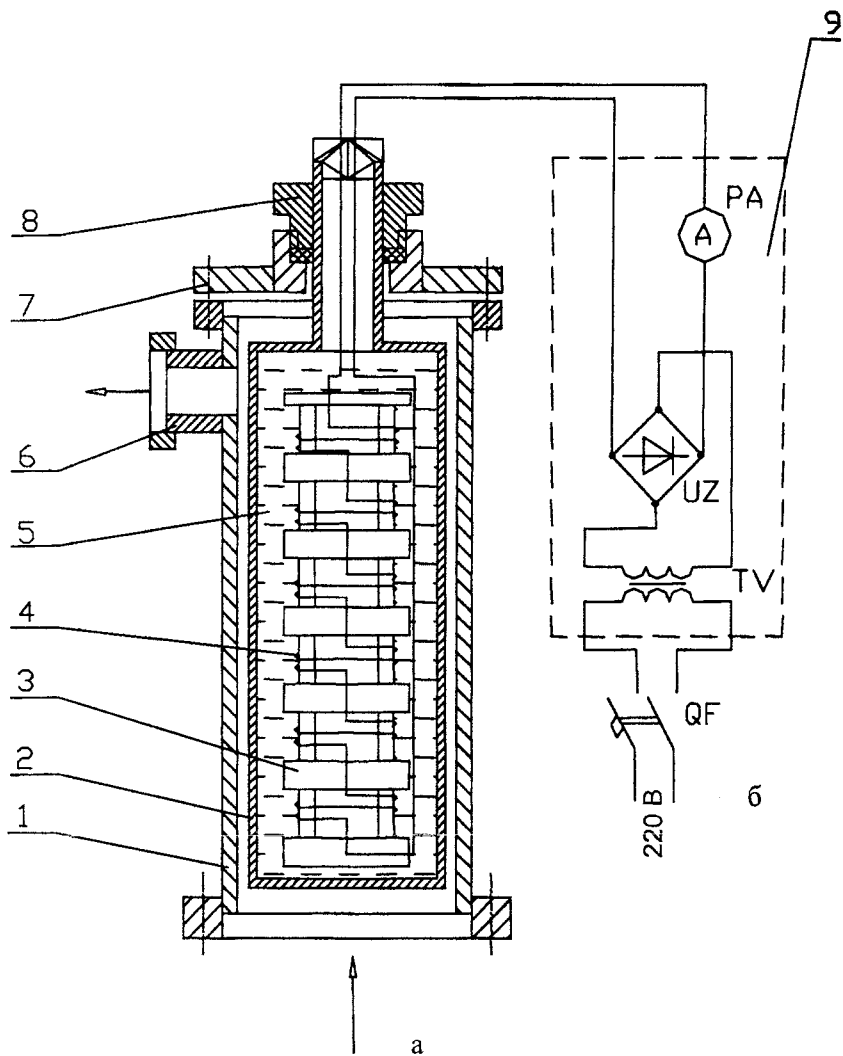


Рис.16.5. Схема электромагнитного аппарата для обработки воды (а) и схема включения его в сеть (б): 1 – корпус; 2 – латунный кожух; 3 – сердечник; 4 – обмотка; 5 – трансформаторное масло; 6 – выходной патрубок; 7 – крышка; 8 – гайка уплотнения; 9 – блок питания

лице 16.2. После завершения опытов очистить машину, зерно и металлические частицы поместить в емкости для их хранения, убрать рабочее место.

Данные табл.16.2 выразить в процентах от суммарной массы

16.2. Данные наблюдений и вычислений

Режим обработки		Общая масса смеси	Распределение материала по классам					
<i>U</i> ,	<i>I</i> ,		<i>I</i>		<i>II</i>		<i>III</i>	
В	А	г	г	%	г	%	г	%

смеси до обработки ($K_i, \%$) и построить зависимость $K_i = f(I)$ для всех трех классов зерновой смеси.

Содержание отчета

Цель и задачи работы, принцип устройства аппаратов магнитной очистки зерна, технологическая и электрическая схемы машины К-295, силы, действующие на частицу с порошком в магнитном поле, таблицы наблюдений и вычислений, графические зависимости.

Контрольные вопросы. 1. Технологические свойства магнитного поля. 2. Принцип магнитной очистки зерна, зернопродуктов, кормов. 3. Устройство, принцип действия и электрическая схема электромагнитной семяочистительной машины К-295. 4. Силы, действующие на семя, покрытое магнитным порошком в машинах магнитной очистки семян. 5. Принцип и назначение магнитной обработки воды.

Литература

1. Электротермическое оборудование: Справ./Под ред. А.П. Альтгаузена. – 2-е изд. перераб. и доп.– М.: Энергия, 1980.– 416 с.
2. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки. / Г.Л. Амитан и др., под общ. ред. В.А. Волосатова – Л.: Машиностроение, 1988. – 719 с.
3. Электротехнология: Учеб. пособие. А.В. Карасенко, Е.М. Заяц, А.Н. Баран, В.С. Корко. – М.: Колос, 1992. – 304 с.
4. Электротермическое оборудование сельскохозяйственного производства: Учеб. пособие / Л.С. Герасимович, В.А. Карасенко, Е.М. Заяц и др.; Под. Ред. Л.С. Герасимовича. – Мн.: Ураджай, 1995. – 416 с.
5. Расчеты электротехнологического оборудования: Учеб. пособие / Е.М. Заяц, В.А. Карасенко, И.Б. Дубодел. Под. ред. Е.М. Зайца. – Мн.: «Технопринт», 2001. – 238 с.

Учебное издание

ЗАЯЦ Евгений Михайлович
КАРАСЕНКО Владимир Алексеевич

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ

Ответственный за выпуск: А.П. Аношко
Технический редактор: Р.И. Кустова

ЛВ № 380 от 28.04.1999.

Сдано в набор 18.10.2002. Подписано в печать 28.11.2002.

Бумага офсетная. Формат 60х84/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,8. Уч.-из л. Тираж 400 экз. Зак. 1221.

Отпечатано на УП «Технопринт», ЛП № 203 от 26.01.1998.

220027, г. Минск, пр-т Ф.Скорины, 65, корп.14, оф.215, тел.2-31-86-93.