

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра энергетики

В.С. Газалов, В.Н. Беленов

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

*Учебное пособие
для факультета СПО*

Зерноград – 2016

УДК628.9 (076.5)
ББК 31.291

*Печатается по решению методического совета
факультета СПО Азово-Черноморского инженерного института – филиала
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донской государственной аграрный университет»
в г. Зернограде*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **Ксенз Н.В.**,
кандидат технических наук, доцент **Бабенко А.А.**

Газалов, В.С. Электротехнология: учебное пособие для факультета СПО / В.С. Газалов, В.Н. Беленов. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. – 122 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» и федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий».

В пособии изложены электротермия, сварка, электрохимические, электрофизические, аэрозольные и электромеханические технологии и оборудование. Учебное пособие рекомендуется для изучения профессионального модуля ПМ.01 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация сельскохозяйственных организаций» по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» и изучения профессиональных модулей ПМ.01 «Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок», ПМ.02 «Организация и выполнение работ по монтажу и наладке электрооборудования промышленных и гражданских зданий» по специальности «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Энергетика».
Протокол № 6 от 14 января 2016 года.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией по специальностям 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий».

Протокол № 4 от 9 февраля 2016 года.

© Газалов В.С., Беленов В.Н., 2016
© Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
1.1. Классификация электротехнологических установок	5
1.2. Классификация электротехнологических процессов	6
2. ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ	8
2.1. Электротермические установки и области их применения	8
2.2. Теплопередача в электротермических установках	8
2.3. Установки нагрева сопротивлением	9
2.4. Классификация электрических печей сопротивления	13
2.5. Электрические печи сопротивления периодического действия ...	15
2.6. Электрические печи сопротивления непрерывного действия (методические печи)	17
2.7. Плавильные печи сопротивления	18
2.8. Установки прямого (контактного) нагрева	19
2.9. Регулирование параметров печей сопротивления	19
2.10. Печи для нагрева сопротивлением жидких сред	20
2.11. Материалы, применяемые в электропечестроении	21
2.12. Электрошлаковые установки	23
2.13. Установки индукционного нагрева	24
2.14. Основные законы переменного электромагнитного поля	27
2.15. Индукционные канальные печи	33
2.16. Индукционные тигельные печи	39
2.17. Специальные типы индукционных плавильных устройств	47
2.18. Установки для сквозного нагрева металла	50
2.19. Классификация нагревателей	51
3. СВАРКА	54
3.1. Электрошлаковая сварка	54
3.2. Установки контактной сварки	55
3.3. Стыковая сварка	56
3.4. Точечная сварка	57
3.5. Шовная сварка	58
4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	59
5. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	75
6. АЭРОЗОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.	
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	101
ЛИТЕРАТУРА	120

ВВЕДЕНИЕ

Электротехнология включает в себя следующие процессы и оборудование:

- электротермические процессы и электротермическое оборудование для осуществления этих процессов;
- электросварочные процессы и электросварочное оборудование;
- электрофизические процессы и оборудование;
- электрохимические процессы и оборудование;
- ионные технологии.

Установки, в которых происходит преобразование электрической энергии в другие виды с одновременным и непосредственным её использованием в технологических процессах, называют электротехнологическими. Методы электротехнологии отличаются высокой эффективностью, универсальностью и их можно применять для непосредственного воздействия на различные объекты, в том числе и на живые организмы.

На протяжении всей истории развития сельского хозяйства происходило непрерывное совершенствование технологий, направленных на обрабатываемый объект, который весьма специфичен, так как представляет собой биологический объект: животное, растение, почву и т.д.

Дальнейшим развитием повышения эффективности воздействия на материалы, живые организмы, растения и продукты с целью получения в них целесообразно направленных изменений являются различные виды электротехнологии, которые предусматривают производственное использование электрических и магнитных полей, электрического тока, электрических зарядов и импульсов и других электрофизических факторов. Электротехнологию стремятся применять там, где она повышает качество или количество продукции, увеличивает производительность труда и экономически себя оправдывает.

В сельском хозяйстве электротехнология может быть применена для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства, а также для изменения и усовершенствования разнообразных технологических процессов. Важнейшим видом электротехнологий являются оптические электротехнологии.

Правильное выполнение монтажа, наладки и эксплуатации электротехнологических установок способствует рациональному использованию электроэнергии, улучшению качества выпускаемой продукции, повышению производительности труда, уменьшению количества аварий и случаев травматизма, снижению утомляемости рабочих.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Классификация электротехнологических установок

Установки, в которых происходит превращение электрической энергии в другие виды с одновременным осуществлением технологических процессов, называют **электротехнологическими установками (ЭТУ)**.

Основное оборудование ЭТУ:

1. **Рабочий инструмент** – часть установки, непосредственно осуществляющая технологический процесс (плазматрон, индукционная система, электронная пушка и т.д.).

2. **Источник питания** – устройство, предназначенное для обеспечения ЭТУ электрическим питанием с требуемыми параметрами.

Вспомогательное оборудование ЭТУ:

1. **Системы автоматизированного управления** – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса.

2. **Аппаратура измерения и контроля** – для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

3. **Системы обеспечения водой и газом.**

4. **Система охлаждения.**

Четыре агрегатных состояния вещества:

1. **Твердое состояние** – проводники, полупроводники и диэлектрики, металлы, кристаллические и аморфные вещества.

2. **Жидкое состояние** – проводники (*расплавы металлов, солей, щелочей, оксидов*), диэлектрики (*минеральные и органические*), жидкие кристаллы.

3. **Газообразное состояние** – сложные активные вещества, которые в совокупности с обычными могут составлять системы, где происходит образование других соединений – целевых продуктов, в дальнейшем выделяемых методом конденсации.

4. **Плазменное состояние** – электропроводная среда, позволяющая проводить обменные реакции и транспортные процессы на ионном уровне, быть источником лучистой энергии и средством нагрева веществ.

Посредством электрических и магнитных полей с веществом, находящимся в каждом из агрегатных состояний, можно совершать множество операций – изменение температуры, формы, структуры, состава, свойств в разных направлениях и т.д.

Группы ЭТУ по результирующему действию электрического тока и магнитного поля, проявляющемуся в различных условиях:

1. Установки, основанные на тепловом действии тока. К ним относят бытовые нагревательные приборы, печи сопротивления прямого и косвенного действия, установки для нагрева жидкостей и газов – электрические котлы разных типов и калориферы, электродные ванны.

2. Установки, основанные на электрохимическом действии тока. К ним относят электролизные ванны, заполняемые растворами или расплавами, установки для нанесения защитных и декоративных покрытий, а также установки для изготовления изделий методом гальванопластики, установки электрохимико-механической обработки изделий в электролитах.

3. Электромеханические установки, где прохождение импульсного тока вызывает возникновение механических усилий в обрабатываемом материале.

4. Электрокинетические установки, принцип действия которых основан на преобразовании энергии электрического поля в энергию движущихся частиц. К ним относят установки по разделению сыпучих материалов и эмульсий, очистке сточных вод, электроокраске, электрофильтры.

1.2. Классификация электротехнологических процессов

К электротехнологическим относятся процессы, основанные на преобразовании непосредственно в рабочей зоне технологических установок энергии электрического тока, электрического и магнитного полей в тепловую, химическую или механическую энергии, за счет которых реализуется заданный процесс (рисунок 1.1).

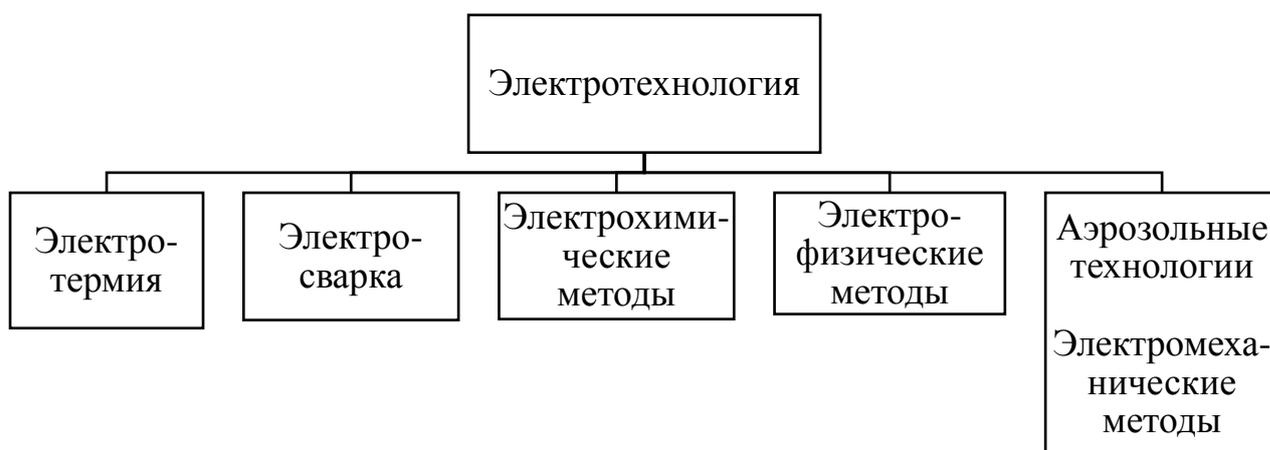


Рисунок 1.1 – Классификация электротехнологических процессов

5 групп электротехнологических процессов:

В **электротермических** процессах используется превращение электрической энергии в тепловую для нагрева материала изделий с целью изменения их агрегатного состояния, формы или свойств.

В **электросварочных** процессах получаемая из электрической энергии тепловая энергия используется для создания неразъемного соединения деталей.

В **электрохимических** процессах с помощью электрической энергии осуществляется разложение химических соединений и их разделение в жидкой среде под действием электрического поля (электролиз, гальванотехника, анодная электрохимическая обработка).

Электрофизические методы используют специальные физические эффекты для превращения электрической энергии как в тепловую, так и в механическую (электроэрозионные, ультразвуковые, магнитно-импульсные, электровзрывные, плазменные, электронно-лучевые, лазерные и оптические технологии).

В **электромеханических методах** основные и вспомогательные операции реализуются за счет непосредственного механического (силового) воздействия электрического и магнитного полей на обрабатываемые изделия и материалы. (В свою очередь классифицируются по виду полей, воздействующих на объект: стационарные, пульсирующие, вращающиеся, бегущие.)

В **аэрозольных** технологиях (разновидность электромеханического метода) энергия электрического поля используется для сообщения электрического заряда взвешенным в газовом потоке частицам и для перемещения их в заданном направлении.

2. ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ

2.1. Электротермические установки и области их применения

В электротермии выделяют следующие способы преобразования электрической энергии в тепловую:

- **Нагрев сопротивлением** происходит за счет выделения теплоты в проводящем материале при протекании по нему электрического тока. Этот вид нагрева основан на законе Джоуля-Ленца и применяется в установках прямого и косвенного действия.

- **Индукционный нагрев**, основанный на преобразовании энергии электромагнитного поля в тепловую посредством наведения в нагреваемом теле вихревых токов и тепловыделения в нем по закону Джоуля-Ленца.

- **Диэлектрический нагрев** помещенных в высокочастотное электрическое поле непроводящих материалов и полупроводников, происходящий за счет сквозных токов проводимости и смещения при поляризации.

- **Дуговой нагрев**, при котором материал нагревается за счет теплоты, поступающей в него из опорных пятен дуги.

- **Электронно- и ионно-лучевой нагрев**, в результате которого тепловая энергия выделяется при столкновении быстро движущихся электронов или ионов, ускоренных электрическим полем, с поверхностью нагреваемого объекта.

- **Плазменный нагрев**, основанный на нагреве газа за счет пропускания его через дуговой разряд или высокочастотное электромагнитное или электрическое поле.

- **Лазерный нагрев**, происходящий за счет нагрева поверхности объектов при поглощении ими высококонцентрированных потоков световой энергии, полученных в лазерах.

2.2. Теплопередача в электротермических установках

Теплота – беспорядочное тепловое движение образующих тело частиц (молекул, атомов, электронов и др.).

Тепловой поток – поток энергии передаваемый частицами более нагретого тела частицам более холодного.

Теплопередача – самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты и массы вещества в пространстве с неоднородным полем температур.

Теплопередача осуществляется за счет **теплопроводности, конвекции и излучения** (лучистый теплообмен).

Теплопроводность – это передача теплоты внутри твердого тела или неподвижной жидкости (газа) от областей с более высокой температурой к областям с более низкой температурой.

Закон Фурье: плотность теплового потока прямо пропорциональна градиенту температуры, [Вт/м²):

$$\mathbf{q} = -\lambda \text{grad}T = -\lambda \mathbf{n} \frac{\partial T}{\partial n},$$

где T – температура, [К];

λ – теплопроводность, [Вт/(м·К)];

\mathbf{n} – вектор нормали к изотермической поверхности.

Конвекция – теплопередача в жидкостях и газах, при которой перемещаются отдельные частицы и отдельные элементы объема вещества, переносящие присущий им запас тепловой энергии. Перенос теплоты вместе с переносом массы вещества называют **конвективным теплообменом**.

Плотность теплового потока при конвективном теплообмене определяется по закону **Ньютона-Рихмана**:

$$q = \alpha(T_1 - T_2),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, [Вт/(м К)];

T_1 – температура стенки, [К];

T_2 – температура окружающей среды, [К].

Излучение – передача теплоты в невидимой (инфракрасной) и видимой частях спектра. При передаче теплоты излучением энергия передается в форме электромагнитных волн. Для передачи тепловой энергии наиболее существенными являются тепловое излучение с длиной волны 0,4–400 мкм.

Лучистый тепловой поток при излучении тела в неограниченное пространство определяется по закону **Стефана-Больцмана** [Вт/м²):

$$Q = \varepsilon c_s \frac{T}{100}^4,$$

где ε – степень черноты тела;

c_s – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

2.3. Установки нагрева сопротивлением

Электрический ток – направленное движение положительных или отрицательных электрических зарядов под действием электрического поля.

Проводники первого рода – вещества, обладающие электронной проводимостью (*например, металлы, графит*).

Проводники второго рода – проводящие среды, в которых прохождение тока обеспечивается движением частиц вещества – ионов (*например, электролиты, растворы и расплавы солей и др.*).

Плазма имеет смешанную электронно-ионную проводимость.

Соотношение между плотностью тока, напряженностью электрического поля и электропроводностью вещества определяется законом **Ома**:

$$\delta = n_e e_0 \mu_e E = \gamma = \frac{1}{\rho} E,$$

где δ – плотность тока, [А/м²];
 n_e – плотность электронов, [1/см²];
 μ_e – подвижность электронов;
 e_0 – заряд электрона;
 E – напряженность электрического поля, [В/м];
 γ – удельная электрическая проводимость вещества, [1/(Ом·м)];
 ρ – удельное электрическое сопротивление, [Ом·м].

Удельное сопротивление проводника зависит от температуры:

$$\rho_T = \rho_{20} (1 + \alpha (T - 20)),$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление проводника при температуре 293К;
 α – температурный коэффициент электрического сопротивления, [Ом/К];
 T – температура, [К].

Сопротивление однородного проводника постоянному току вычисляется по формуле [Ом]:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l – длина проводника, [м];
 S – площадь сечения, [м²].

В переменном электромагнитном поле сопротивление проводника является комплексной величиной [Ом]:

$$\underline{Z} = R + jx_L,$$

где j – мнимая единица;
 R – активное сопротивление;
 x_L – реактивное (индуктивное) сопротивление.

При соударении с элементами структуры металла электроны обмениваются полученной ими в электрическом поле энергией, что приводит к нагреву проводника.

Количество теплоты, выделяющейся в проводнике при протекании по нему электрического тока, определяется по закону **Джоуля-Ленца**, [Вт·с]:

$$Q = I^2 R t,$$

где I – ток, [А];
 R – сопротивление, [Ом];
 t – время, [с].

2.4. Нагревательные элементы (классификация)

Требования, предъявляемые к нагревательным (рисунок 2.1) элементам (НЭ):

1. Жаростойкость (не должны окисляться под действием кислородного воздуха, высоких температур).
2. Достаточная жаропрочность.
3. Большое удельное сопротивление.

4. Малый температурный коэффициент сопротивления.
5. Электрические свойства нагревателей должны быть постоянны.
6. Нагреватели должны иметь постоянный размер.
7. Материалы должны хорошо обрабатываться.



Рисунок 2.1 – Общий вид нагревательных элементов

По температурным пределам работы нагревательные элементы подразделяют на три группы:

- **низкотемпературные** – нагрев до 500–700 К и преимущественно конвективный способ теплообмена;
- **среднетемпературные** – нагрев до 900–1300 К с теплообменом конвекцией, теплопроводностью и излучением;
- **высокотемпературные** – нагрев до 2500–3300 К с преимущественно радиационным способом теплопередачи.

Для изготовления НЭ с рабочей температурой до 1500 К распространенными материалами являются **нихромы** (сплавы никеля 75% и хрома 25%), **фехрали** (хромоалюминиевые сплавы, хром 13%, алюминий 4%), а также **хромоникелевые жаропрочные стали** (хром 22–27%, никель 17–20%) (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – НЭ с рабочей температурой до 1500 К (а – нихром, б – фехрали)

Для высокотемпературных печей с максимальной рабочей температурой до 1700 К применяются НЭ из карборунда (карбид кремния SiC), известные под названием **силитовых**. Изготавливают в виде стержней диаметром 6–30 мм и спиралей (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – НЭ с рабочей температурой до 1700 К (силит)

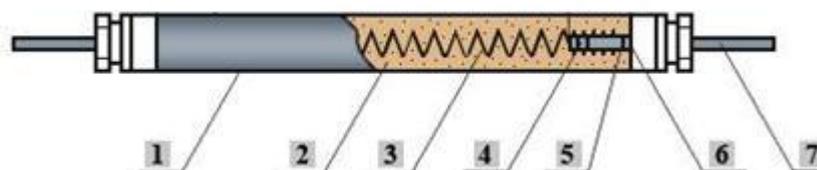
Для высокотемпературных установок (с максимальной температурой 2300 К и выше) нагреватели изготавливают из **тугоплавких металлов** (молибден, тантал, вольфрам в виде проволоки, ленты, стержней и листов различных сечений), **угля** или **графита**. Они могут работать лишь в атмосфере инертных газов: аргона, гелия, водорода, азота, а также в вакууме (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – НЭ с рабочей температурой до 2300 К (вольфрам)

Нагревательные элементы (разновидности):

1. **Трубчатый электронагреватель (ТЭН)**. Применяется для низкотемпературного нагрева (до 200 градусов Цельсия) и представляет собой металлическую трубку, заполненную теплопроводным электроизоляционным материалом, в котором находится электронагревательная спираль (рисунок 2.5).



1 – металлический корпус; 2 – наполнитель; 3 – спираль; 4 – контактный стержень в заделке; 5 – герметик; 6 – изолятор; 7 – контактный стержень

Рисунок 2.5 – Трубчатый электронагреватель (ТЭН)

2. **Ленточные гибкие электронагреватели (ЭНГЛ).** Это лента из стеклонити, пропитанная органосиликатным материалом, в основе которой находятся восемь нагревательных жил из нихрома. Применяется при температуре до 400 С (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Ленточные гибкие электронагреватели (ЭНГЛ)

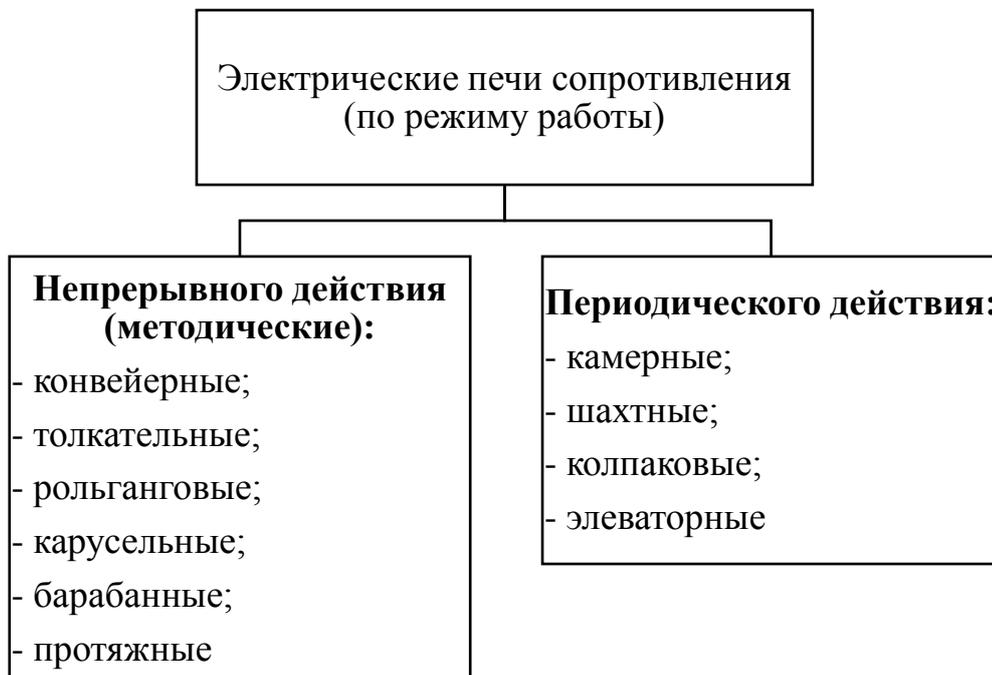
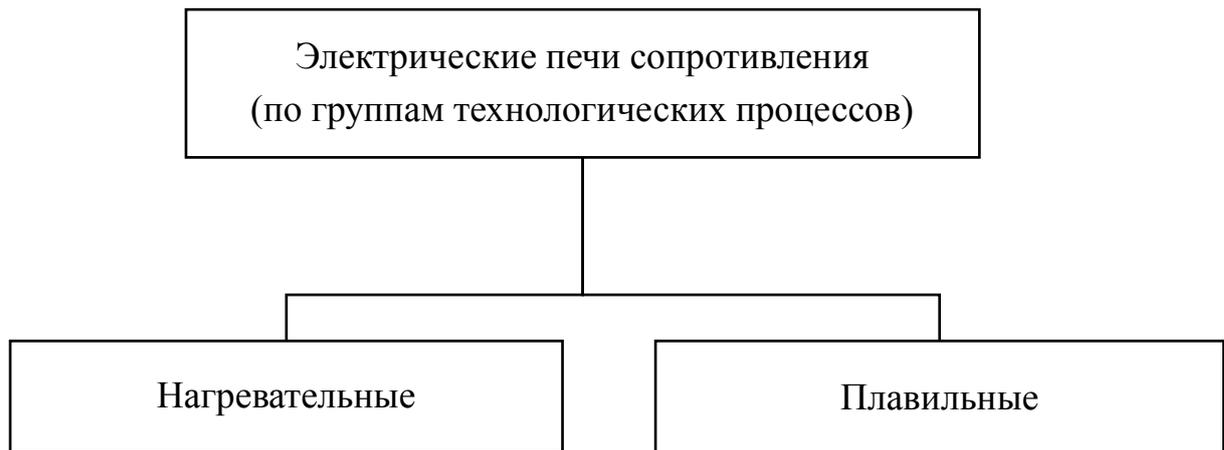
3. **Открытые нагревательные элементы** применяются в печах и бытовых нагревательных приборах, они могут быть проволочные зигзагообразные, проволочные спиральные и ленточные (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Открытые нагревательные элементы

2.4. Классификация электрических печей сопротивления





2.5. Электрические печи сопротивления периодического действия

В печах периодического действия нагреваемые тела помещаются в рабочую камеру и постепенно нагреваются до заданной температуры, оставаясь неподвижными.

1. **Колпаковая печь** – печь периодического действия с открытым снизу подъемным нагревательным колпаком и неподвижным стендом. Нагреваемые детали (садка) 5 помещаются на стенд 1. Поверх них сначала устанавливается жаропрочный колпак-муфта 3, а затем основной колпак 2 камеры печи, выполненной из металлического каркаса с огнеупорной футеровкой. Нагревательные элементы 4 расположены по боковым стенкам колпака и в кладке стенда (рисунок 2.8).

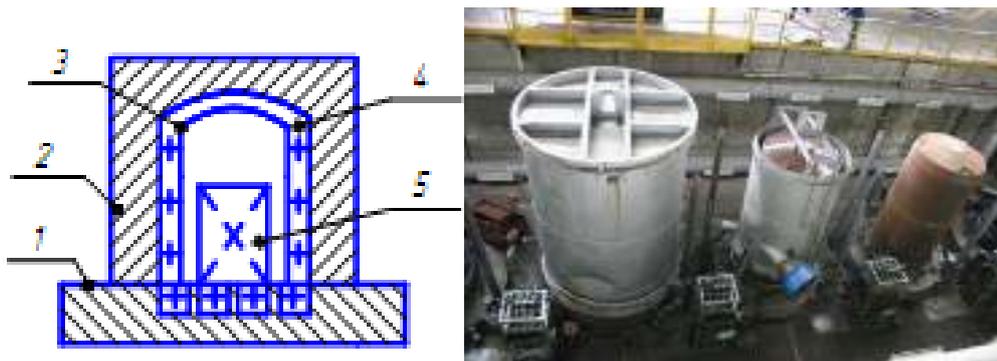


Рисунок 2.8 – Колпаковая печь

2. **Элеваторная ЭПС** – печь периодического действия с открытой снизу неподвижной камерой нагрева 2 и с опускающимся подом 6. Она представляет собой камеру, установленную на колоннах над уровнем пола цеха. Под печи поднимается и опускается подъемник, который установлен под камерой нагрева. Нагреваемые изделия – садку 5 нагружают на тележку, продвигают под печь и поднимают подъемником 7, вдвигая в камеру. По окончании технологического процесса подпускается, и изделие снимается (рисунок 2.9).

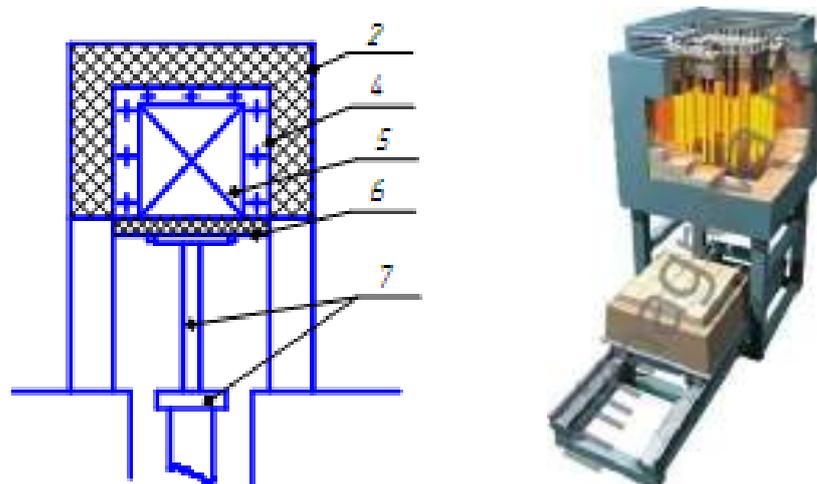


Рисунок 2.9 – Элеваторная ЭПС

3. **Камерная ЭПС** – печь периодического действия с камерой нагрева, загрузка и разгрузка садки которой производятся в горизонтальном направлении. Она состоит из прямоугольной камеры 2 с огнеупорной футеровкой и теплоизоляцией, сводом 8, помещенных в металлический кожух. Печь загружается и выгружается через отверстие в передней части. В поду камерной печи имеется жароупорная плита, на которой расположены нагреватели 4 (рисунок 2.10).

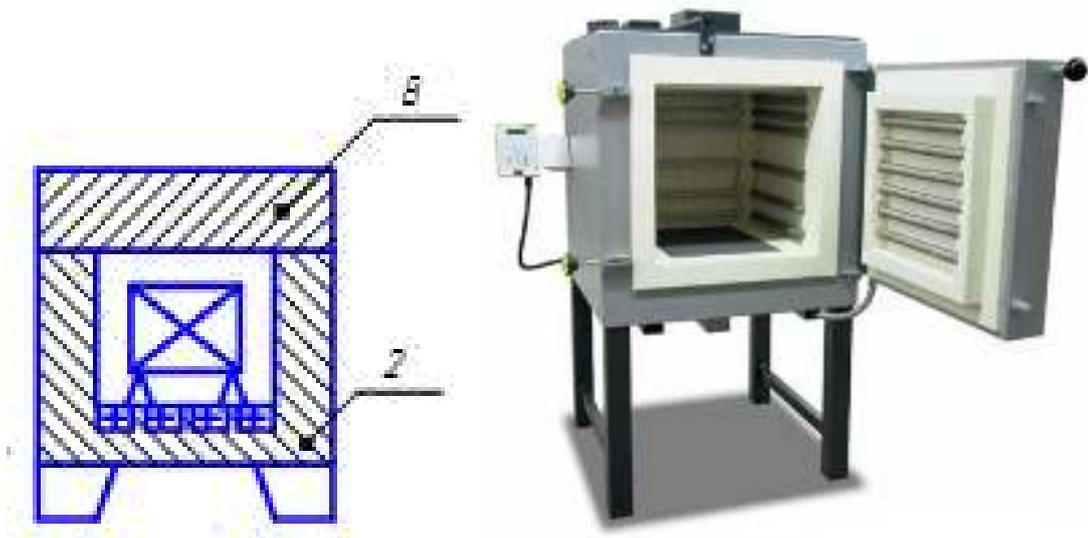


Рисунок 2.10 – Камерная ЭПС

4. **Шахтная печь** выполняется в виде круглой, квадратной или прямоугольной шахты, перекрываемой сверху крышкой. Нагревательные элементы в ней установлены по боковым стенкам (рисунок 2.11).

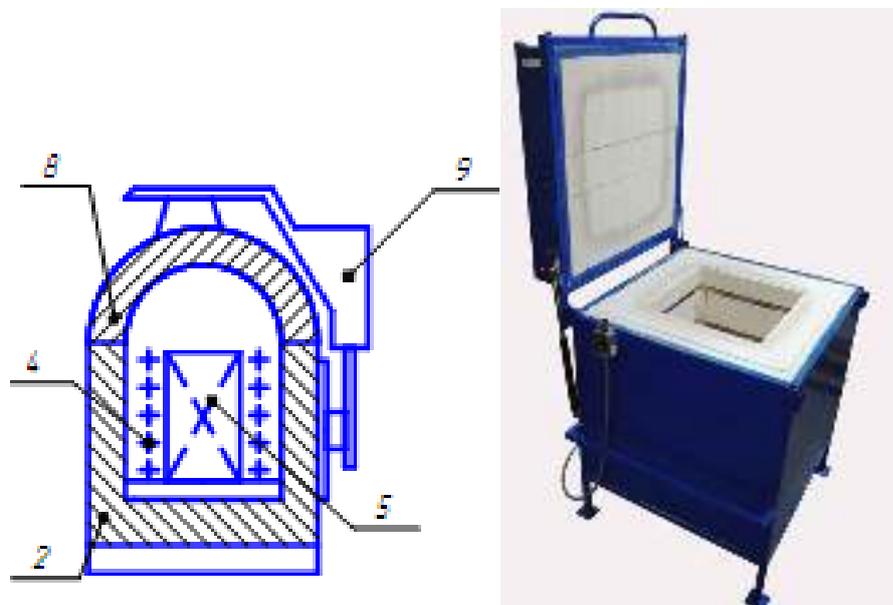
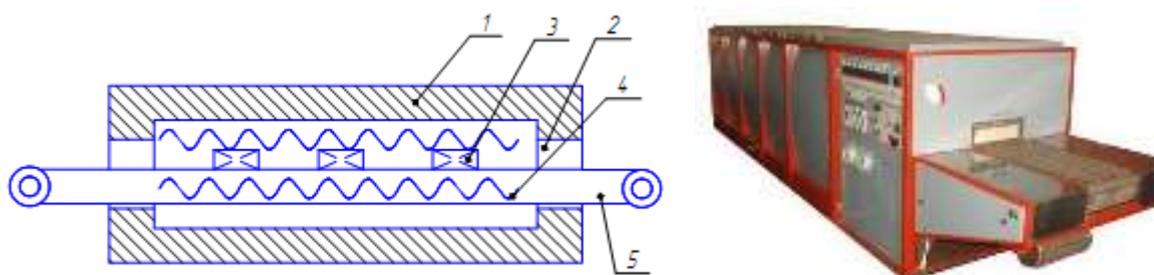


Рисунок 2.11 – Шахтная печь

2.6. Электрические печи сопротивления непрерывного действия (методические печи)

В **методических печах** нагреваемые детали загружаются с одного конца печи, перемещаются по ее длине, при этом прогреваются до заданной температуры и выдаются с другого конца печи.

1. **Конвейерная печь** – печь непрерывного действия с перемещением садки на горизонтальном конвейере (рисунок 2.12).



1 – теплоизолированный корпус; 2 – загрузочное окно; 3 – нагреваемое изделие;
4 – нагревательные элементы; 5 – конвейер

Рисунок 2.12 – Конвейерная печь

2. **Толкательная печь** – печь непрерывного действия, через которую нагреваемые изделия транспортируют, проталкивая их по поду или подовым брускам с помощью электрического или гидравлического толкателя, установленного перед торцом загрузки (рисунок 2.13).

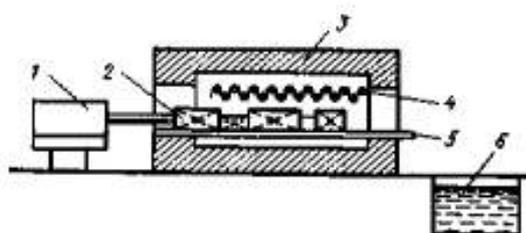


Рисунок 2.13 – Толкательная печь

3. **Протяжная электропечь** – печь непрерывного действия для нагрева проволоки, прутков или ленты путем непрерывной протяжки через камеру нагрева. Она представляет собой муфель с нагревателями, через который пропускается нагреваемое изделие.

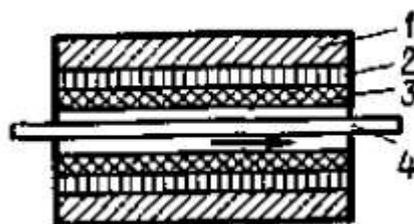


Рисунок 2.14 – Протяжная электропечь

2.7. Плавильные печи сопротивления

1. **Тигельная печь** представляет собой металлический сосуд – тигель (из чугуна с внутренней обмазкой оксидами), помещаемый в цилиндрический корпус, выполненный из огнеупорного материала 5, покрытый снаружи металлическим кожухом 6. Между тиглем и футеровкой размещены электрические нагреватели 4 (рисунок 2.15).

Удельный расход электроэнергии при работе ЭПС ванного типа составляет 700–750 кВт·ч/кг. КПД – 50–55%.

Температура в рабочем пространстве печи – до 1100–1200 К.

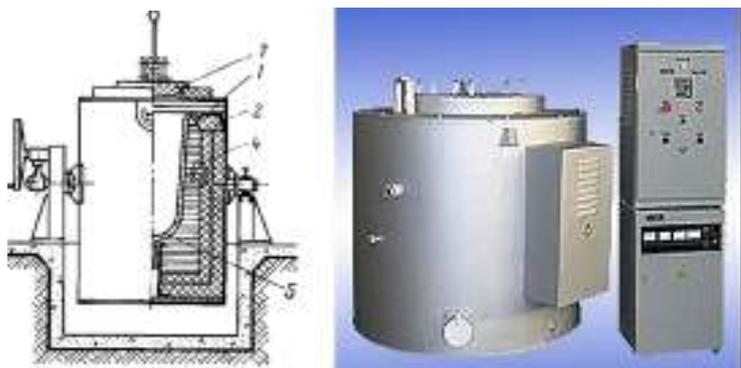


Рисунок 2.15 – Тигельная печь

2. **Камерные печи** по объему больше тигельных и применяются для переплавки алюминия на слитки.

Печь состоит из металлического каркаса 1, футеровки 2, электронагревателей 3, форкамеры 4, ванны 5. Для осуществления перемешивания металла в ванне печь может оснащаться электромагнитным перемешивателем 6 (рисунок 2.16).

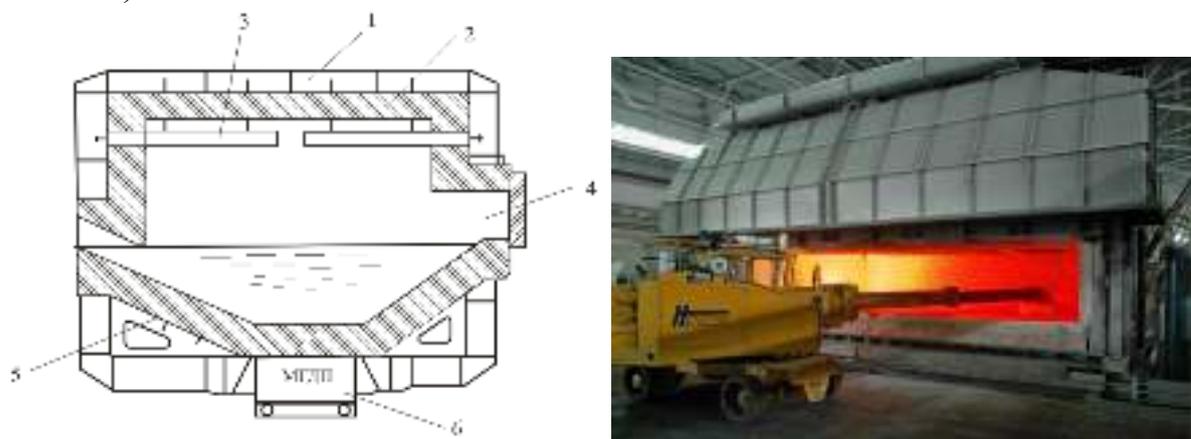


Рисунок 2.16 – Камерные печи

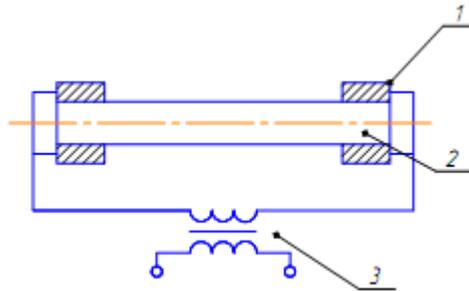
Удельный расход электроэнергии при работе ЭПС ванного типа составляет 600–650 кВт·ч/кг, а КПД – 60–65%.

Температура в рабочем пространстве печи – до 1100–1200 К.

2.8. Установки прямого (контактного) нагрева

В **установках контактного нагрева** преобразование электрической энергии в тепловую происходит в нагреваемом материале при непосредственном подключении их к источнику питания электроэнергией за счет прохождения через них электрического тока по закону Джоуля-Ленца (рисунок 2.17). Такой нагрев эффективен для термообработки изделий, обладающих равномерным сечением по длине и большим сопротивлением.

Уровень достигаемых температур не ограничен.



1 – водоохлаждаемые зажимы; 2 – нагреваемое изделие; 3 – печной трансформатор

Рисунок 2.17 – Установки прямого (контактного) нагрева

Основные элементы установки:

- а) понижающий трансформатор, с несколькими ступенями напряжения в диапазоне 5–25 В, обеспечивающий нагрев тел, имеющих разное сопротивление;
- б) токопровод от обмотки низкого напряжения трансформатора до зажимов;
- в) зажимы, обеспечивающие крепление нагреваемого изделия;
- г) привод контактной системы;
- д) приборы контроля и автоматического регулирования процесса нагрева.

КПД электроконтактных установок – от 60 до 80%.

Удельный расход электроэнергии при нагревании углеродистых сталей – 0,325 кВт·ч/кг.

Основные недостатки электроконтактного нагрева: ограниченность размеров заготовок; сравнительно малая устойчивость зажимных контактов; сложность нагрева заготовок переменного сечения.

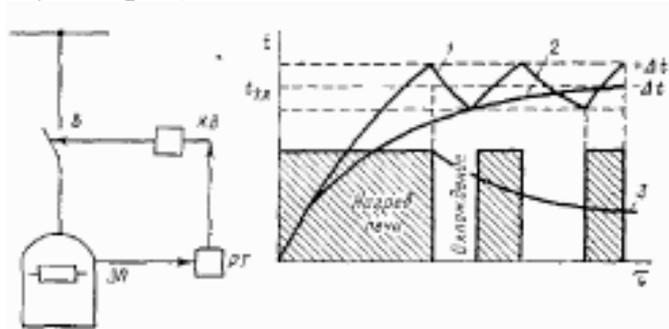
2.9. Регулирование параметров печей сопротивления

Способы регулирования подводимой к печи мощности (рисунки 2.18 и 2.19):

1. Периодическое отключение и подключение печи к питающей сети (двухпозиционное регулирование).

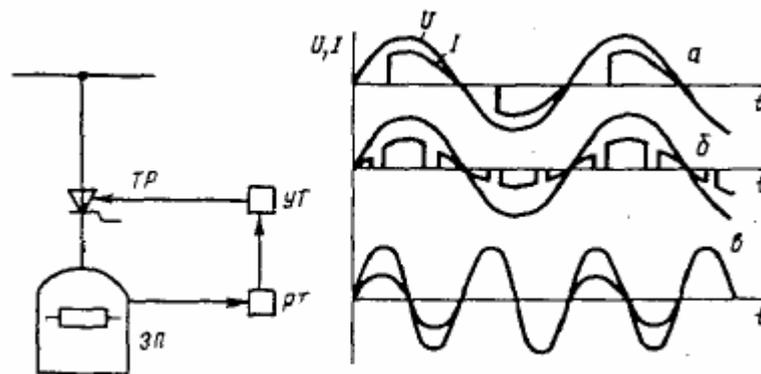
2. Переключение печи со звезды на треугольник либо с последовательного соединения на параллельное (трехпозиционное регулирование).

3. Изменение подводимого напряжения (применение регулировочных трансформаторов и автотрансформаторов, включение в цепь нагревателей дополнительных сопротивлений; импульсное регулирование с использованием тиристорных регуляторов).



ЭП – электропечь; В – выключатель; РТ – регулятор температуры;
КВ – катушка выключателя; 1 – температура печи; 2 – температура нагреваемого тела;
3 – средняя потребляемая печью мощность

Рисунок 2.18 – Функциональная схема включения печи, изменение температуры и мощности при двухпозиционном регулировании



a – фазоимпульсное (фазное) регулирование при частоте коммутации $f_k=2f_c$ с изменением момента отпирания тиристора; *б* – импульсное регулирование с повышенной частотой коммутации $f_k < f_c$; *в* – импульсное регулирование с пониженной частотой коммутации $f_k > f_c$; ЭП – электропечь; РТ – терморегулятор; УТ – блок управления тиристорным регулятором; ТР – тиристорный регулятор

Рисунок 2.19 – Схема импульсного регулирования мощности печи

2.10. Печи для нагрева сопротивлением жидких сред

1. **Стекловаренные печи сопротивления прямого нагрева** – печи, в которых нагревательным элементом является стекломасса (рисунок 2.20). Тепло выделяется в расплаве стекла при протекании по нему электрического тока по закону Джоуля-Ленца.



Рисунок 2.20 – Стекловаренные печи сопротивления прямого нагрева

Достоинства (по сравнению с плазменными печами): небольшие размеры; высокая производительность; низкие тепловые потери; экологичность.

Недостаток: высокая стоимость электроэнергии.

КПД печей – 50–60%.

2. Электродные ванны – металлический или керамический тигель, наполненный солью или стекломассой, в который опущены металлические или металлокерамические электроды. Тепло выделяется в расплаве стекла или соли при протекании по нему электрического тока. Применяются для нагрева до 1100–1600 К изделий из легированных сталей перед закалкой, ковкой или штамповкой и для отжига.

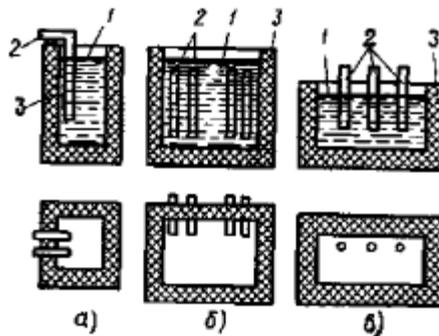


Рисунок 2.21 – Электродные ванны

Достоинства: высокая скорость нагрева и производительность; проста осуществленная термической и термохимической обработки; защита изделий от окисления в процессе нагрева.

Недостатки: повышенный удельный расход электроэнергии вследствие тепловых потерь с зеркала ванны и необходимости непрерывной работы установки; тяжелые условия труда.

2.11. Материалы, применяемые в электропечестроении

Огнеупорные материалы – для сооружения печей и технологических установок, работающих в условиях высокотемпературного нагрева (выше 1200 К). В зависимости от степени огнеупорности материалы делятся на три

класса: огнеупорные (огнеупорностью 1580–1770 К); высокоогнеупорные (1770–2000 К включительно); высшей огнеупорности (выше 2000 К).

Требования к огнеупорам:

1. Огнеупорность – способность без деформации и оплавления противостоять воздействию высоких температур.

2. Механическая прочность – способность материала при рабочей температуре выдерживать нагрузку без деформации. Максимальной рабочей температурой огнеупорного материала принимается температура, при которой начинается деформация материала от сжимающей нагрузки 20 кПа.

3. Термическая устойчивость – способность материала без разрушения выдерживать резкие колебания температуры.

4. Химическая нейтральность. Не разрушаться путем химической эрозии.

5. Малая электропроводность. Огнеупорный материал в электрических печах часто одновременно является и электроизоляционным материалом.

6. Малая теплопроводность – способствует снижению тепловых потерь через стенки электрической печи без чрезмерного увеличения их толщины.

Наиболее полно требованиям удовлетворяют огнеупорные материалы, изготовляемые на основе кремнезема SiO_2 (2000 К), глинозема Al_2O_3 (2300 К), оксида магния MgO (2600 К).

Массовыми огнеупорами для электроплавильных печей являются динас (2000 К), магнезит (2570 К), хромомagneзит, доломит и шамот (2000 К).

Теплоизоляционные материалы. Материалы с огнеупорностью ниже 1580 К называют теплоизоляционными. Обладают малой теплопроводностью при достаточной огнеупорности. Наиболее распространенные:

- **Диатомит** – осадочная горная порода; по химическому составу – почти чистый кремнезем (SiO_2), используется для стен электропечей в виде насыпной изоляции.

- **Шлаковые и минеральные ваты** получают из топочных и доменных шлаков.

- **Стекловата.** Максимальная температура ее применения 700–800 К.

- **Пеностекло.** Максимальная рабочая температура 900–1000 К.

- **Зонолит** – легкая чешуйчатая масса, выдерживает температуру до 1400 К.

- **Асбест** – волокнистый материал, с максимальной рабочей температурой 900 К.

Жаропрочные материалы. Жаропрочность – свойство материала сохранять высокую механическую прочность при высоких температурах. Жароупорность – устойчивость к химическим реакциям при высоких температурах.

Основные жаропрочные материалы – сплавы железа со специальными легирующими добавками (хром, алюминий, никель). Добавки хрома и алюминия придают сплавам способность противостоять высокотемпературной

коррозии. Никель улучшает обрабатываемость материала, повышает его механическую прочность при работе в условиях высокой температуры.

Жаропрочные материалы подразделяют на жаростойкие и жароупорные. Основной легирующей добавкой в первой группе сплавов служит хром. Эти сплавы хорошо противостоят окислению при высоких температурах. Увеличение процентного содержания хрома в стали повышает его жаростойкость.

Для высокотемпературных электропечей в качестве жароупорных материалов применяют молибден, ниобий, вольфрам (работающие в защитных газах – аргоне, азоте, водороде), высокоогнеупорную керамику, карбиды и бориды некоторых материалов.

2.12. Электрошлаковые установки

При электрошлаковом переплаве (ЭШП) рекомендуемый электрод 1 из переплавляемого металла погружается в электропроводный шлак 2, находящийся в водоохлаждаемом кристаллизаторе 3, закрытом водоохлаждаемым поддоном 4 (рисунок 2.22). Электрический ток протекает между электродом и поддоном через шлак, который имеет высокое электрическое сопротивление и интенсивно разогревается по закону Джоуля-Ленца.

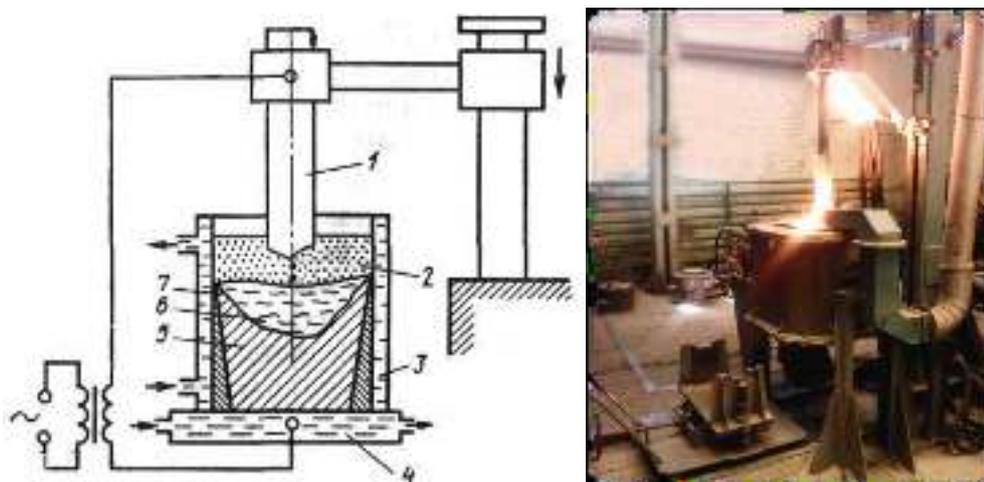


Рисунок 2.22 – Электрошлаковые установки

Находящийся в расплаве шлака торец электрода расплавляется, капли металла, стекающие с электрода, проходят через шлак, очищаются от нежелательных примесей и собираются на дне кристаллизатора. В результате отвода теплоты в поддон и стенки кристаллизатора скапливающийся металл застывает в виде слитка 5. В верхней части слитка находится ванна расплавленного металла 6. По мере оплавления электрод подается вниз. Между стенкой кристаллизатора и слитком образуется слой гарнисажа 7.

Основными факторами, повышающими качество металла, являются: химическое взаимодействие со шлаком; направленная кристаллизация слитка;

формирование слитка в шлаковом гарнисаже с образованием гладкой поверхности. Основное назначение установок ЭШП – производство слитков из высококачественных сталей.

2.13. Установки индукционного нагрева

Индукционный нагрев – нагрев тел в электромагнитном поле за счет теплового действия электрического тока, протекающего по нагреваемому телу и возникающего в нем благодаря явлению электромагнитной индукции.

Индукционная установка – электротермическое устройство, предназначенное для индукционного нагрева или плавки тех или иных материалов (рисунок 2.23).

Индукционная плавильная установка – индукционная установка, в которой нагреваемый материал меняет свое агрегатное состояние в процессе нагрева.

Индукционная нагревательная установка – индукционная установка, в которой температура нагреваемого материала всегда ниже температуры его плавления (рисунок 2.24).

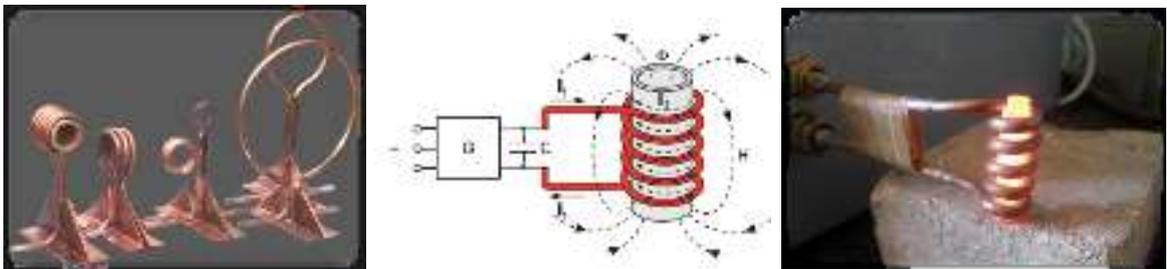


Рисунок 2.23 – Установки индукционного нагрева

Индуктор – проводник (или система проводников определенной конфигурации), подключаемый к внешнему источнику переменного тока и предназначенный для бесконтактного наведения в нагреваемом изделии электромагнитного поля и электрического тока, разогревающего изделие.

Загрузка – изделие, помещенное в индуктор и подвергаемое индукционному нагреву.

Конденсаторная батарея – служит для компенсации реактивной мощности индуктора.

Силовой колебательный контур – индуктор, соединенный токоподводом (короткой сетью) с конденсаторной батареей.



Рисунок 2.24 – Классификация и область применения УИН

Преимущества индукционного нагревателя:

1. Передача электрической энергии непосредственно в нагреваемое тело позволяет осуществить прямой нагрев материалов (глубинный нагрев) и значительно увеличить его скорость по сравнению с печами косвенного нагрева, где изделие нагревается только через поверхностный слой (поверхностный нагрев).

2. Максимальный уровень температур ограничивается только применяемыми огнеупорными материалами.

3. При передаче электрической энергии в нагреваемое тело не нужны контактные устройства, что упрощает конструкцию и облегчает автоматизацию и нагрев в вакууме и защитных средах.

4. Благодаря поверхностному эффекту на высоких частотах максимальная мощность выделяется в поверхностном слое нагреваемого изделия, что благоприятно сказывается при поверхностной закалке.

5. В индукционных плавильных печах при передаче энергии в расплав возникают электродинамические усилия, способствующие перемешиванию расплава в объеме тигля, что ускоряет процесс плавления и позволяет получать металл с однородными свойствами.

6. Источник нагрева – индуктор, является холодным и не вносит загрязнений в атмосферу печи, что позволяет осуществлять особо чистые технологические процессы.

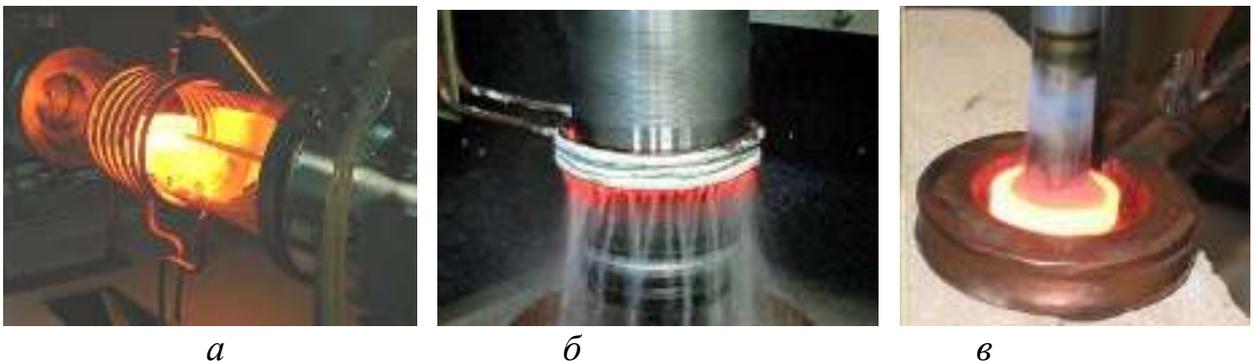
7. Индукционный метод нагрева позволяет повысить производительность труда и экологичность технологического процесса.

В зависимости от режима нагрева во времени индукционные установки бывают (рисунки 2.25, 2.26 и 2.27):

- периодического действия, в которых загрузка нагревается от начальной до конечной температуры, оставаясь неподвижной относительно индуктора;
- полунепрерывного действия – вакуумные установки, в которых не требуется разгерметизация вакуумной камеры для её загрузки или разгрузки;
- непрерывного действия (методические установки), в которых загрузка нагревается до заданной температуры по мере её непрерывного или дискретного перемещения относительно индуктора.

По частоте питающего напряжения индукционные установки бывают:

- пониженной частоты (до 50 Гц);
- промышленной частоты питающиеся от сети 50 Гц;
- повышенной частоты (150–10000 Гц);
- высокой частоты (20000 Гц и выше).



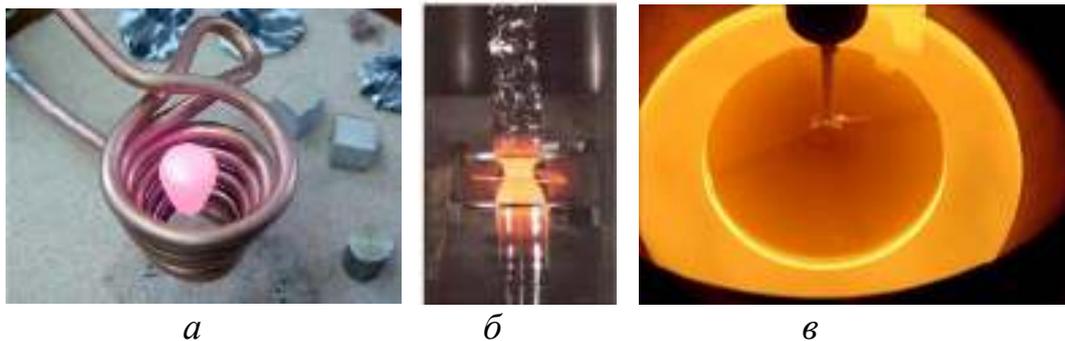
а – сквозной нагрев под пластическую деформацию и термообработку;
б – поверхностная закалка; *в* – индукционная сварка

Рисунок 2.25 – Установки для индукционного нагрева



a – индукционная каналная печь; *б* – индукционная тигельная печь;
в – печь с холодным тиглем

Рисунок 2.26 – Индукционная плавка металлов в печи



a – левитационная плавка; *б* – зонная плавка; *в* – выращивание монокристаллов

Рисунок 2.27 – Индукционная плавка металлов

2.14. Основные законы переменного электромагнитного поля

Электромагнитное поле – особый вид материи, отличающийся непрерывным распределением в пространстве, характеризующийся способностью распространения в вакууме со скоростью света, и оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы и проводники с током.

Электрическим полем называется одна из сторон электромагнитного поля, обусловленная наличием электрических зарядов или изменением магнитного поля и оказывающая сильное воздействие на неподвижные заряженные частицы (рисунок 2.28).

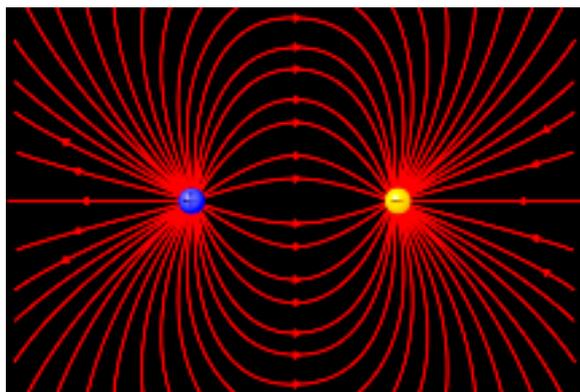


Рисунок 2.28 – Графическая интерпретация электрического поля

Интенсивность электрического поля в какой-либо точке характеризуется напряженностью электрического поля E [В/м]. Напряженность электрического поля является причиной возникновения электрического тока в нагрузке, помещенной в переменное электромагнитное поле.

Магнитным полем называется одна из сторон электромагнитного поля, обусловленная движущимися заряженными частицами или изменением электрического поля и оказывающая силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы или проводник с током (рисунок 2.29).

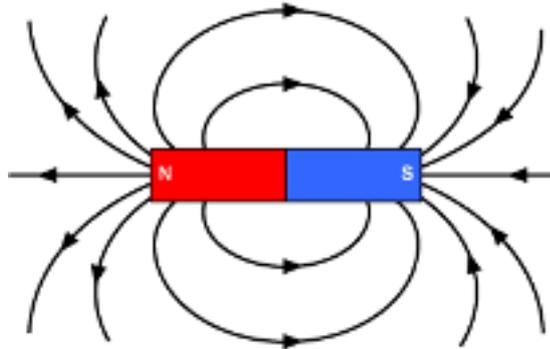


Рисунок 2.29 – Графическая интерпретация магнитного поля

Интенсивность магнитного поля в каждой точке пространства характеризуется магнитной индукцией B [Тл] (рисунок 2.30). Напряженность электрического поля является причиной возникновения электрического тока в нагрузке, помещенной в переменное электромагнитное поле.

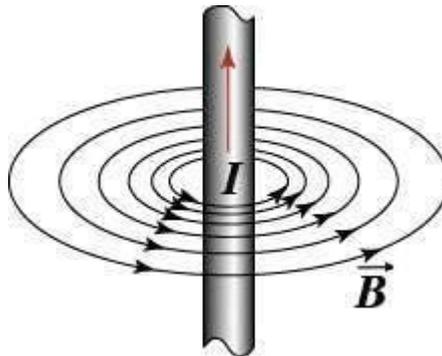


Рисунок 2.30 – Графическая интерпретация магнитной индукции

Поток вектора магнитной индукции через некоторую поверхность S называется магнитным потоком Φ через эту поверхность [Вб] (рисунок 2.31):

$$\Phi = \int_S B dS = \int_S B \cos \beta dS,$$

где β – угол между направлением вектора B и нормалью к площадке dS .

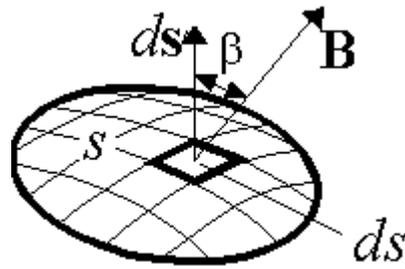


Рисунок 2.31 – К определению магнитного потока

Напряженность магнитного поля, H [А/м]:

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0 \mu'}$$

где μ – абсолютная магнитная проницаемость;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная [Г/м];

μ' – относительная магнитная проницаемость.

Закон полного тока: линейный интеграл напряженности магнитного поля H вдоль замкнутого контура l равен электрическому току i , охватываемому этим контуром (рисунок 2.32):

$$\int_l H dl = I_1 + I_2 + \dots + I_k = i.$$

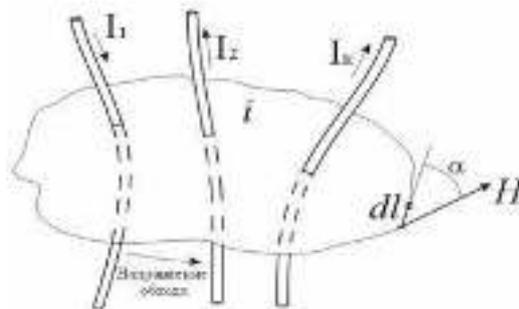


Рисунок 2.32 – Интерпретация закона полного тока

Для катушки с числом витков w закон полного тока записывается (рисунок 2.33):

$$\int_l H dl = wI.$$

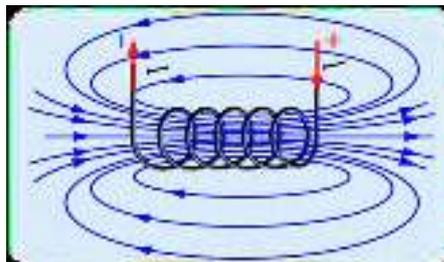


Рисунок 2.33 – Интерпретация закона полного тока для катушки

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): при всяком изменении магнитного потока Φ , пронизывающего какой-либо контур, в контуре наводится электродвижущая сила (ЭДС) e , [В] (рисунок 2.34).

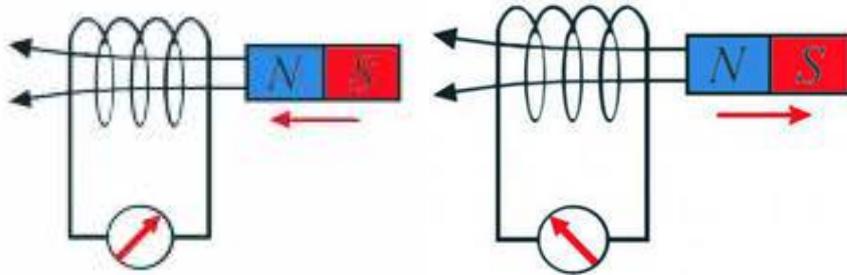


Рисунок 2.34 – Графическая интерпретация закона электромагнитной индукции (закон Фарадея)

$$e = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где t – время.

Рассмотрим частные случаи электромагнитной индукции. Самоиндукция – наведение ЭДС в контуре (катушке) при изменении силы тока, протекающего по этому же контуру (катушке).

ЭДС самоиндукции e_L в катушке пропорциональна скорости изменения силы тока, протекающего в катушке (рисунок 2.35).

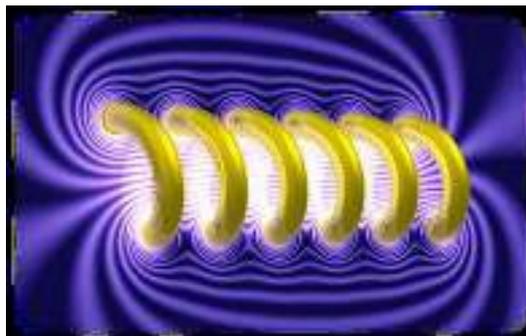


Рисунок 2.35 – К определению ЭДС магнитной индукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt},$$

где L – индуктивность контура (катушки) [Гн]. Зависит от геометрических размеров контура (катушки) и числа ее витков.

Взаимоиндукция – наведение ЭДС в контуре (катушке) при изменении стороннего магнитного потока, пронизывающего контур (катушку). Наведенная при этом ЭДС называется ЭДС взаимной индукции (рисунок 2.36).

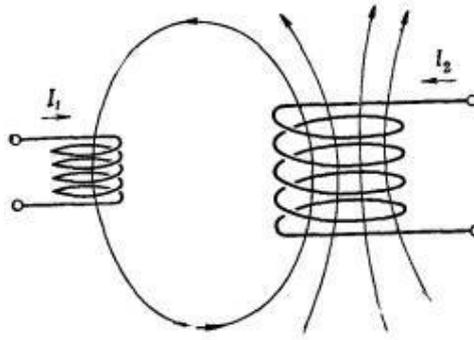


Рисунок 2.36 – К определению ЭДС взаимной индукции

$$e_{1M} = \pm M \frac{di_2}{dt},$$

$$e_{2M} = \pm M \frac{di_1}{dt},$$

где M – коэффициент взаимной индукции [Гн].

Направление индуцированного тока, возникающего вследствие явления электромагнитной индукции, определяется правилом Ленца: индуцированный ток всегда имеет такое направление, при котором его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного поля, вызвавшего возникновение индуцированного тока.

Физические основы индукционного нагрева заключаются в следующем. Принцип наименьшего действия: токи, протекающие в системе проводников, под действием сторонней ЭДС или ЭДС электромагнитной индукции распределяются таким образом, что полное сопротивление системы между двумя точками приложения ЭДС оказывается минимальным (рисунок 2.37).

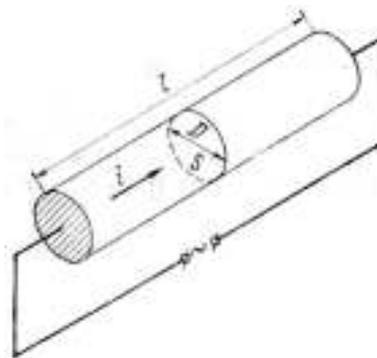


Рисунок 2.37 – К определению принципа наименьшего действия

$$Z = \overline{R^2 + \omega L^2} \rightarrow \min.$$

Поверхностный эффект – явление неравномерного распределения переменного электрического тока по сечению проводника, когда плотность тока у его поверхности оказывается выше, чем в глубине проводника (рису-

нок 2.38). Причиной возникновения поверхностного эффекта является ЭДС самоиндукции.

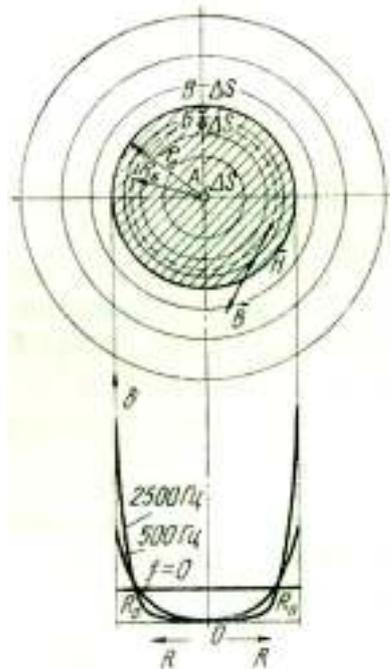


Рисунок 2.38 – Графическая интерпретация поверхностного эффекта

Степень проявления поверхностного эффекта тем больше, чем больше радиус проводника и чем выше частота тока.

Глубина проникновения тока – такое расстояние от поверхности проводника, на котором плотность электрического тока уменьшается в e раз по сравнению с плотностью тока на поверхности, м:

$$\Delta = \frac{2\rho}{\omega\mu} = 503 \frac{\rho}{\mu'f},$$

где $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, с^{-1} .

Эффект близости – перераспределение переменного тока по сечению проводника при приближении к нему другого проводника (рисунок 2.39).

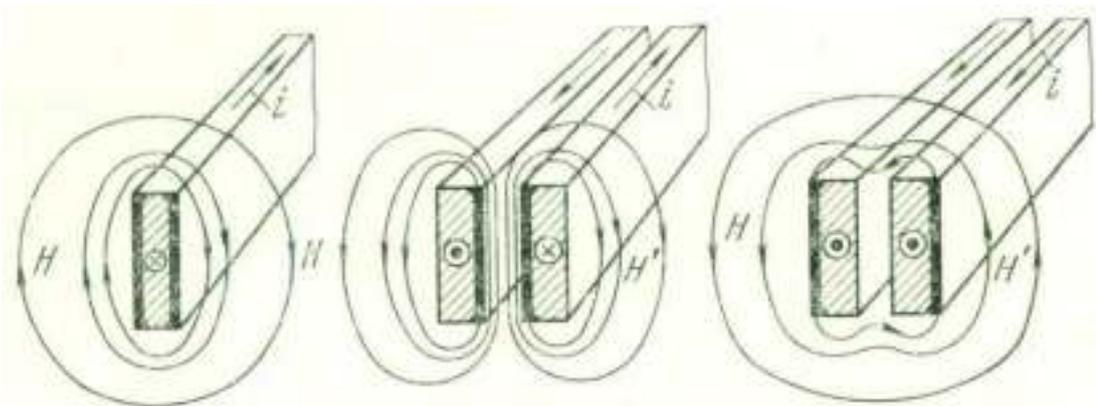


Рисунок 2.39 – Графическая интерпретация эффекта близости

Кольцевой (катушечный) эффект – перераспределение переменного тока по сечению проводника, согнутого в кольцо, приводящее к тому, что переменный ток стремится идти только по тонкому слою, равному Δ с внутренней стороны кольца (катушки) (рисунок 2.40).

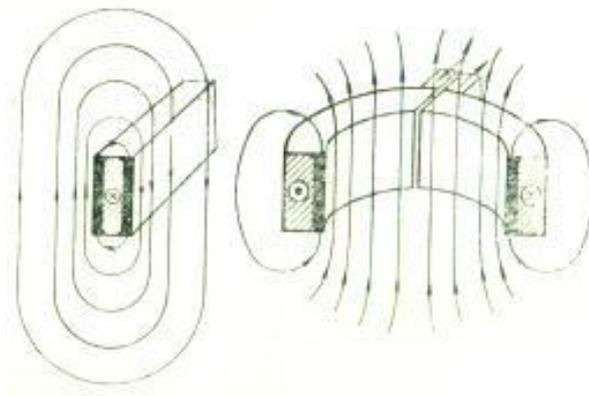


Рисунок 2.40 – Графическая интерпретация кольцевого эффекта

Эффект паза – вытеснение тока в проводнике, расположенном в пазу магнитопровода, в сторону, противоположную магнитопроводу (рисунок 2.41).

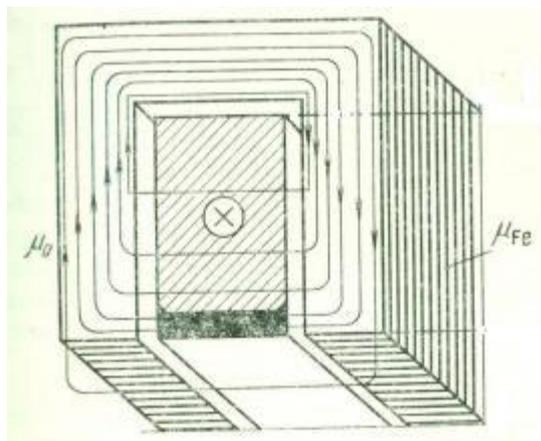
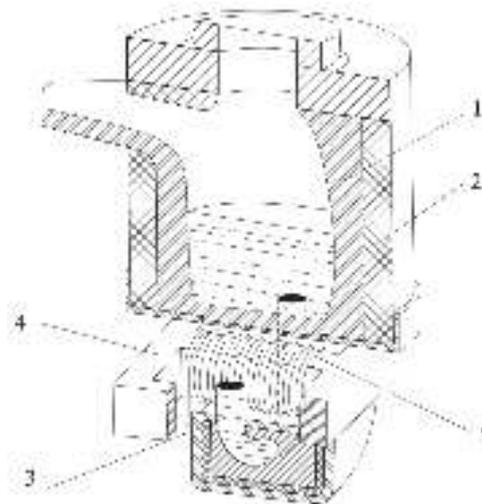


Рисунок 2.41 – Графическая интерпретация кольцевого эффекта

2.15. Индукционные каналные печи

Устройство и принцип действия печи заключается в следующем. Основная масса металла располагается в ванне печи 1. Ванна сообщается с плавильным каналом 3. Жидкий металл в канале и ванне образует замкнутое проводящее кольцо, внутри которого размещается индуктор 5, намотанный на стержень замкнутого магнитопровода 4 (рисунок 2.42).



1 – футерованная ванна; 2 – теплоизоляция; 3 – канал; 4 – магнитопровод;
5 – индуктор; 6 – подовый камень

Рисунок 2.42 – Эскиз индукционной канальной печи

В канале с расплавленным металлом индуцируется ток и выделяется тепловая энергия, разогревающая металл. Под действием электродинамических сил и конвективного движения нагретый металл из канала поднимается в ванну, а холодный металл из ванны опускается в канал, где разогревается протекающим в канале током.

Система «индуктор – магнитопровод» называется печным трансформатором. Футеровка, образующая плавильный канал, называется подовым камнем. Система, состоящая из печного трансформатора и подового камня, называется индукционной единицей.

Футеровка канальной печи состоит из подового камня и футеровки ванны (рисунок 2.43).

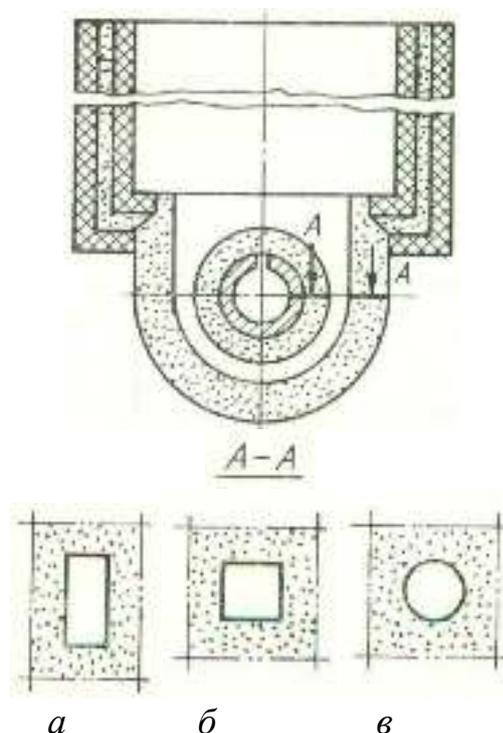


Рисунок 2.43 – Футеровка канальной печи

Ванна печи чаще всего имеет форму цилиндра круглого сечения с вертикальной осью.

Форма и размер плавильного канала в подовом камне определяется мощностью печи и особенностью выплавляемого металла. Наиболее благоприятной с точки зрения КПД и $\cos\varphi$ является прямоугольная форма поперечного сечения канала с большей стороной, располагаемой параллельно оси индуктора (рисунок 2.43 а). Оптимальной формой канала в продольном сечении, с точки зрения энергетических показателей, является кольцо, повторяющее форму индуктора. Толщину футеровки между индуктором и каналом должна быть минимально допустимой и определяется механической прочностью при данном гидростатическом давлении расплава.

Для уменьшения зарастания каналов (в печах для плавки алюминия и цинка) и удобства их чистки каналы выполняют в виде квадратного или круглого поперечного сечения (рисунок 2.43 б и в), с размерами, превышающими оптимальное значение. Для удобства чистки каналы таких печей в продольном сечении выполняют из прямолинейных участков.

Основным элементом ИКП является печной трансформатор (рисунок 2.44).

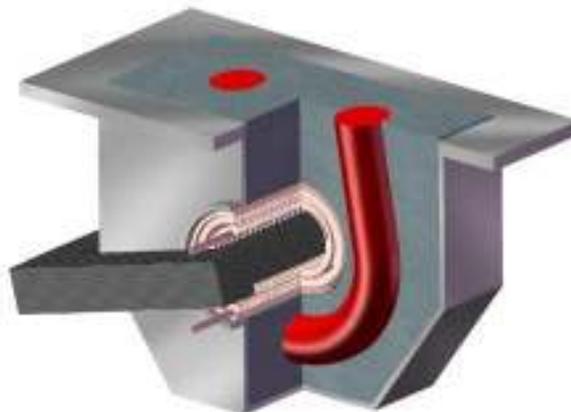


Рисунок 2.44 – Печной трансформатор

Первичной обмоткой трансформатора является индуктор, вторичной – канал с расплавом.

Печной трансформатор состоит из магнитопровода и индуктора (рисунки 2.45 и 2.46).



Рисунок 2.45 – Магнитопровод

Магнитопровод печного трансформатора выполняется из листов электротехнической стали толщиной 0,35 и 0,5 мм. Для удобства сборки и разборки магнитопровод имеет съемное ярмо. Сердечник магнитопровода имеет поперечное сечение, повторяющее форму индуктора.

Индуктор выполняется в виде спиральной катушки из медного проводника и, как правило, имеет круглое поперечное сечение. В печах, имеющих прямоугольный контур плавильного канала, катушка индуктора повторяет его форму. Витки индуктора изолируются лентой из стекловолокна.



Рисунок 2.46 – Индуктор

От крайних витков индуктора делаются отпайки для изменения коэффициента трансформации печного трансформатора, что позволяет регулировать мощность, передаваемую в канал, и поддерживать заданный режим работы в случае зарастания или размывания канала печи.

Между индуктором и сердечником магнитопровода располагается изолирующий цилиндр.

Циркуляция металла из каналов в ванну и обратно имеет важное значение, так как все тепло выделяется в каналах. В возникновении циркуляции играют роль конвекция (в меньшей степени) и электродинамические силы (рисунок 2.47).

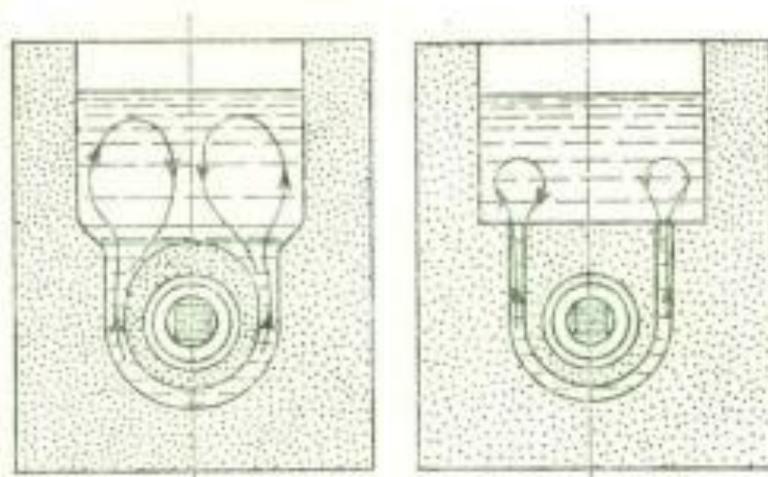


Рисунок 2.47 – Циркуляция металла из каналов в ванну и обратно

Электродинамические силы возникают вследствие взаимодействия тока в канале с магнитным потоком рассеяния, проходящим между каналом и индуктором.

Создаваемое электродинамическими силами давление равно нулю на внутренней стенке канала и максимально на внешней стенке. Поэтому металл вытесняется из канала вдоль внешней стенки, а втягивается в него вдоль внутренней.

Для усиления циркуляции устья каналов расширяют для уменьшения гидравлического сопротивления.

Движение металла позволяет:

- усилить тепломассообмен между каналами печи и ванной;
- уменьшить перегрев металла в каналах;
- увеличить стойкость подового камня;
- увеличить производительность печи.

В некоторых случаях, например в печах для плавки алюминия, каналы снабжают электромагнитными вращателями для снижения интенсивности их зарастания.

Особенности канальных печей для плавки различных металлов

1. **Печи для плавки меди и медных сплавов.** Температура разливки меди 1230 °С. Чтобы перегрев металла не привел к снижению срока службы подового камня, удельная мощность в каналах ограничивается.

Температура разливки латуни 1050 °С, а удельная мощность в каналах ограничивается значением $(50-60) \cdot 10^6$ Вт/м³ во избежание возникновения цинковых пульсаций (закипание цинка в каналах печи при температуре выше 916 °С и периодическое, 2–3 раза в секунду, прерывание тока в каналах). При удельной мощности, не превышающей указанную, цинковая пульсация говорит о готовности латуни к разливке. Максимальная емкость таких печей – 35 тонн, удельный расход энергии – 200–300 кВт·ч/т, $\cos(\rho) = 0,5-0,8$.

2. **Печи для плавки алюминия.** Температура разливки алюминия – около 720 °С, а плотность в жидком состоянии – 2500 кг/м³. Особенность таких печей связана с легкой окисляемостью алюминия и свойствами его оксидной пленки (температура плавления – 2070 °С, плотность – 3700 кг/м³). При обрыве оксидной пленки она осаждается на дно ванны, попадает в каналы и из-за своей химической активности вызывает их интенсивное зарастание. Указанные особенности вынуждают ограничивать удельную мощность в каналах печи $(4-6) \cdot 10^6$ Вт/м³ для вертикально расположенных каналов и $(12-15) \cdot 10^6$ Вт/м³ для горизонтальных каналов. Это позволяет уменьшить перегрев металла на поверхности ванны и соответственно снизить его окисление, а также снизить интенсивность циркуляции металла в ванне и предотвратить обрывы оксидной пленки. Для удобства чистки каналов их выполняют из прямолинейных участков с круглым поперечным сечением. Диаметр канала принимается 6–10 см. Максимальная емкость таких печей – 100 тонн, удельный расход энергии – 360–500 кВт·ч/т, $\cos(\rho) = 0,3-0,4$.

3. **Печи для плавки цинка.** Температура разливки цинка 480–500 °С, удельная мощность в каналах составляет (30–40)·10⁶ Вт/м³.

Расплавленный цинк обладает высокой текучестью, легко проникает в поры футеровки и вступает в соединение с материалом футеровки. Так как этот процесс ускоряется с увеличением гидростатического давления, печи для плавки цинка имеют прямоугольную ванну небольшой глубины и индукционные единицы с горизонтально расположенными каналами. Ванна разделяется на плавильную и разливочную камеры внутренней перегородкой. Чистый металл перетекает из плавильной камеры в разливочную через окошко, расположенное в нижней части перегородки. Примеси и загрязнения остаются на поверхности в плавильной камере.

Максимальная емкость печей для цинка – 150 тонн, удельный расход энергии – 100 кВт·ч/т, $\cos(\rho) = 0,5–0,6$.

4. **Печи для плавки чугуна.** Канальные печи для плавки чугуна используются в качестве миксеров в паре с дуговыми и индукционными тигельными печами для выдержки, легирования, выравнивания температуры и состава чугуна перед разливкой. Удельная мощность в каналах составляет (40–50)·10⁶ Вт/м³. Срок службы футеровки подового камня составляет 4–6 месяцев.

Максимальная емкость таких печей – 250 тонн, удельный расход энергии 200 кВт·ч/т, $\cos(\rho) = 0,6–0,8$.

Достоинства и недостатки индукционных канальных печей заключаются в следующем.

Достоинства:

1. Минимальное окисление металла, так как к наиболее нагретой части металла, находящегося в канале, нет доступа воздуха, а поверхность металла в ванне имеет относительно низкую температуру.

2. Малый расход энергии на расплавление, перегрев и выдержку металла, так как печь имеет высокий электрический и тепловой КПД.

3. Однородность химического состава металла в ванне и высокая скорость плавления благодаря циркуляции расплава.

Недостатки:

1. Тяжелые условия работы подового камня. Стойкость футеровки снижается при повышении температуры металла, при плавке химически активных и загрязненных сплавов.

2. Необходимо постоянно держать в печи некоторое количество расплавленного металла (25–30% от полной емкости).

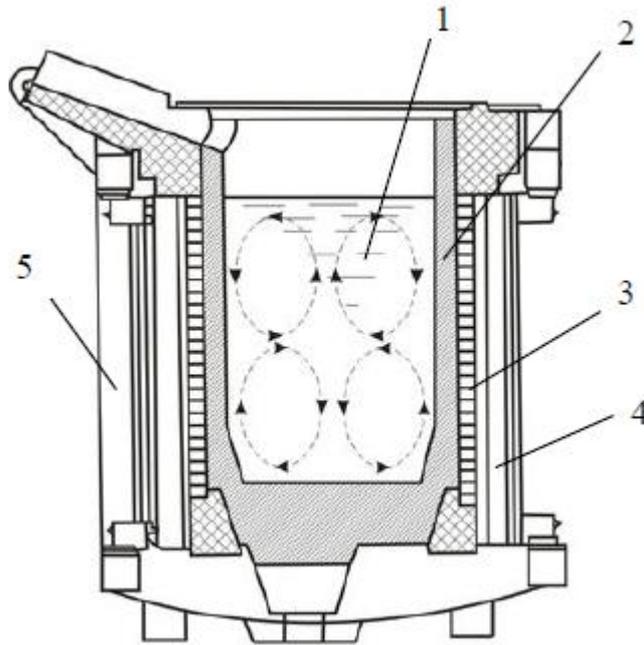
3. Для перехода на другой сплав требуется проведение балластных плавов, пока состав сплава не изменится от исходного до требуемого.

4. Из-за низкой температуры на поверхности ванны затруднено проведение металлургических операций при легировании сплава и обработке его шлаками.

2.16. Индукционные тигельные печи

Тигельная печь по принципу действия подобна трансформатору без сердечника. Первичная обмотка – индуктор, вторичная обмотка и нагрузка – расплавленный металл в тигле.

Печь представляет собой плавильный тигель, помещенный в индуктор. Внутри тигля загружается металл, который, поглощая энергию электромагнитного поля, плавится (рисунок 2.48).



1 – расплав; 2 – тигель; 3 – индуктор; 4 – металлокаркас; 5 – магнитопровод

Рисунок 2.48 – Эскиз индукционной тигельной печи

Различают печи с непроводящим и проводящим тиглем. В первом случае загрузка нагревается наведенным в ней током, во втором электромагнитным полем нагревается тигель, а загрузка плавится за счет теплопередачи от нагретого тигля.

Для снижения потерь энергии в элементах конструкции печи применяются магнитопровод в виде пакетов трансформаторной стали, располагающихся вокруг индуктора, или электромагнитный экран между индуктором и корпусом печи.

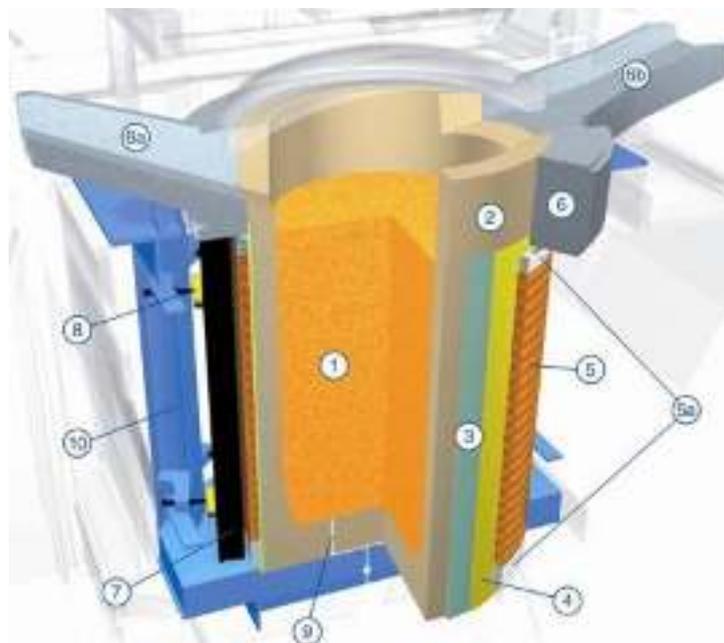
Диапазон емкостей тигельных печей – от 0,1 кг до 120 тонн. Крупные печи работают на частоте 50 Гц. С уменьшением емкости печи частота должна повышаться, чтобы сохранилось соотношение между глубиной проникновения тока и диаметром тигля, обеспечивающее высокий КПД индуктора.

По частоте питающего напряжения индукционные тигельные печи классифицируются следующим образом:

- печи промышленной частоты, работающие на частоте 50 Гц;
- печи повышенной частоты (150–250 Гц);

- печи средней частоты (500–10000 Гц);
- высокочастотные печи (выше 10000 Гц).

По характеру рабочей среды ИТП делятся на открытые (работающие в атмосфере) и вакуумные (рисунок 2.49).



1 – жидкий металл; 2 – тигель; 3 – тепловая изоляция; 4 – электрическая изоляция;
5 – индуктор; 5a – охлаждающие катушки; 6 – воротник; 6a – летка для слива металла;
6b – носок для шлака; 7 – магнитопровод; 8 – стяжки; 9 – подина печи; 10 – металлокаркас

Рисунок 2.49 – Устройство индукционной тигельной печи

Футеровка печи включает в себя тигель (если он не проводящий), подину, воротник вместе с леткой и носком для удаления шлака. Состав футеровки определяется свойствами выплавляемого металла. Проводящие тигли не являются футеровкой печи.

Требования, предъявляемые к тиглю:

- должен обладать высокой огнеупорностью, термостойкостью и химической стойкостью по отношению к расплавленному металлу при рабочих температурах;
- должен сохранять изоляционные свойства во всем диапазоне рабочих температур;
- должен иметь по возможности минимальную толщину стенки для получения высокого значения электрического КПД и $\cos(\varphi)$;
- должен быть механически прочным в условиях высоких температур, большого металлостатического давления, значительных механических усилий, возникающих при наклоне печи, ударных нагрузках, возникающих при загрузке шихты и чистке тигля;
- материал тигля должен иметь малый коэффициент линейного расширения.

В зависимости от выплавляемого металла применяют три вида футеровок:

- кислая футеровка (содержит до 98% окиси кремния SiO_2). Стойкость – 80–100 плавов;
- основная футеровка (содержит 85% окиси магния MgO и жидкое стекло). Стойкость – 20–50 плавов;
- нейтральная футеровка (на основе глинозема Al_2O_3). Стойкость – более 100 плавов.

Проводящие тигли применяются для плавки материалов с очень высоким удельным сопротивлением либо для повышения КПД при плавке материалов с низким удельным сопротивлением. При этом переплавляемый материал не должен взаимодействовать с материалом тигля.

Индуктор предназначен для создания электромагнитного поля, индуцирующего ток в нагрузке (рисунок 2.50). Представляет собой цилиндрическую однослойную водоохлаждаемую катушку, витки которой уложены в виде спирали, либо методом транспозиции.



Рисунок 2.50 – Общий вид индуктора

Индуктор должен обеспечивать:

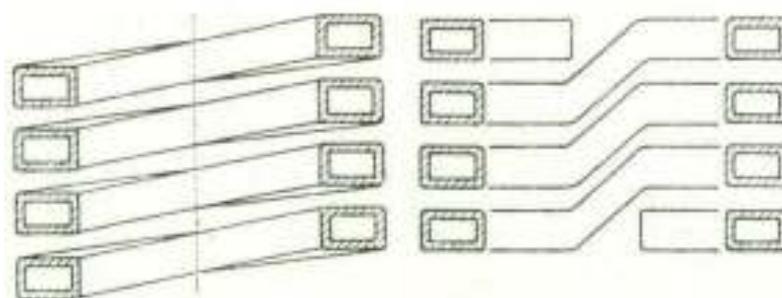
- минимальные электрические потери;
- требуемый расход охлаждающей воды;
- необходимую механическую прочность и жесткость;
- надежную электроизоляцию.

Для снижения электрических потерь необходимо выполнение условий:

- материал индуктора должен обладать малым удельным сопротивлением;
- он должен быть немагнитным;
- толщина активного слоя витка индуктора должна быть $> 1,57A$.

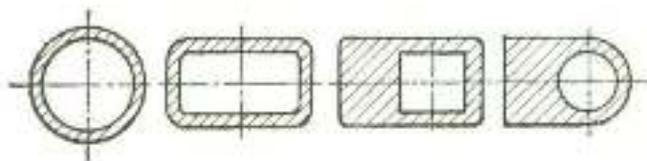
Указанные условия выполняются при выполнении индуктора из медной трубки круглого, прямоугольного или специального сечения. При этом равностенные трубки используются для печей повышенной частоты, а со стенками разной толщины – в печах промышленной частоты (рисунок 2.51).

Электроизоляция индуктора должна иметь высокую диэлектрическую прочность, быть пыле- и влагонепроницаемой, противостоять вибрациям и повышенным температурам.



Спиральная навивка

Транспозиционная навивка



Профиль медной трубки

Рисунок 2.51 – Общий вид медной трубки

Каркас печи служит креплением основных элементов печи, к которому предъявляются требования (рисунок 2.52):

- обеспечение максимальной жесткости всей конструкции;
- минимальное поглощение мощности элементами каркаса, т.к. они находятся в магнитном поле индуктора.

Для уменьшения потерь энергии в каркасе применяются магнитопроводы и экраны.

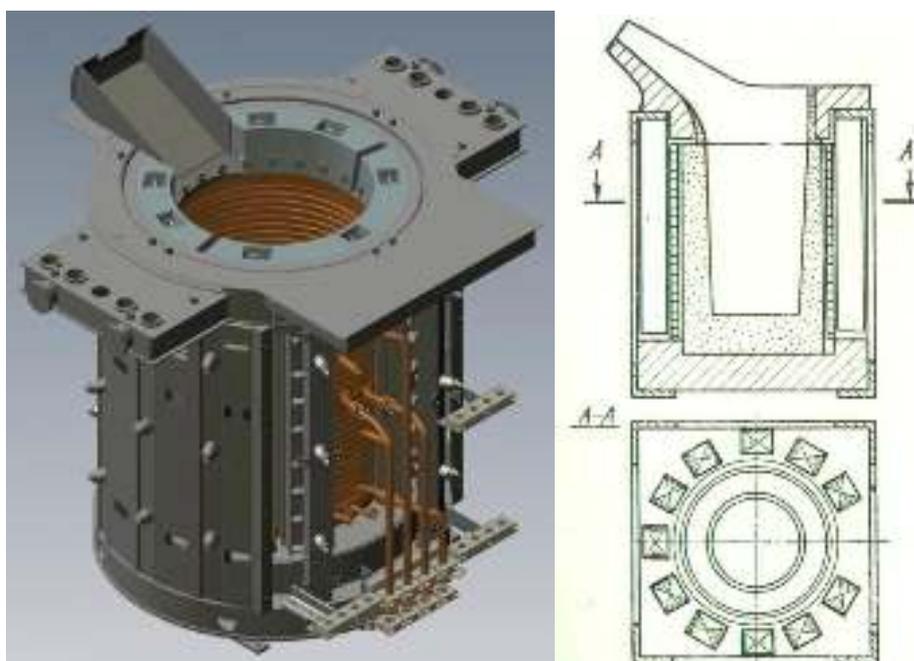


Рисунок 2.52 – Общий вид каркаса

Пакеты магнитопроводов устанавливаются между индуктором и каркасом печи и выполняются из листов электротехнической стали толщиной 0,2, 0,35 и 0,5 мм.

Кроме своего прямого назначения, магнитопроводы выполняют функцию конструктивного элемента, обеспечивающего жесткость индуктора и всей печи. Применение магнитопроводов позволяет уменьшить габариты печи и дает возможность изготавливать кожух из конструкционной стали.

Электромагнитные экраны выполняются в виде тонких медных или алюминиевых листов, толщина которых превышает глубину проникновения. Экран располагается непосредственно у внутренней поверхности кожуха.

Расплавленный металл в индукционной тигельной печи подвергается силовому воздействию со стороны электромагнитного поля. Сила электродинамического воздействия направлена радиально от поверхности к оси тигля. Они максимальны на поверхности тигля и убывают до нуля на оси. С понижением частоты силовое воздействие на металл увеличивается.

Распределение сил неравномерно по вертикальной оси. Возникает перепад давления, под действием которого металл приходит в движение. Возникает двухконтурная циркуляция.

Циркуляция металла ускоряет расплавление, выравнивает температуру и химический состав ванны, способствует взаимодействию металла со шлаком (рисунок 2.53).

Недостатком циркуляции металла является возникновение мениска. Это приводит к увеличению количества шлака, необходимого для полного покрытия поверхности металла, разъеданию футеровки и загрязнению расплава, понижению температуры шлака.

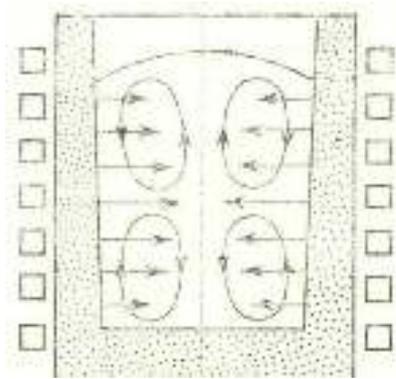


Рисунок 2.53 – Циркуляция металла в тигельных печах

Понижение температуры шлака замедляет протекание химических реакций и увеличивает продолжительность плавки. Высота мениска не должна превышать 15% от высоты металла в тигле. Высота мениска определяется из выражения, м:

$$h_m = 0,32 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_0 / \gamma \sqrt{\rho_2 f},$$

где ρ_0 – удельная поверхностная мощность, Вт/м²;

ρ_2 – удельное сопротивление расплава, Ом·м;

γ – плотность расплава, кг/м³.

Для уменьшения мениска ограничивают удельную мощность, поступающую в металл, и верхний край обмотки располагают ниже уровня металла в печи.

Рабочая частота определяется из технико-экономических соображений. При выбранной частоте тока передача энергии в нагрузку должна осуществляться с высоким КПД как при расплавленной садке, так и при кусковой шихте. С другой стороны, глубинный характер нагрева должен обеспечивать электродинамическое воздействие на расплав, перемешивая его, но без чрезмерного увеличения высоты мениска.

Расчет частоты:

1. Для печи, работающей на жидкой загрузке или с остаточной емкостью, частота определяется из выражения, Гц:

$$f \geq \frac{10^6 \rho_2 F_0}{D_2^2},$$

где D_2 – диаметр тигля, м;

ρ_2 – удельное сопротивление металла, Ом·м;

$F_0 = f(D_2/a_2)$ – функция размеров загрузки;

a_2 – высота загрузки, м.

2. В печах, загружаемых кусковой шихтой, вначале плавки индуктированные токи замыкаются внутри отдельных кусков. Поэтому частота питающего напряжения будет определяться размером загружаемой шихты:

$$f \geq \frac{2 \cdot 10^6 \rho_{ш}}{D_{ш}^2},$$

где $D_{ш}$ – средний диаметр кусков шихты, м;

p_2 – удельное сопротивление расплавляемого материала при температуре, близкой к плавлению, Ом·м.

При заданной мощности печи для выбранной частоты необходимо проверить высоту мениска. Если она недопустимо велика, необходимо повысить частоту.

С экономической точки зрения выбранная частота должна обеспечивать минимальные капитальные затраты на установку при КПД индуктора и источника питания близких к максимальному (рисунки 2.54 и 2.55).

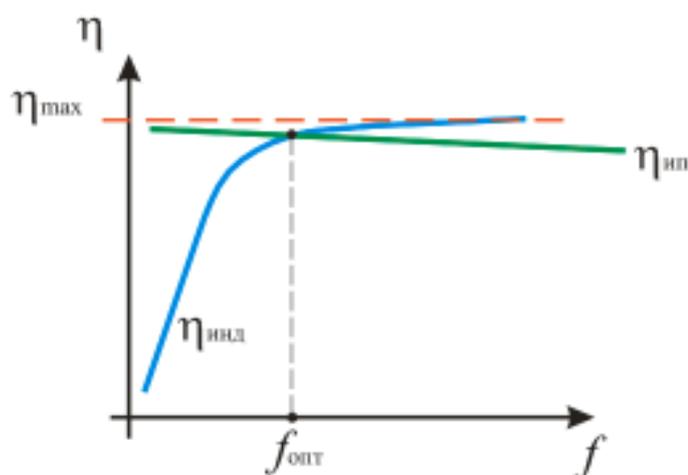


Рисунок 2.54 – Зависимость КПД индуктора и ИП от частоты

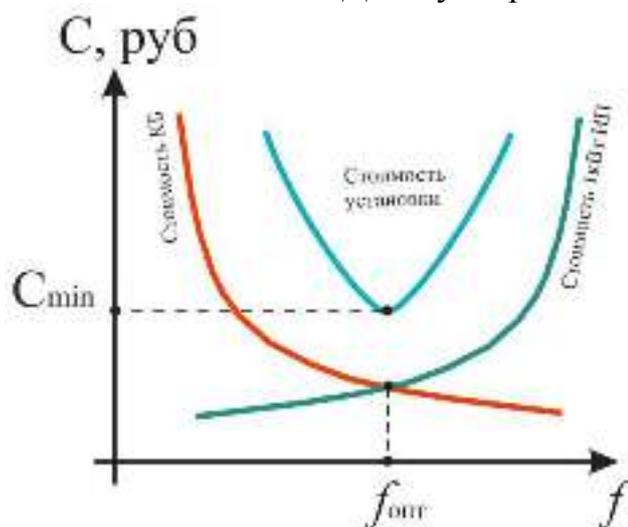


Рисунок 2.55 – Зависимость стоимости оборудования от частоты

Емкость печи	20–30 кг	100–1000 кг	Более 1000 кг
Частота	60 кГц	0,15–10 кГц	50 Гц

Печи частотой выше 50 Гц питаются от статических преобразователей частоты – тиристорных или транзисторных источников питания. Плавильная печь должна располагаться поблизости от источника для снижения потерь энергии и радиопомех. Электрическая схема установки содержит источник питания, колебательный контур (короткая сеть) и индуктор (рисунок 2.56).

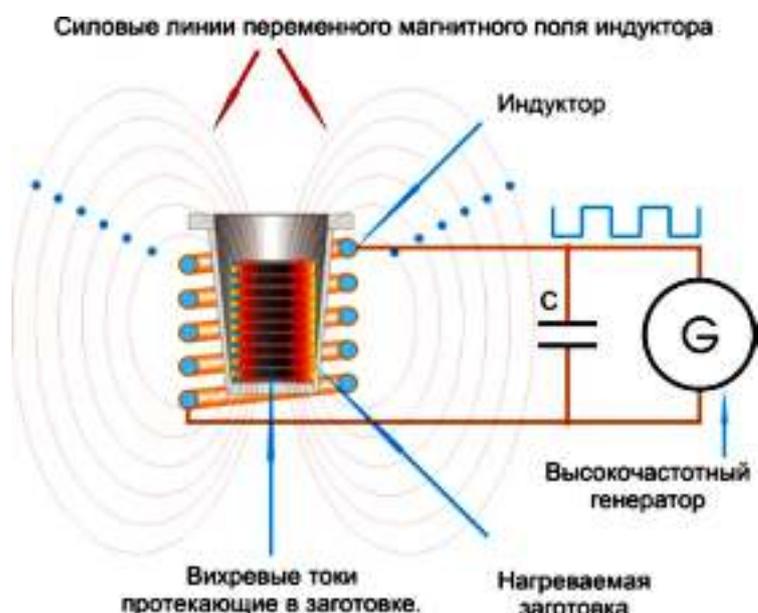


Рисунок 2.56 – Электрическая схема установки

Достоинства и недостатки индукционных тигельных печей заключаются в следующем.

Достоинства:

1. Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов.

2. Интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты и отходов, быстрое выравнивание температуры по объему ванны и отсутствие местных перегревов, получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу.

3. Возможность создания в печи любой атмосферы при любом давлении.

4. Высокая производительность благодаря высоким значениям удельной мощности.

5. Возможность полного слива металла из печи и низкая тепловая инерция благодаря небольшой толщине футеровки. Быстрый переход с одной марки сплава на другую.

6. Простота и удобство обслуживания, широкие возможности для автоматизации.

7. Высокая экологичность.

Недостатки:

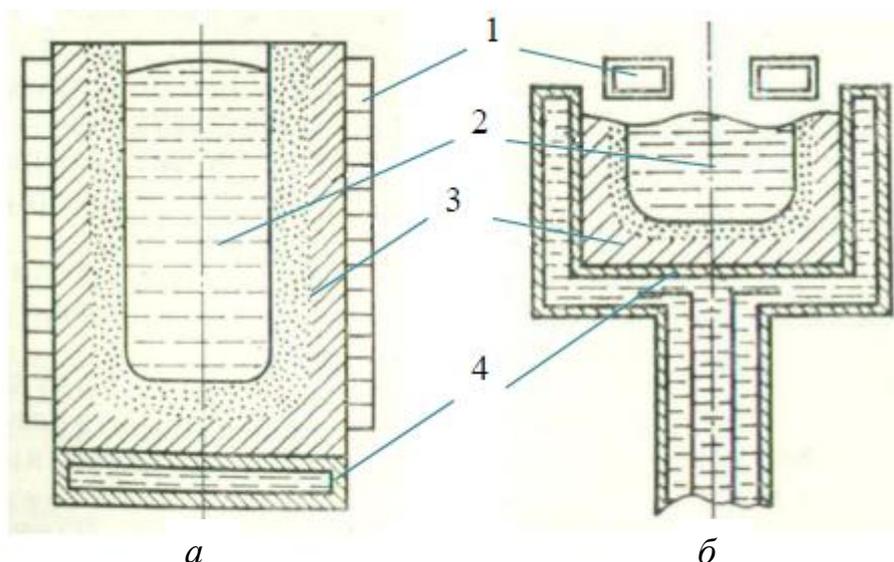
1. Низкая температура шлаков на поверхности печи.

2. Относительно низкая стойкость футеровки при высоких рабочих температурах расплава и при наличии теплосмен.

2.17. Специальные типы индукционных плавильных устройств

Плавка в гарнисаже производится следующим образом. Гарнисажем называется твердый слой, отделяющий расплав от конструктивных элементов плавильного устройства и имеющий тот же химический состав, что и расплав. Образуется в результате спекания шихтовых материалов или кристаллизацией расплава.

Гарнисажная плавка применяется для металлов, имеющих высокую химическую активность при высоких температурах (титан), и огнеупорных материалов, электропроводных в расплавленном состоянии (рисунок 2.57). Обеспечивает очень высокую чистоту расплава, так как расплав не соприкасается с инородным материалом тигля.



1 – индуктор; 2 – расплав; 3 – гарнисаж; 4 – водоохлаждаемая поверхность
Рисунок 2.57 – Гарнисажная плавка

Существуют две схемы гарнисажной плавки:

1. Ввод энергии в загрузку осуществляется через боковую стенку (а). Схема обеспечивает высокий КПД и равномерность температуры по высоте.

2. Через поверхность ванны (б). Происходит перегрев металла на поверхности ванны, низкий КПД из-за плохой магнитной связи торцевого индуктора с загрузкой.

Плавка в холодном тигле происходит следующим образом (рисунок 2.58). Индукционная плавка в холодном тигле представляет собой разновидность плавки, при которой энергия электромагнитного поля передается расплаву через медный охлаждаемый тигель.

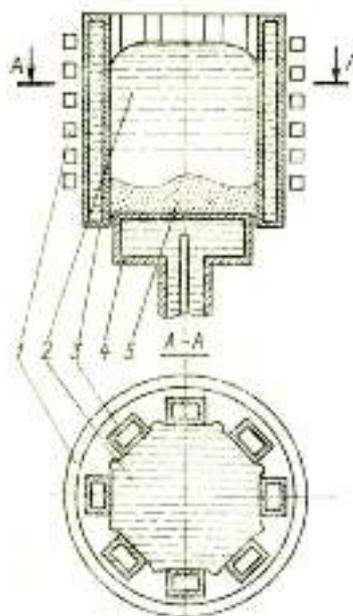
Печь с холодным тиглем представляет собой медный водоохлаждаемый тигель, помещенный внутри плавильного индуктора. Низкая температура тигля предотвращает химическое взаимодействие между ним и расплавом.

Для того чтобы металлический тигель не экранировал поле индуктора от загрузки, он выполняется не сплошным, а из отдельных водоохлаждаемых

секций. Такая конструкция препятствует замыканию в тигле вихревых токов, наводимых магнитным полем индуктора.

В нижней части печи помещается охлаждаемое основание, которое служит для вытягивания закристаллизованной части слитка. Внутренняя поверхность тигля может покрываться тугоплавкими окислами для изоляции. Окислами могут быть заполнены зазоры между секциями.

На поверхности холодного тигля, соприкасающейся с расплавом, обычно образуется гарнисаж толщиной в доли миллиметра, который снижает тепловые потери от расплава к тиглю. Еще больше снизить тепловые потери позволяет частичное или полное отжатие расплава от тигля электромагнитным полем.



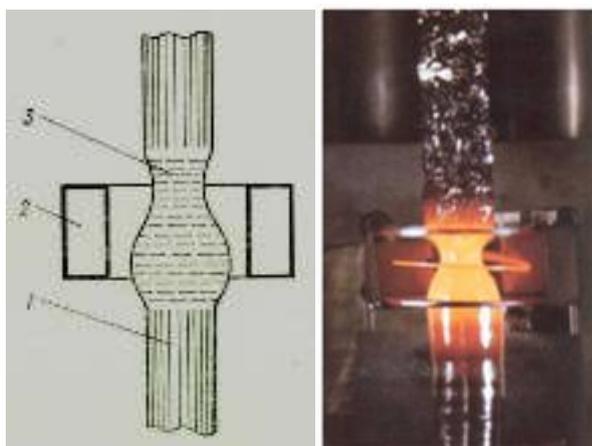
1 – индуктор; 2 – расплав; 3 – тигель; 4 – основание;
5 – закристаллизованный расплав

Рисунок 2.58 – Плавка в холодном тигле

Зонная плавка происходит следующим образом (рисунок 2.59). Зонная плавка охватывает совокупность методов, позволяющих перераспределять растворимые добавки или примеси в кристаллических веществах.

Вертикальная зонная плавка широко применяется для очистки материалов, получения монокристаллических слитков и выравнивания в слитках концентрации нужных примесей.

Для этого метода характерно медленное перемещение узкой расплавленной зоны через сравнительно длинный твердый слиток, в результате чего достигается перераспределение примесей.



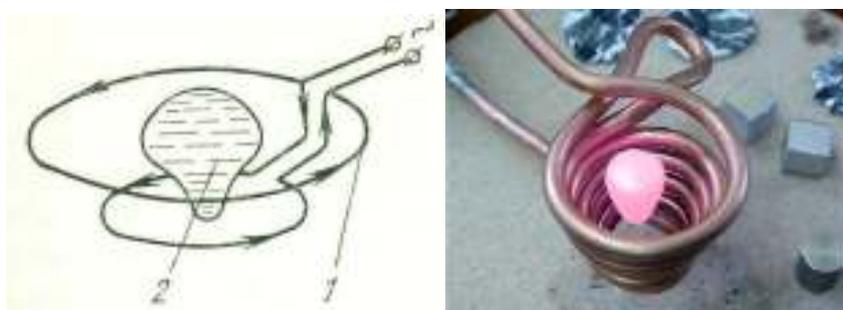
1 – слиток; 2 – индуктор; 3 – жидкая зона
Рисунок 2.59 – Зонная плавка

В слитке с помощью индуктора проплавляется некоторая его зона, жидкий металл в которой удерживается от растекания электромагнитными силами индуктора и силами поверхностного натяжения. Зона медленно перемещается по длине стержня. Примеси движутся вместе с расплавленной зоной или в противоположную сторону и в результате отесняются к одному из концов стержня.

Способность зоны перераспределять примеси обусловлена процессами на затвердевающей поверхности. Более легкоплавкие примеси (по сравнению с основным материалом) отталкиваются от фронта кристаллизации, а тугоплавкие притягиваются.

За несколько проходов удастся получить слиток сверхвысокой чистоты.

Плавка во взвешенном состоянии (левитационная плавка) происходит следующим образом (рисунок 2.60).



1 – индуктор; 2 – расплав

Рисунок 2.60 – Плавка во взвешенном состоянии (левитационная плавка)

Широко применяется в лабораторных условиях для изготовления особо чистых образцов металлов для физико-химических исследований.

При левитационной плавке жидкий металл свободно висит в пространстве, удерживаемый электромагнитными силами.

В систему индукторов, создающих переменное электромагнитное поле, помещают кусок металла, подлежащий плавнению. При достаточной интенсивности электромагнитного поля и определенной его конфигурации металл плавится и остается висеть в электромагнитном поле, занимая область с минимальной напряженностью магнитного поля (потенциальная яма). Не зависимо от интенсивности электромагнитного поля и конструкции индуктора, в нижней точке расплава электромагнитные силы отсутствуют (потенциальная щель), где вес металла не может быть уравновешен электромагнитными силами, и расплав не проливается только благодаря силе поверхностного натяжения.

Жидкий металл будет висеть, если глубина проникновения поля будет меньшей либо равной радиусу кривизны поверхности в нижней точке объема металла. Для взвешенной плавки применяют частоты от 66 до 440 кГц.

2.18. Установки для сквозного нагрева металла

Сквозной нагрев применяется под пластическую деформацию (прокатка, прессование и др.) и термообработку (отжиг, отпуск и др.).

Целью нагрева является получение заданной температуры с определенной допустимой неравномерностью по всему объему изделия.

Нагрев осуществляется в специальных индукционных нагревателях, основным элементом которых является индуктор.

Наибольшее распространение получили индукторы цилиндрического (*а*), овального (*б*, *в*), щелевого типа (*г*) и индукторы с поперечным полем (*д*).

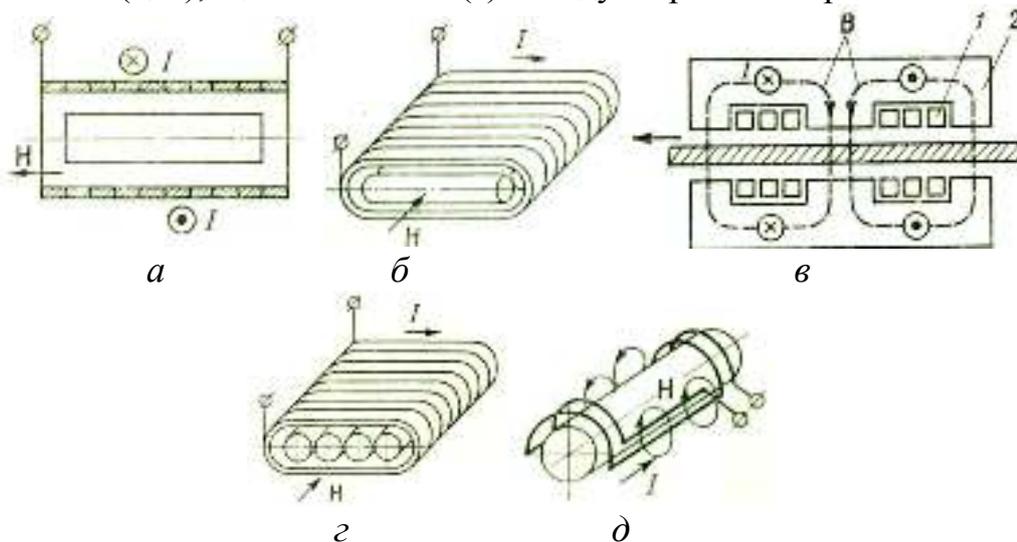


Рисунок 2.61 – Установки для сквозного нагрева металла

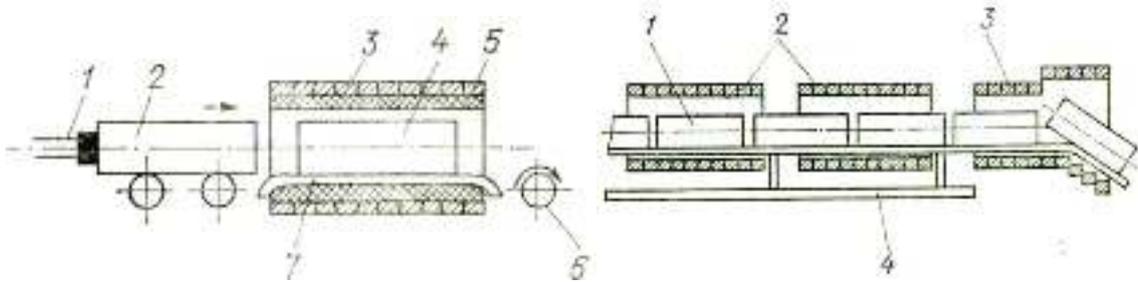
Цилиндрические тела нагреваются в индукторах типа *а*, *б*, *в* и *г*.

Прямоугольные тела – в индукторах типа *б*, *в* и *г*.

Для нагрева тонких лент применяется индуктор типа *д*.

2.19. Классификация нагревателей

По принципу действия нагреватели делятся на периодические, непрерывные и полунепрерывные (рисунок 2.62). В периодических нагревателях одно или несколько изделий нагреваются до требуемой температуры, после чего загрузка индуктора полностью заменяется. В нагревателях непрерывного действия изделия в процессе нагрева находятся в непрерывном или пульсирующем движении. В полунепрерывных нагревателях нагревается одновременно несколько изделий с поштучной их заменой.



Нагреватель периодического действия:

- 1 – толкатель; 2, 4 – заготовка;
- 3 – индуктор; 5 – теплоизоляция;
- 6 – ролики; 7 – направляющая

Нагреватель непрерывного действия:

- 1 – заготовка; 2, 3 – секции индуктора;
- 4 – рама с направляющими

Рисунок 2.62 – Нагреватели периодического и непрерывного действия

По длине нагреваемых изделий различают нагреватели для сквозного нагрева длинных заготовок, коротких (мерных) заготовок и нагрева участков длинных заготовок. Особенности работы нагревателей периодического и непрерывного действия заключаются в следующем. В нагревателе периодического действия по мере повышения температуры заготовки возрастает ее удельное сопротивление и сильно меняется магнитная проницаемость ферромагнитных материалов.

Поэтому активное и реактивное сопротивление заготовки, параметры индуктора и поглощаемая мощность также меняются в процессе нагрева. Индуктор нагревателя периодического действия рассчитывается для горячего режима, когда заготовка полностью нагрета, что позволяет обеспечить среднюю мощность на протяжении всего времени нагрева (рисунки 2.63 и 2.64).

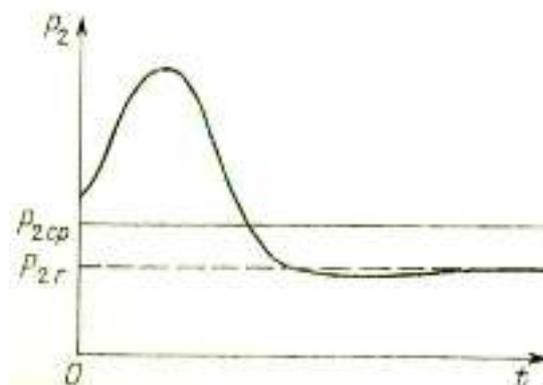


Рисунок 2.63 – Характер изменения мощности в процессе нагрева

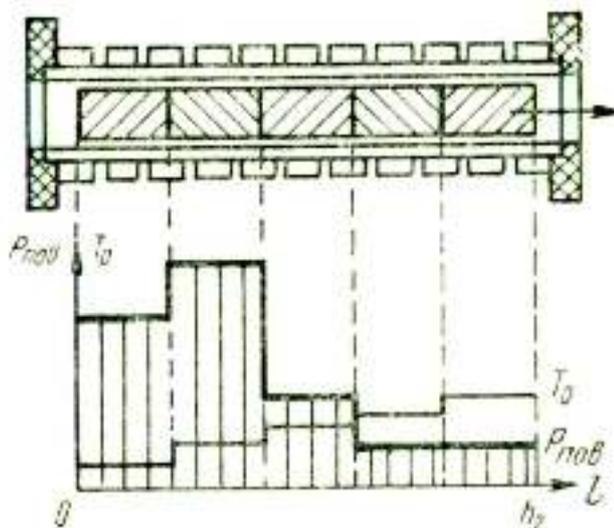


Рисунок 2.64 – Характер изменения мощности $P_{пов}$ и температуры T_0 вдоль заготовок

В нагревателе непрерывного действия несколько заготовок размещаются одна за другой. По мере нагрева они выталкиваются по одной из индуктора и заменяются холодными. Заготовки, находящиеся у выхода индуктора, нагреты выше точки Кюри и потребляют меньшую мощность, чем ферромагнитные заготовки, расположенные в начале индуктора. При этом полная мощность, поглощаемая всеми заготовками, во времени не меняется.

Работа установок промышленной частоты связана с рядом особенностей:

1. Усложняется управление режимом нагрева, так как управление осуществляется воздействием на силовые цепи, а не на цепи возбуждения полупроводниковых источников питания. Для этого используются силовые трансформаторы с регулируемым вторичным напряжением, вольтодобавочные трансформаторы, тиристорные регуляторы и др.

2. Резко возрастают электродинамические усилия и создаваемые ими вибрации. Электродинамические усилия пропорциональны квадрату напряженности магнитного поля и пропорциональны $1/\sqrt{f}$. Так как размеры тел, нагреваемых на частоте 50 Гц, относительно велики, полные усилия достигают десятков килоньютонов и действуют на обмотку индуктора, магнитопроводы и нагреваемое тело. Обмотки испытывают разрывающие радиальные и сжимающие осевые усилия. Немагнитные тела выталкиваются из зоны действия сильного магнитного поля, а магнитные втягиваются в него. Вибрации обмоток приводят к разрушению тепловой и электрической изоляции, создают шум. В трехфазных нагревателях помимо электродинамических сил от пульсирующего поля возникают осевые силы от бегущего поля.

3. В установках большой мощности необходима равномерная загрузка фаз. Равномерность загрузки фаз питающей сети достигается созданием трехфазных нагревателей или использованием симметрирующих устройств для однофазных нагрузок.

Достоинства и недостатки установок индукционного нагрева заключаются в следующем.

Достоинства:

1. Малая тепловая инерция установки и ее постоянная готовность к работе.
2. Простота обслуживания и ремонта, который сводится обычно к замене индуктора.
3. Высокая надежность благодаря низким температурам футеровки.
4. Малый угар металла, благодаря высокой скорости нагрева и наличию застойной газовой среды в малом воздушном промежутке между футеровкой и нагреваемым объектом.
5. Увеличение срока службы штампов на 20–30% вследствие уменьшения слоя окалины и повышения пластичности материала из-за быстрого нагрева.
6. Легкость автоматизации и механизации процесса.
7. Высокая производительность и хорошее использование производственных площадей.
8. Улучшение условий труда благодаря пониженному тепловыделению и загрязнению окружающей среды газами и твердыми частицами.

Недостатки:

1. Высокая стоимость электроэнергии.
2. Относительно высокие капитальные затраты при средней и малой годовой производительности.

3. СВАРКА

3.1. Электрошлаковая сварка

При электрошлаковой сварке (ЭСШ) электрод 1 и основной металл 2 связаны электрически через расплавленный шлак 3 (шлаковая ванна). Выделяющаяся в шлаковой ванне теплота нагревает ее выше температуры плавления основного и электродного металлов. В результате металл электрода и кромки основного металла оплавляются и стекают на дно, образуя ванну расплавленного металла 4 (металлическую ванну) (рисунки 3.1 и 3.2).

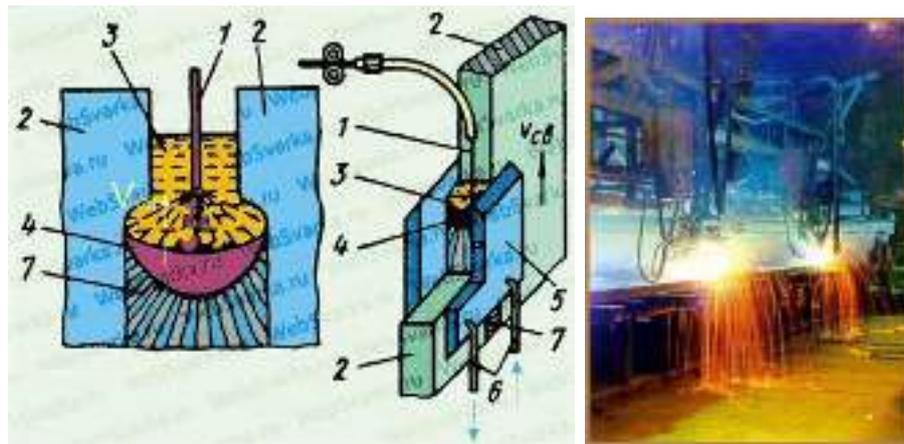


Рисунок 3.1 – Электрошлаковая сварка

Электродный металл в виде отдельных капель, проходя через жидкий шлак, взаимодействует с ним, изменяя при этом свой состав. Шлаковая ванна, находясь над поверхностью расплавленного металла, препятствует его взаимодействию с воздухом.

Свариваемый металл, шлаковая и металлическая ванны удерживаются от растекания медными ползунами 5, охлаждаемыми водой 6. Верхняя кромка ползуна располагается несколько выше зеркала шлаковой ванны. Кристаллизующийся в нижней части металлической ванны расплавленный металл образует шов 7. Шлаковая ванна, соприкасаясь с охлаждаемыми ползунами, образует на них тонкую шлаковую корку, исключая тем самым контакт расплавленного металла с поверхностью охлаждаемого ползуна и предупреждая образование в сварном шве кристаллизационных трещин.

ЭСШ широко используется в промышленности для соединения металлов повышенной толщины: стали и чугуна различного состава, меди, алюминия, титана и их сплавов.

Преимущество: возможность сварки за один проход металла практически любой толщины.

Недостатки: электрошлаковая сварка технически возможна при толщине металла более 16 мм и за редкими исключениями экономически выгодна при сварке металла толщиной более 40 мм. Основной технико-экономи-

ческий эффект достигается при сварке металла толщиной более 100 мм; способ позволяет сварить только вертикальные швы.

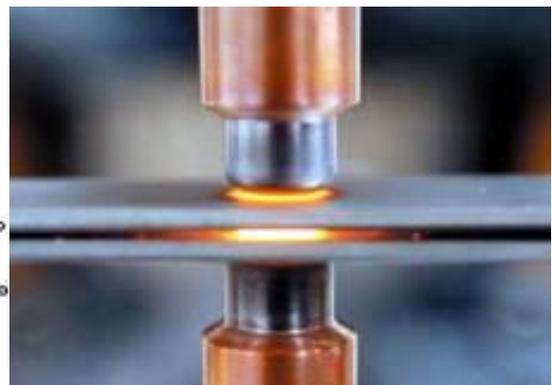
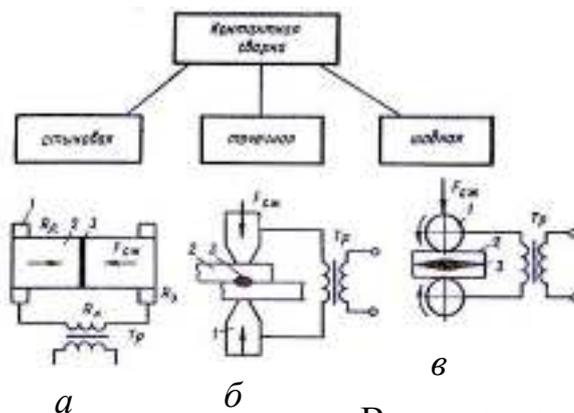


Рисунок 3.2 – Электрошлаковая сварка (вертикальные швы)

3.2. Установки контактной сварки

Электрическая контактная сварка – процесс образования неразъемного соединения в результате нагрева металлических деталей протекающим по ним электрическим током, расплавления и сдавливания деталей с последующим охлаждением зоны сварки за счет теплопроводности в тело свариваемых деталей (рисунки 3.3 и 3.4).

Площадь точек контактов мала и в них возникает большое сопротивление прохождения тока. Это вызывает сильный локальный нагрев металла. С повышением температуры в месте сварки сопротивление возрастает, что ускоряет выделение теплоты и нагрев металла до температуры сваривания. Когда металл нагреется до пластического или оплавленного состояния, при сжатии деталей произойдет их сваривание. Застывание металла в точке сварки происходит за счет теплопроводности свариваемых деталей.

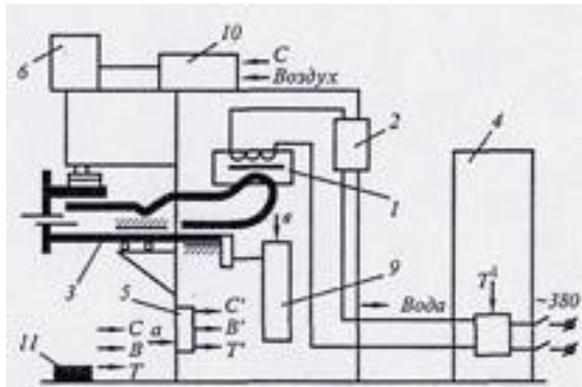


Виды контактной сварки

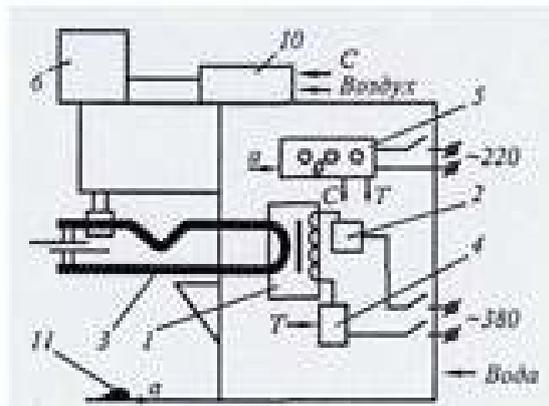
a – стыковая; *б* – точечная; *в* – шовная

1 – токоподводы; 2 – свариваемые детали; 3 – сварочное пятно

Рисунок 3.3 – Классификация по способу получения сварного соединения



а



б

Схемы машин для контактной точечной (а) и шовной (б) сварки:

- 1 – трансформатор; 2 – переключатель ступеней; 3 – вторичный сварочный контур;
- 4 – прерыватель первичной цепи; 5 – регулятор; 6 – привод сжатия; 7 – привод зажатия деталей; 8 – привод осадки деталей; 9 – привод вращения роликов; 10 – аппаратура подготовки; 11 – орган включения

Рисунок 3.4 – Машины контактной сварки

Преимущества контактной сварки перед другими способами:

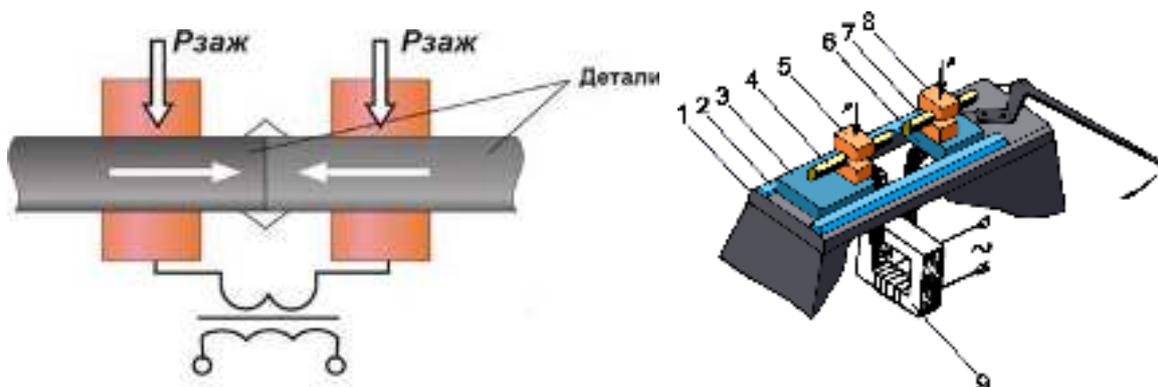
- высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02–1,0);
- малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха);
- высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика;
- это экологически чистый процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации.

3.3. Стыковая сварка

Стыковая сварка – это способ контактной сварки, при котором детали соединяются по всей площади их касания. Различают два способа стыковой сварки – сопротивлением и оплавлением (рисунок 3.5).

Сварка сопротивлением: свариваемые детали укрепляют в токоподводах и сжимают, а затем подают электрический ток. Используется для соединения деталей с площадью сечений до 200 мм^2 (сварка проволоки, стержней и труб из низкоуглеродистой стали).

Сварка непрерывным оплавлением: детали сближаются при включенном сварочном трансформаторе и путем сжатия осуществляется их контакт. Стык разогревают за счет протекания тока. Затем силу сжатия уменьшают, вследствие чего увеличивается контактное сопротивление и снижается сварочный ток. Используется для соединения деталей с площадью сечения до 1000 см^2 (трубопроводы, арматура, стыковые соединения профильной стали, соединение железнодорожных рельсов, производство длиномерных заготовок из сталей и цветных металлов).



1 – станина машины; 2 – направляющие; 3 – неподвижная плита; 4, 7 – свариваемые заготовки; 5, 8 – зажимы-электроды; 6 – подвижная плита; 9 – сварочный трансформатор; P – сжимающее усилие

Рисунок 3.5 – Схема машины для стыковой контактной сварки

Сварка оплавлением с подогревом: детали предварительно подогревают методом кратковременных замыканий их торцов, а затем оплавляют.

Сварка с оплавлением стыка деталей (по сравнению со сваркой без оплавления) имеет следующие *преимущества*: более прочный шов, не требующий большой механической обработки; меньшая мощность сварочной установки; пониженный удельный расход электроэнергии; возможность сваривания различных металлов. *Недостатки*: потеря металла и наличие «грата» на стыке свариваемых деталей.

3.4. Точечная сварка

Точечная контактная сварка – сварочный процесс, при котором детали соединяются в одной или одновременно в нескольких точках (рисунок 3.6). Свариваемые детали помещают между двумя электродами. После сжатия электродов на них подается напряжение и проходящий через детали ток нагревает место сварки до необходимой температуры.

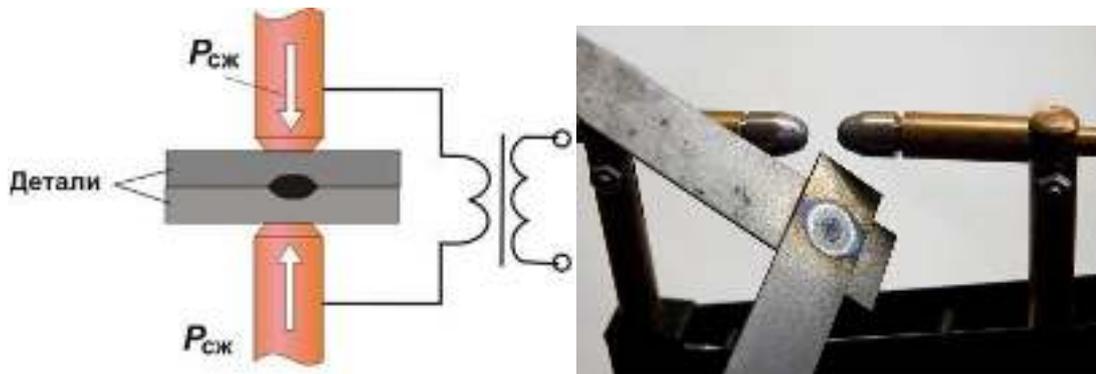


Рисунок 3.6 – Точечная контактная сварка

Образуется неразъемное сварное соединение. Прочность соединения определяется формой и размером контактной поверхности электродов, силой сварочного тока, временем его протекания через заготовки, усилием сжатия и состояния поверхностей свариваемых деталей.

3.5. Шовная сварка

Шовная (роликовая) контактная сварка – сварочный процесс, при котором детали соединяются швом, состоящим из отдельных сварочных точек, частично перекрывающих или не перекрывающих одна другую (рисунок 3.7).

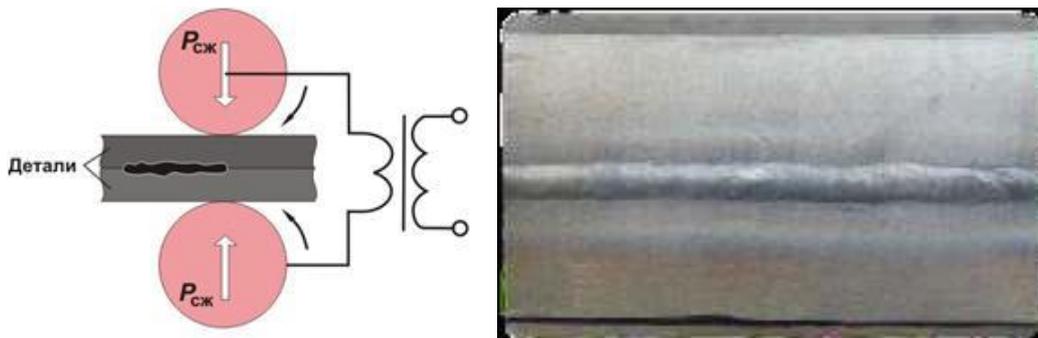


Рисунок 3.7 – Шовная (роликовая) контактная сварка

В процессе шовной сварки соединение двух свариваемых деталей осуществляется с помощью вращающихся роликов за счет пропускания через место сварки электрического тока. Толщина свариваемых листов колеблется в пределах 0,2–3 мм.

При осуществлении шовной сварки применяются следующие режимы:

- непрерывное движение роликов с непрерывной подачей тока (применяется при сварке листов суммарной толщиной до 1,5 мм);
- непрерывное движение роликов при прерывистой подаче тока (наиболее распространенный режим, при котором швы получают с незначительным короблением листов, а расход электроэнергии – наименьшим);
- прерывистое движение роликов с прерывистой подачей тока (шаговая сварка).

4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Напомним, что в электрохимических процессах с помощью электрической энергии осуществляется разложение химических соединений и их разделение в жидкой среде под действием электрического поля (электролиз, гальванотехника, анодная электрохимическая обработка). В сельскохозяйственном производстве электрохимические технологии наиболее широко связаны с водой (например электродные водогрейные установки). Поэтому рассмотрим основы электропроводности воды.

Вода без примесей практически не проводит электрический ток. Её проводимость σ при 20 °С составляет около $0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, в то же время проводимость меди составляет $0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Электропроводность "обычной" воды обусловлена наличием растворенных солей, кислот, щелочей, молекулы которых диссоциируют на ионы.

На электропроводность воды значительное влияние оказывает ее температура, так как с ростом температуры усиливается тепловое движение молекул воды и в связи с этим увеличивается степень электролитической диссоциации молекул растворенных солей. Число ионов в каждой единице объема возрастает и проводимость воды растет прямо пропорционально температуре. В зависимости от температуры без учета парообразования удельная проводимость воды определяется уравнением Шлиндбауэра:

$$\sigma_t = \sigma_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20)],$$

где σ_{20} – удельная проводимость воды при 20 °С;

α – температурный коэффициент (0,025–0,035), 1/°С.

Удельное сопротивление воды в зависимости от температуры t будет иметь вид:

$$\rho = \frac{\rho_{20}}{\sigma_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20)]} = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha \cdot (t - 20)},$$

и для $\alpha = 0,025$ получим применяемую в практических расчетах формулу

$$\rho = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20 + t},$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление воды при 20 °С.

Значительное влияние на удельное сопротивление воды при работе электродных установок в режиме кипения оказывает парообразование. Пар не проводит электрического тока и его появление в воде ведет к повышению удельного сопротивления.

$$\rho_{см} = \rho_v \cdot \beta = \rho_v \cdot a \cdot e^{j \cdot k_1},$$

где $\rho_{см}$ – удельное сопротивление пароводяной смеси между электродами, Ом·м;

ρ_v – удельное сопротивление воды без учета парообразования, Ом·м;

a – постоянная электролита (для воды $a = 0,925$);

k_1 – коэффициент, учитывающий влияние давления в котле (для котлов,

используемых в сельскохозяйственном производстве $k_1 = 1,5 \cdot 10^{-4}$);
 j – плотность тока, А/м²;
 e – основание натуральных логарифмов.

При подаче постоянного напряжения на измерительный сосуд происходит разделение электрических заряженных частиц (ионов) воды, солей и органических коллоидных включений, которые устремляются к электродам, имеющим противоположный потенциал по сравнению с их собственным. При этом на каждом из электродов образуется двойной электрический слой из ионов, расположенных в один ряд непосредственно у электрода и диффузной части слоя, нарушаемой тепловым движением молекул воды и ионов, а также взаимным отталкиванием одноименных ионов. Такое строение двойного слоя препятствует прохождению ионов в приэлектродной области, что приводит к увеличению сопротивления воды постоянному току по сравнению с переменным. Процесс образования двойных электрических слоев в данном случае аналогичен процессу заряда конденсатора, одна из обкладок которого представляет собой поверхность металла, а другая – слой ионов в воде у поверхности металла. В воде природных источников всегда присутствуют органические коллоидные частицы, которые, как правило, имеют отрицательный заряд. Под действием электрического поля эти частицы перемещаются к катоду и образуют вблизи него неравновесный объемный заряд, который препятствует движению отрицательных ионов к катоду. Обнаружить наличие неравновесного заряда коллоидных частиц можно с помощью измерительного сосуда с коаксиальной системой электродов. Противодействие этого заряда также выразится в увеличении сопротивления электродной системы.

Таким образом, общее сопротивление электродной системы постоянному току будет складываться из суммы четырех сопротивлений (рисунок 4.1 а).

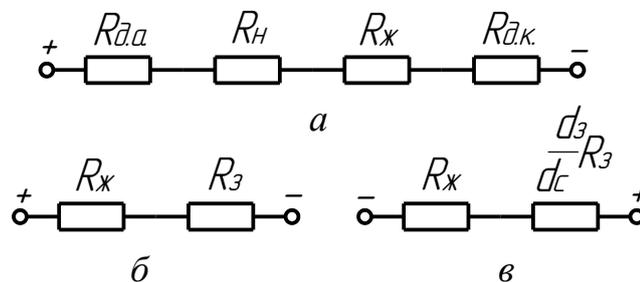


Рисунок 4.1 – Схема замещения сопротивления электродной системы постоянному току

$$R = R_{да} + R_{н} + R_{ж} + R_{дк},$$

где $R_{да}$ – сопротивление, обусловленное двойным электрическим слоем на аноде;

$R_{н}$ – сопротивление, обусловленное наличием объемного заряда коллоидных частиц;

$R_{ж}$ – сопротивление столба жидкости между электродами, зависящее от концентрации ионов обоих знаков в воде;

$R_{дк}$ – сопротивление, обусловленное двойным электрическим слоем на катоде.

Сопротивления $R_{да}$, $R_{н}$, $R_{дк}$, обусловленные разделением зарядов под действием постоянного электрического поля, можно объединить в одно R_3 – сопротивление, обусловленное разделением зарядов. Это сопротивление зависит от химического состава примесей в воде, от формы и размеров электродных систем, а также от температуры (рисунки 4.2 б и 4.2 в).

Сопротивления столба жидкости $R_{ж}$ зависят от концентрации ионов, температуры, формы и размеров электродных систем так же, как и сопротивление воды переменному току $R_{п}$. Если пренебречь толщиной двойных электрических слоев и объемного неравновесного заряда по сравнению с расстоянием между электродами l ($\sigma \ll l$), то можно считать, что $R_{ж} = R_{п}$ в начальный момент включения. Таким образом, общее сопротивление электродной системы постоянному току всегда больше ее сопротивления на переменном токе на величину сопротивления, обусловленного разделением электрических зарядов под действием постоянного тока:

$$R = R_{п} + R_3.$$

Величина сопротивления на постоянном токе зависит от алгоритма работы установки. В установках непрерывного действия, где поток жидкости имеет постоянную концентрацию солей, то величина $R_{ж}$ будет изменяться только во время выхода установки на установившийся процесс, а затем это сопротивление не будет изменяться. В установках периодического действия при воздействии постоянного тока на ограниченный объем жидкости величина $R_{ж}$ будет возрастать из-за снижения концентрации солей вследствие рекомбинации ионов на электродах (электролиз).

Разложение постоянным током солей, кислот и щелочей, а также воды, в которой всегда присутствуют (хотя и в малом количестве) ионы H^+ и OH^- , ведет к образованию вредных химических веществ и гремучего газа. Поэтому постоянный ток для питания электродных электронагревательных установок применять не разрешается.

Проведение опытов по исследованию электрофизических свойств воды осуществляется в измерительном сосуде, представленном на рисунке 4.2, электрическая схема замещения которого показана там же.

Для коаксиальной электродной системы сопротивление измерительного сосуда при температуре 20 °С:

$$R_{20} = \frac{\rho_{20}}{h} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \lg \frac{d_c}{d_3},$$

где h – высота электрода в зоне контакта с водой, м;

d_c – внутренний диаметр измерительного сосуда, м;

d_3 – диаметр внутреннего электрода, м.

Емкостное сопротивление измерительного сосуда определяется по формуле

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot h} \cdot \lg \frac{d_c}{d_3},$$

где ω – угловая частота, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$;

ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость воды.

Для схемы замещения $\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{X_C} = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \rho$.

Отсюда угол $\varphi = \operatorname{arctg} 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \rho$.

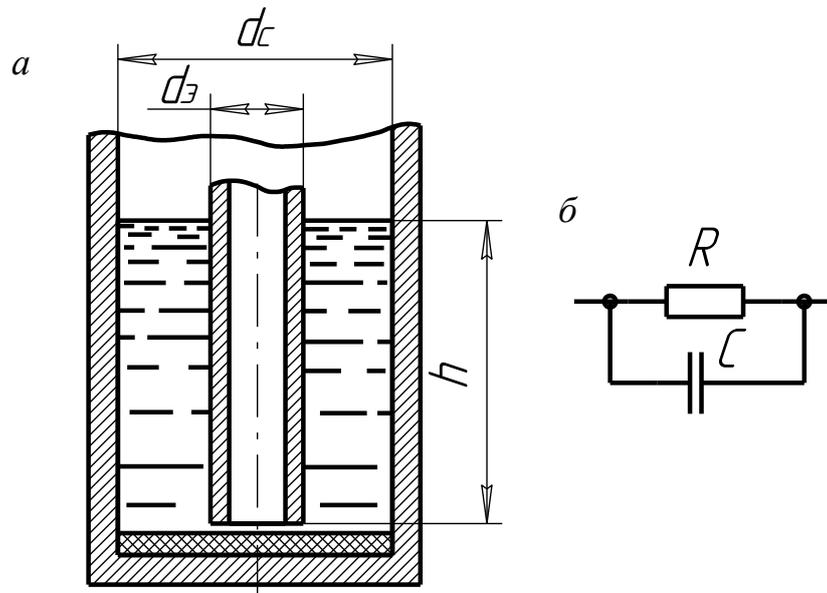


Рисунок 4.2 – Измерительный сосуд (а) и электрическая схема замещения (б)

В настоящее время электроактивированные водные растворы находят всё большее применение в технологиях сельскохозяйственного производства, медицине, очистке воды и других областях производственной деятельности.

Область применения:

- борьба с насекомыми и вредителями (моль, тля) в доме и в огороде;
- обеззараживание (дезинфекция) белья больного, постельного и др.;
- стерилизация банок для консервирования;
- санитарная обработка помещений;
- стимуляция роста растений;
- освежение увядших растений;
- приготовление строительных растворов;
- стирка белья в активированной воде;
- стимулирование роста домашней птицы;
- увеличение срока службы аккумуляторов;

- увеличение продуктивности животных;
- увеличение срока годности скоропортящихся продуктов, овощей;
- уменьшение накипи в радиаторах автомашин;
- удаление накипи из кухонной посуды;
- ускорение прорастания семян и их дезинфекция.

В процессе электроактивации однопроцентного солевого раствора происходит разделение на две фракции – анолит и католит (таблица 4.1).

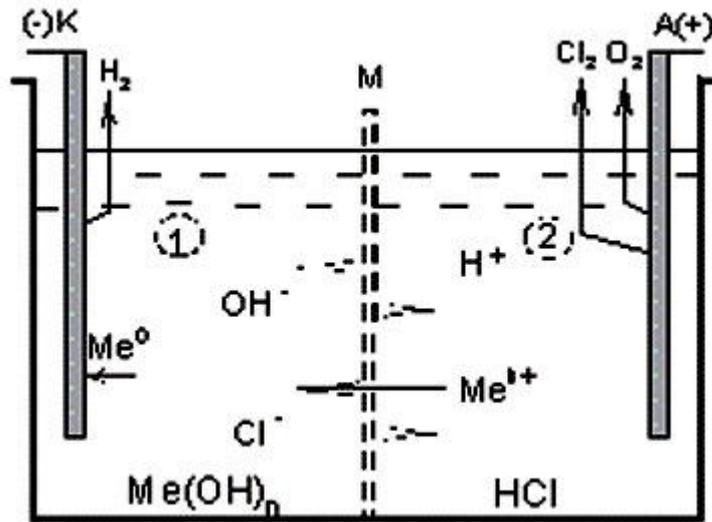
Католит (щелочная вода) – очень мягкая, бесцветная жидкость со щелочным вкусом, рН = 9÷11,5. Redox-потенциал в католите – до -800 мВ, что указывает на избыток электронов в нём. После реакции в ней выпадают осадки – все примеси воды, в т.ч. и радионуклиды, и вода очищается.

Анолит (кислотная вода) – бесцветная жидкость с запахом кислоты, кислая, вязущая. Её рН = 2,5÷4. Если в исходной водопроводной воде Redox-потенциал не больше +(200–300) мВ, то в анолите – до +1000 мВ.

Таблица 4.1 – Характеристики католита и анолита

Католит	Анолит
<ul style="list-style-type: none"> – обладает биологической активностью, стимулятор роста и развития жизнедеятельности живого организма и растений; – обладает повышенной растворяющей способностью; – обладает свойствами катализаторных процессов; – обладает экстрагирующей способностью; – нейтрализует коррозионно-агрессивные свойства газожидких сред; – обладает повышенной сорбционно-химической активностью; – обладает пониженной величиной поверхностного натяжения и повышенной смачиваемостью 	<ul style="list-style-type: none"> – обладает активными бактерицидными свойствами; – является антисептиком и консервантом; – обладает свойствами замедлять жизнедеятельность живого организма и растений; – обладает ингибирующими свойствами в различных технических процессах

Системы электроактивации водопроводной воды работают на принципе индуцированного внешним электрическим воздействием направленного отклонения активности электронов в водной среде от равновесного состояния (рисунок 4.3).



К – катод; А – анод; Me^{n+} – ионы металла; М – полупроницаемая мембрана;
1 – катодная камера; 2 – анодная камера

Рисунок 4.3 – Схема электроактивации воды

В результате электрической водопроводной воды в катодной камере вода приобретает щелочную реакцию за счет превращения некоторой части растворимых солей в гидроксиды. Её ОВП резко понижается, становится отрицательным, достигая максимально $-(800 \div 1000)$ мВ, уменьшается поверхностное натяжение, снижается содержание растворенного кислорода, азота, возрастает концентрация водорода, сводных гидроксильных групп, уменьшается электропроводность.

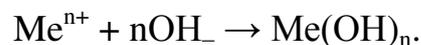
Образуются труднорастворимые карбонаты кальция и магния из находящихся в исходной воде растворенных соединений этих металлов. Ионы тяжелых металлов, железа превращаются в нерастворимые гидроксиды и выпадают в осадок.

В анодной камере кислотность воды увеличивается, ОВП возрастает (до $1000 \div 1200$ мВ), электропроводность увеличивается, повышается содержание кислорода, хлора, азота.

При наложении разности потенциалов объём воды между электродами подвергается воздействию электрического поля, и через неё протекает электрический ток.

Электроактивация воды основана на переносе ионов и электронов через полупроницаемую мембрану, помещенную в раствор электролита, при создании в жидкости разности потенциалов по обе стороны мембраны.

В катодной камере вода обогащается высокоактивными восстановителями, что приводит к образованию нерастворимых гидроксидов металлов, которые выпадают в осадок:



Гидроксиды легких металлов (Na, K) не выпадают в осадок и остаются в растворенном виде – 100%.

Кроме того, в катодной камере происходит прямое восстановление многозарядных катионов (т.е. осаждение молекул металлов):



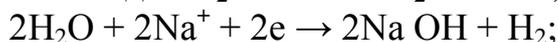
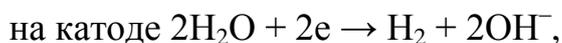
Эти процессы снижают токсичность воды, обусловленную наличием ионов тяжелых металлов, во много раз.

Redox-потенциал катодной воды может достигать значения -800 мВ. Таким образом, без каких-либо химических добавок, при сохранении полной биосовместимости вода превращается в эффективный антиоксидант.

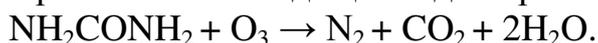
В анодной камере вода насыщается высокоэффективными окислителями. Известно, что из всех процессов разрушения органических веществ в воде наиболее мощным является электролитическое окисление у анода. В процессе электролиза происходит деструкция микроорганизмов, распад солей, а растворенные в воде газы (CO_2 , SO_2 , NO_2 , N_2 , H_2S , Cl_2 , O_2 , H_2) улетучиваются в приэлектродной зоне.

Высокий Redox-потенциал и особые формы соединений активного хлора, образующиеся на аноде и участвующие в реакциях окисления, исключают образование токсичных хлорорганических веществ и обеспечивают полную окислительную деструкцию диоксинов ($\text{C}_{12}\text{H}_4\text{O}_2\text{Cl}_4$).

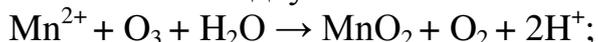
При электролизе воды с инертным анодом (графит, «Экосил») на электродах происходит окисление и восстановление молекул воды согласно реакциям:



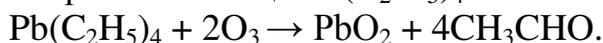
При наличии в воде цианидов происходит процесс их окисления озоном:



Озон окисляет двухвалентное железо и марганец:

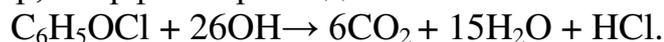


Тетраэтил свинца $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ также окисляется:



Антиоксидантами (вернее сказать электронными антиоксидантами) являются важнейшие витамины Е, С, РР, К и ряд жизненно важных веществ, входящих в продукты питания.

Высокоактивные окислители атакуют органические соединения и приводят к полной их деструкции (в т.ч. нитратов, нитритов, гербицидов, ядохимикатов). Например, хлорфенол распадается в соответствии с реакцией:



Благодаря насыщению катодной камеры гидроксильными группами OH^- здесь получается щелочная вода, а анодной – ионами водорода H^+ – кислотная вода.

Активность электроактивированных растворов определяют с помощью прибора рН-метр-ионометра (по показанию рН и редокс-потенциала).

Контроль основных параметров процесса активации воды осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 4.4.

Для контроля значений тока, напряжения и мощности в цепи переменного тока применялся измерительный комплект К-50-6. Встроенные в комплект приборы соответствуют классу точности 0,5 по ГОСТ 8711-78 для амперметра и вольтметра и по ГОСТ 8476-78 для ваттметра непосредственно после включения и независимо от продолжительности работы. Комплект обеспечивает измерение силы электрического тока от 0,1 до 100 А, электрического напряжения от 20 до 600 В.



Рисунок 4.4 – Контроль основных параметров процесса активации воды

Технологическая схема (рисунки 4.5, 4.6 и 4.7) предусматривает получение растворов ядохимикатов как на водопроводной, так и на активированной воде. На вводе в активатор 4 устанавливается фильтр-отстойник 1 для фильтрации воды от механических примесей, т.к. в противном случае будет забиваться датчик протока воды 2 и электромагнитный клапан 3. В качестве накопительной емкости используются пластиковые баки 5, 6, каждый емкостью 1 м³. Вода к протравителю семян подается центробежным насосом.

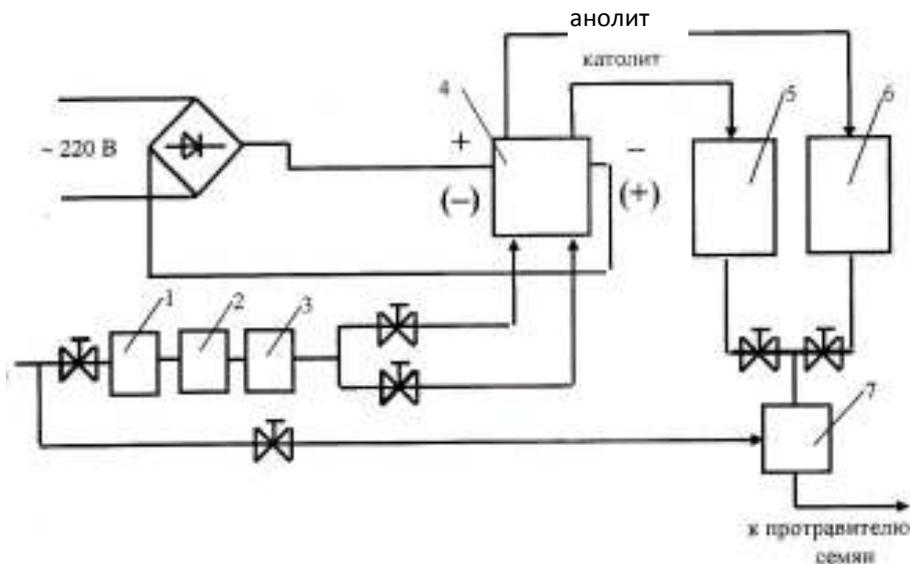


Рисунок 4.5 – Принципиальная технологическая схема получения активированной воды для предпосевной обработки семян



Рисунок 4.6 – Измерительная аппаратура с электроактиватором

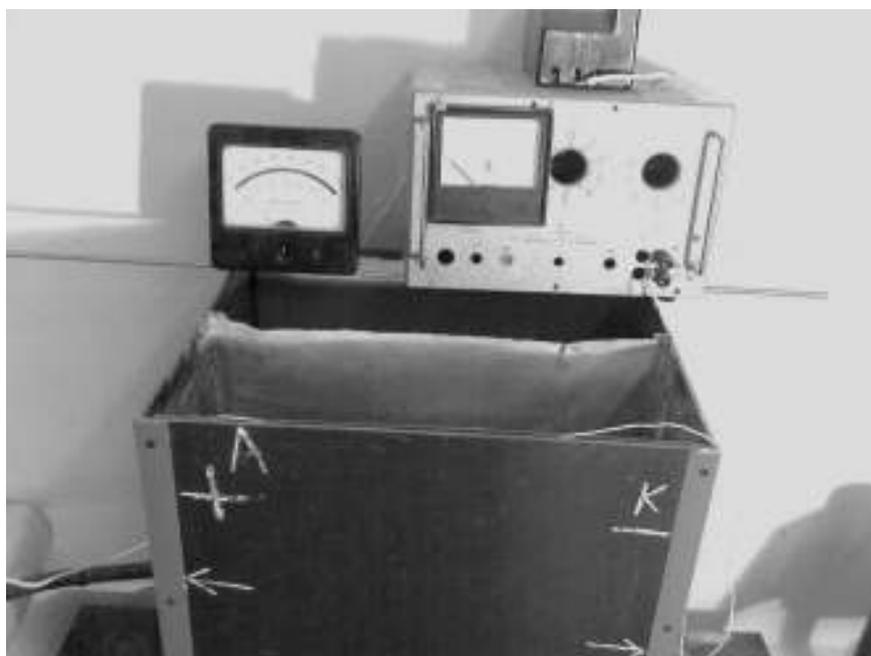


Рисунок 4.7 – Электроактиватор водопроводной воды

Основные процессы, происходящие в электроактиваторах, можно представить следующим образом:

- восстановление воды на катоде: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$, разряд ионов меди, цинка, никеля и других тяжелых металлов: $\text{Me}^{n+} + \text{ne} = \text{Me}^0$;
- образование в катодной камере высокоактивных восстановителей: OH^- , H_3O_2^- , HO_2^- , H_2O_2^- ;
- окисление воды на аноде: $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2$;
- образование на аноде газообразного хлора в хлоридных растворах: $2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2$.

Растворение продуктов электродных реакций определяется законами химического равновесия и кинетики химических реакций. К высокораство-

римым продуктам относятся хлор, железо Fe^{2+} , образующиеся при растворении стальных анодов. В меньшей степени растворимы водород, кислород, алюминий и железо Fe^{3+} . Растворимость этих веществ в значительной степени зависит от pH раствора и его температуры.

Однако даже незначительное количество растворенного вещества может вызвать существенное изменение pH и ОВП. Это обусловлено энергетическими свойствами растворяющегося вещества, буферностью раствора и другими факторами.

Фазово-дисперсные превращения веществ приводят к связыванию ионов H^+ , OH^- , окислителей, восстановителей, что тормозит изменение pH и ОВП водной среды.

Таким образом, перечисленные выше факторы и процессы, ведущие к изменению pH и ОВП растворов, должны учитываться при разработке процессов электрообработки жидкостей, конструкций электроактиваторов, а также при использовании активированных жидкостей в технологических процессах.

Щелочная ЭХА-вода, насыщенная восстановителями, приобретает высокую адсорбционно-химическую активность и выраженные моющие свойства [1, 2]. Сильные окислители и свободные радикалы кислой ЭХА-воды превращают ее в раствор с сильно выраженными бактерицидными свойствами.

Основными физико-химическими параметрами, характеризующими состояние электрохимически активированной воды, являются показатель активной кислотности и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Как известно, ОВП соответствует работе по переносу электронов от окисляемого объекта (элемента или соединения) к восстанавливаемому. Другими словами – от окислителя к восстановителю, концентрации которых обозначаются символами [Red]/[Ox]. ОВП измеряется в вольтах потенциометрическим методом с использованием хлорсеребряного электрода (ХСЭ).

Диапазон колебаний показателя pH ЭХА-сред практически воспроизводим путем добавления в неактивированные растворы кислот или щелочей. Однако крайние характеристики окислительно-восстановительного потенциала активированных и неактивированных растворов существенно разнятся.

По современным представлениям высокая физико-химическая активность ЭХА-жидкостей обусловлена тремя факторами.

Фактором первым служат стабильные продукты электрохимических реакций в анолите (КВ) и католите (ЩВ). В частности, кислоты и щелочи, успешно заменяя традиционные химические добавки, обеспечивают высокую эффективность ЭХА-воды.

Фактором вторым являются квазиустойчивые продукты электрохимических реакций с ограниченным сроком существования. Они значительно усиливают проявление восстановительных (противоокислительных, электронодонорных) свойств ЩВ и окислительных (электроноакцепторных) свойств КВ, обуславливающих аномальные характеристики ОВП. Получить их хи-

мическим путем практически невозможно. Своим существованием они обязаны уникальным условиям электрохимического синтеза.

Фактором третьим выступают долгоживущие активированные структуры в области, прилегающей к поверхности электродов. Представленные как свободными ионами, молекулами, атомами и радикалами, так и гидратированными, именно они придают чрезвычайные каталитические, в том числе биокаталитические способности ЭХА-растворам, позволяют изменять барьеры между взаимодействующими компонентами химических и биохимических реакций. В катодно обработанной воде в десятки раз уменьшается концентрация ионов тяжелых металлов, на 40–50% снижается жесткость.

Свойства воды, подвергнутой электрохимической обработке, определяются составом и количеством солей в исходной воде, а также видом и режимом электрохимического воздействия.

Установлено, что наибольшие аномальные отклонения параметров и свойств анолита и католита наблюдаются в диапазоне минерализации от 0,2 до 3 г/л. При уменьшении минерализации исходной воды эффекты аномальности несколько снижаются. Увеличение минерализации свыше 5 г/л приводит к полному исчезновению аномальных свойств анолита и католита.

Механизм этого явления объясняют следующим образом. Разбавленные растворы электролитов, к которым относится вода с минерализацией менее 5 г/л, обладают низкой рассеивающей способностью. Поэтому в процессе электрохимического воздействия на электродах протекают многочисленные реакции, стандартные электродные потенциалы которых могут различаться более чем на 1 В. В результате продукты этих реакций образуют устойчивые надмолекулярные структуры (ассоциаты, агрегаты), длительное время сохраняющие физико-химическую активность благодаря сетке электростатических взаимодействий между заряженными компонентами воды (раствора). Напротив, при электрохимической обработке более минерализованной воды (свыше 5 г/л), реакции на электродах близки по величине электродного потенциала вследствие ее достаточно высокой рассеивающей способности. В связи с этим продуктами электрохимических реакций являются устойчивые соединения, не обладающие аномальной физико-химической активностью.

Технологическое применение физико-химического действия тока в сельскохозяйственном производстве базируется в основном на следующих процессах и методах, изучаемых физической химией: электролизе, электрокоагуляции, электроосмосе, электродиализе.

Электролиз – это совокупность окислительно-восстановительных процессов, которые происходят на электродах, погруженных в электролит, при прохождении через него постоянного электрического тока (рисунок 4.8).

Основные области применения электролиза – получение различных веществ и нанесение покрытия.

Электрический ток в электролитах представляет собой направленное движение ионов в электрическом поле. В отличие от металлов и полупроводников прохождение электрического тока через электролит сопровождается переносом массы вещества.

Количество вещества g , выделившееся на электроде при прохождении электрического тока через раствор электролита, определяется законом Фарадея:

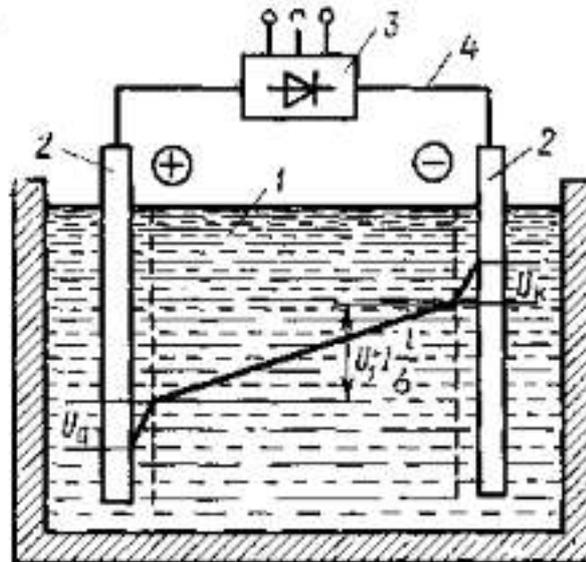
$$g = \alpha \cdot I \cdot \tau,$$

где α – электрохимический эквивалент, г/Кл;

I – ток, А;

τ – время прохождения тока, с.

Электрохимический эквивалент – количество вещества, выделившееся из электролита при прохождении одного кулона электричества.



1 – электролит; 2 – электроды; 3 – источник питания; 4 – проводящие шины

Рисунок 4.8 – Схема электролизной установки и распределение потенциала между электродами

Образующийся около поверхности электрода двойной электрический слой препятствует подходу к электроду иона, а также выходу иона с электрода. Для его разрушения применяют циркуляцию электролита, питание электролизной ванны импульсным напряжением, а также вибрацию электродов. Циркуляция электролита помимо разрушения приэлектродных зон преследует цель выравнивания температуры электролита по ванне. При питании электролизной ванны импульсным напряжением нейтрализуется объемный заряд.

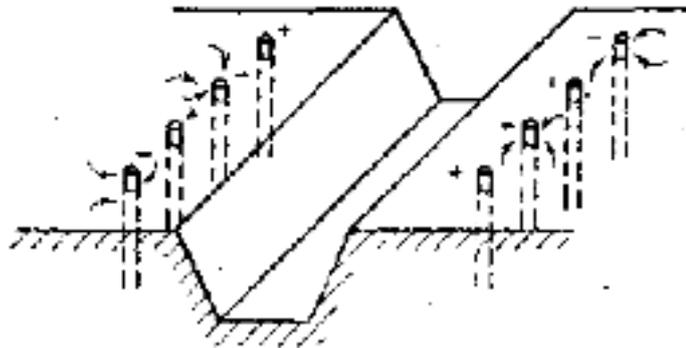
Процесс растворения анода при электролизе используют для внесения недостающих микроэлементов в почву с целью восстановления ее плодородия. Для этого электрод из материала, содержащего недостающие в почве микроэлементы (медь, кобальт, марганец), изготавливают в виде ножа или диска и устанавливают на раме плуга таким образом, чтобы между ними отсутствовала гальваническая связь. Электрод соединяют с положительным полюсом источника питания. Его отрицательный полюс соединяют с корпусом плуга. Так как почвенная влага содержит ионы и катионы различных веществ, при пахоте образуется электролитическая ячейка, в которой анодом является нож или дисковый электрод, а катодом – лемеха и отвалы плуга. В соответствии с первым законом Фарадея растворяется анод и ионы металла

переносятся к катоду. При движении пахотного агрегата микроэлементы вносятся в почву равномерно и в ионной форме, что способствует их эффективному поглощению растениями.

Электрокоагуляция – метод очистки водной системы от взвешенных мельчайших частиц примесей путем введения в нее коагулянтов (химических веществ, обеспечивающих перевод взвешенных частиц в осадок). Сущность метода, основанного на получении коагулянтов при помощи электролиза, заключается в анодном растворении металла (обычно алюминия или железа) в водной среде с последующим образованием соответствующего гидроксида [$Al(OH)_3$ или $Fe(OH)_3$]. Хлопья гидроксида, практически не растворимого в воде, своей поверхностью поглощают взвешенные частицы и вместе с ними выпадают в осадок.

Электрокоагуляцию применяют для очистки природных и сточных вод. В электрокоагуляторах алюминиевые или железные пластины-электроды собирают в пакеты с межэлектродным расстоянием 10–12 мм. Оптимальная плотность тока 10–40 А/м². Преимущества электрокоагуляции перед традиционной реагентной коагуляцией: экономия реагента, простота обслуживания, возможность полной автоматизации.

Электроосмос – это движение жидкости через капилляр или пористую диафрагму при наложении внешнего электрического поля. Физическая сущность электроосмоса заключается в перемещении положительно заряженных ионов к отрицательному электроду с захватом молекул воды. Под влиянием электрического поля влага, содержащаяся в грунтах, перемещается в сторону вектора напряженности электрического поля (рисунок 4.9).



+ положительные электроды; – дырчатые трубы (иглофилльтры), подключенные к отрицательному полюсу; стрелками показано движение воды

Рисунок 4.9 – Осушение котлована при помощи электроосмоса

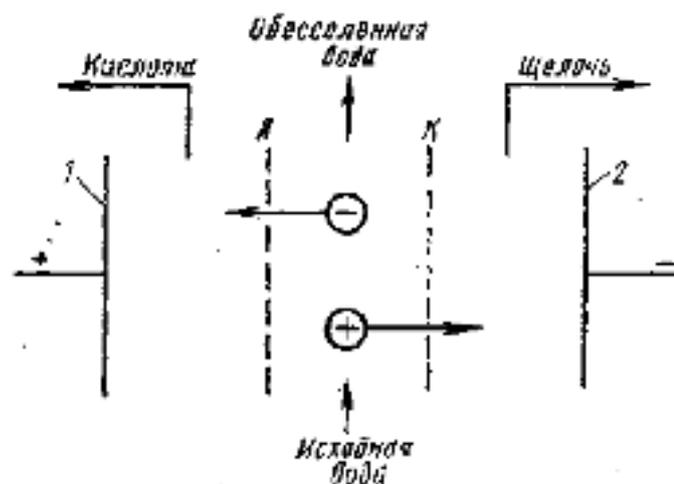
На осушаемом участке устанавливают ряд сплошных стальных стержней или труб, чередующихся с дырчатыми трубами-иглофилльтрами. Промежутки между трубами 4–5 м. К иглофилльтрам подводят отрицательный, а к сплошным трубам положительный полюса генератора постоянного тока напряжением 100 В. Оптимальная сила тока на 1 метре длины электрода – 1,0–2,5 А/м. Под воздействием электрического тока влага начинает усиленно двигаться к иглофилльтрам, откуда и откачивается.

Применение электроосмоса для снижения тягового сопротивления плуга состоит в следующем. В качестве отрицательного электрода используют корпус плуга. Влага, выделяющаяся на лемехе и отвале плуга, образует тонкую смазывающую пленку и обеспечивает снижение тягового сопротивления, достигающее 25–35%, в зависимости от вида и состояния почвы и от силы электрического тока.

Погружение свай при помощи электроосмоса. Забитую сваю используют в качестве положительного электрода, а забиваемую подключают к отрицательному с напряжением порядка 50–100 в. Расход электроэнергии – от 3 до 40 квт·ч на одну сваю. В качестве источника используют сварочный генератор.

Применение электроосмоса для воздействия на растения заключается в следующем. Подача на конец ветки растения отрицательного полюса стимулирует поступление в ветку соков, возбуждает ветку, приводит к образованию ростков. При подаче на конец ветки положительного полюса с нее сначала опадают созревшие плоды, а затем листья. Ветка переходит в состояние покоя и может засохнуть. Если после опадения зрелых плодов сменить полярность электрода, подключенного к концу ветки, то ее жизнедеятельность восстановится, незрелые плоды и листья останутся на ветке и будут продолжать нормально развиваться.

Электродиализ – перенос ионов под действием электрического поля через ионоселективные мембраны. Данные мембраны, изготовленные из специальных ионообменных материалов, содержат высокую концентрацию неподвижных (фиксированных) ионов, химически связанных с каркасом мембраны, и поэтому пропускают ионы только одного знака заряда (рисунок 4.10).



1 – анод; 2 – катод; А – анионитовая мембрана; К – катионитовая мембрана

Рисунок 4.10 – Схема трехкамерного электродиализатора

При прохождении электрического тока катионы растворенных солей, находящиеся в воде, под действием электрического поля начнут перемещаться к катоду, а анионы – к аноду. Мембраны проницаемы только для ионов определенного знака (А – для анионов, К – катионов). Таким образом, вода в

средней камере опресняется, в анодной камере – подкисляется, а в катодной – подщелачивается (рисунок 4.10).

При разделении анодного и катодного пространств изменяются химическая и биологическая активность растворов, их физические свойства, происходит активация водных растворов. При этом анолит – раствор, находящийся в прианодном пространстве, – имеет кислотный показатель, а католит – в прикатодном – щелочной. Анолит обладает бактерицидными свойствами, католит стимулирует процессы регенерации и развития клеток. Активированные растворы изменяют скорость химических реакций при получении жидкого бетона, силосовании зеленой массы, мойке деталей.

Электризация семян – применения постоянного электрического тока для стимуляции роста растений и повышения урожайности. При обработке влажные семена сельскохозяйственных культур помещаются между электродами, связанными с источником постоянного тока низкого напряжения. Срок обработки составляет несколько часов.

Обработка кормов – пропускание электрического тока через измельченную кормовую массу. Основная цель обработки – перевод высокомолекулярных природных полимеров в более усвояемые низкомолекулярные и создание благоприятных условий для жизнедеятельности микрофлоры желудка животных.

Обеззараживание сельскохозяйственных сред (парников почвы, навоза, стоков, кормов и пр.) проводят, пропуская по ним постоянный или переменный ток, оказывающий термическое, химическое и биологическое (бактерицидное) воздействие.

Обеззараживание оборудования (доильного, молочной посуды, ветеринарного) проводят в дезинфицирующих растворах; в частности, в результате электролиза NaCl. По сравнению с применением готовых реагентов (жидкого хлора, хлорной извести, гипохлорита кальция) в этом случае удастся избежать трудностей и затрат, связанных с транспортированием и хранением токсичных веществ. Гальванизация – метод лечения слабыми токами. В зависимости от места приложения электродов раздражение передается от кожи по нервам на тот или иной орган, изменяя его обменные или функциональные свойства.

Дарсонвализация – метод лечения импульсными токами не более 15–20 мА, частотой 200–500 кГц при напряжении до 20 кВ.

Диатермия – прогревание глуболежащих тканей эндогенной теплотой, создаваемой токами 1–3 А, частотой 1–1,5 МГц при напряжении 200–250 В.

УВЧ-терапия – способ лечения токами смещения частотой 30–300 МГц.

Электронаркоз – обезболивающее действие переменного синусоидального или импульсного тока. Для общего обезболивания применяют игольчатые электроды, которые вводят под кожу затылочной части. Используя переменный ток, эффекта обезболивания для крупнорогатого скота достигают при частоте 1 кГц и силе тока 80–100 мА, а для овец и пушных зверей – при частоте около 5 кГц и силе тока 15–30 мА.

Электростимуляция (предпосевная обработка) семян необходима для увеличения энергии их прорастания, всхожести, урожайности культур, устойчивости к неблагоприятным погодным условиям, сокращения вегетационного периода. При возбуждении семян усиливается деление клеток, повышается влагопоглощение и компенсируется недостаточное воздействие природных электрофизических факторов (солнечной радиации, температуры и т.д.).

Электроплазмолиз растительного сырья. Плазмолиз – отслоение протопласта клетки от ее оболочки, сопровождающееся сжатием протоплазмы. Плазмолиз может быть достигнут механическими, термическими, электрическими и другими методами. Электроплазмолиз – создание в клетке плазмолиза путем воздействия на нее электрическим током. Для электроплазмолиза используют переменный ток промышленной и повышенной частоты и импульсы тока постоянной полярности. Для электроплазмолиза предназначены специальные устройства – электроплазмоллизаторы. Электроплазмоллизатор представляет собой два установленных горизонтально на станине с некоторым зазором металлических валка-электрода, которые вращаются в подшипниках один навстречу другому.

Гальваностегия – нанесение на изделия тонкого (5–30 мкм) слоя металла для защиты от коррозии, получения декоративных покрытий, упрочнения деталей (меднение, золочение, никелирование, хромирование).

Гальванопластика – покрытие изделий толстым слоем металла, применяемое в художественных промыслах и полиграфии.

5. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Напомним, что электрофизические методы используют специальные физические эффекты для превращения электрической энергии как в тепловую, так и в механическую (электроэрозионные, ультразвуковые, магнитоимпульсные, электровзрывные, плазменные, электронно-лучевые, лазерные и оптические технологии).

Рассмотрим электрофизические технологии на примере электроискровой обработки металлов. Электроискровая обработка металлов и, в частности, электроискровое легирование металлических поверхностей основано на использовании явлений, сопровождающих мгновенное освобождение энергии электрической искры. Этот процесс характеризуется высокой температурой канала искры и ионизацией межэлектродного пространства. Поскольку при осуществлении процессов электроискрового легирования металлических поверхностей протекают весьма короткие по времени импульсы электрического тока длительностью от 10^{-3} до 10^{-5} сек, то отвод тепла на электродах от места разряда к периферии не обеспечивается теплопроводностью металла. Поэтому малые объемы поверхностных слоев металла подвергаются весьма резким колебаниям температуры в несколько десятков градусов.

Как следствие этого, во-первых, происходит изменение структуры поверхностного слоя металла, измельчение её и увеличение твердости металлической поверхности.

Во-вторых, наличие высокой ионизации межэлектродного промежутка создает чрезвычайно благоприятные условия для протекания на металлической поверхности целого ряда химических реакций, что приводит к изменению состава поверхностных слоев за счет химических элементов, находящихся в окружающей среде.

Под воздействием электрического поля и возникающих электродинамических сил, размягченные объемы металла переносятся с анода на катод и, внедряясь в него, тоже могут вступать в химические соединения на катоде. Переносимый в этом случае на катод металл образует на его поверхности слой покрытия, физико-химические свойства которого близки к свойствам материала анода.

В настоящее время электроискровое легирование металлических поверхностей широко применяется для упрочнения металлообрабатывающих и деревообрабатывающих инструментов, улучшения поверхностных свойств сильноточных и слаботочных контактов реле.

Простейшая принципиальная электрическая схема установки для электроискрового легирования металлических поверхностей представлена на рисунке 5.1.

На обкладках конденсатора накапливается электрическая энергия, которая мгновенно освобождается между электродами благодаря коммутации цепи разрядного контура, осуществляемой при помощи вибрационного приспособления.

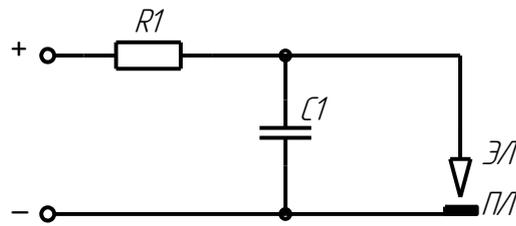


Рисунок 5.1 – Схема электрическая принципиальная установки для электроискрового легирования

Полная принципиальная электрическая схема установки представлена на рисунке 5.2.

Силовая часть установки состоит из силового однофазного трансформатора TV1 с повышенным магнитным рассеянием, силового селенового выпрямителя VD3–VD14 и батареи накопительных конденсаторов C5. Первичная обмотка трансформатора TV1 питается от однофазной сети 220 В. Напряжение на выходе выпрямителя может меняться в пределах от 15 до 200 В. Переключение осуществляется с помощью переключателя режимов SA2, расположенного в цепи вторичной обмотки трансформатора TV1.

Для обеспечения безопасности обслуживания в установке предусмотрено устройство, автоматически отключающее конденсатор от цепи питания главного выпрямителя, через 0,6–1,5 с после прекращения работы установки. Оставшееся на конденсаторе напряжение быстро снижается до безопасного (24 В), так как параллельно конденсатору C5 и сопротивлению R3 (10 кОм) присоединяется сопротивление R1 (500 Ом), которое включается одновременно с отключением конденсатора C5 от главного выпрямителя.

С включением тумблера SA1 загорается сигнальная лампа HL1. Одновременно на выходе выпрямителя VD1–VD2 появляется напряжение 24 В, которое через размыкающий контакт реле тока КА1, обмотку реле тока КА2, клемму КА3 оказывается приложенным к рабочим электродам (пластина ПЛ и электроду вибратора ЭЛ).

Перед началом легирования необходимо прикоснуться электродом вибратора ЭЛ к пластине ПЛ или обрабатываемому изделию, соединенному с пластиной ПЛ. При этом создается цепь: корпус прибора, обмотка 24 В трансформатора, вентили VD1–VD2, размыкающий контакт КА1 реле, обмотка реле КА1, корпус прибора. В этом случае ток в цепи вызывает срабатывание реле тока КА1. Замыкаются замыкающие контакты реле КА1.

Главный выпрямитель подключается через контакт КА1, обмотку КА1 к накопительному конденсатору C5 и электроду ЭЛ. Другой замкнутый контакт КА1 создает цепь питания обмотки вибратора L.

После прекращения работы, т.е. при длительном размыкании цепи электрод ЭЛ-изделие, ток через обмотку реле КА1 прекращается и все контакты возвращаются в исходное положение.

Установка имеет 6 режимов обработки. Чистовые режимы (1-2 положение), средние (3-4 положение) и грубые (5-6 положение). Они охватывают значительный диапазон мощностей, необходимых для проведения как дово-

дочных, так и грубых процессов электроискрового легирования металлических поверхностей.

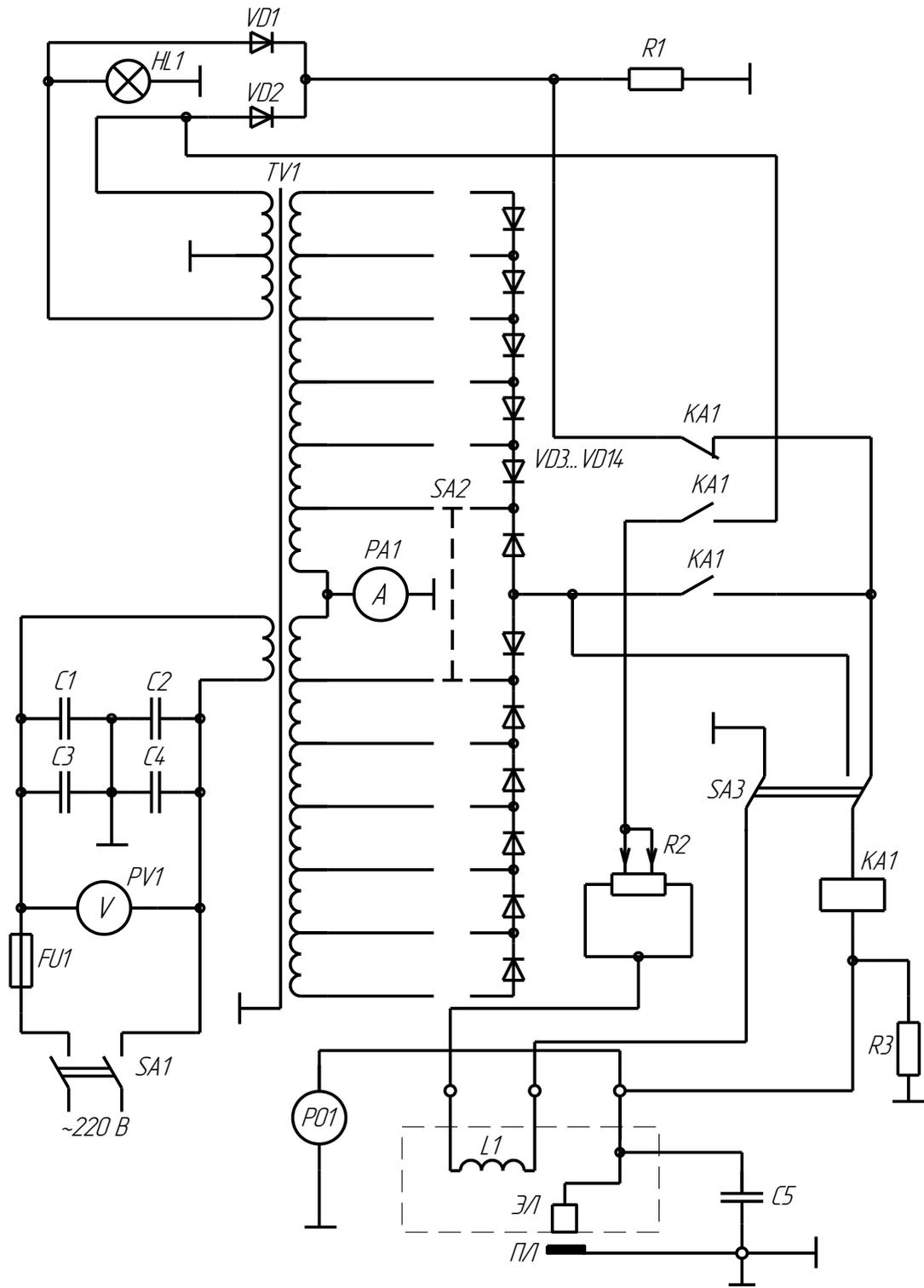


Рисунок 5.2 – Схема электрическая принципиальная установки "ЭФИ-ЭЛЕКТРОМ-ЮМ"

Различные режимы обработки применяются в зависимости от требований, предъявляемых к обрабатываемой поверхности, её чистоте, сплошности получаемого покрытия, толщине наносимого слоя. Чем легче применяемый режим обработки, тем меньше энергия импульсов, тем меньше толщина слоя,

получаемого в единицу времени на единице поверхности, но тем выше качество получаемой поверхности. Чем грубее режим обработки, т.е. чем больше энергии выделяется в каждом единичном импульсе, тем большая порция материала при этом переносится. В этом случае качество поверхности получается хуже и прочность ниже.

Характер зависимости толщины получаемого слоя от времени покрытия представлен на рисунке 5.3, где γ_k – привес катода за время τ в минутах от начала обработки.

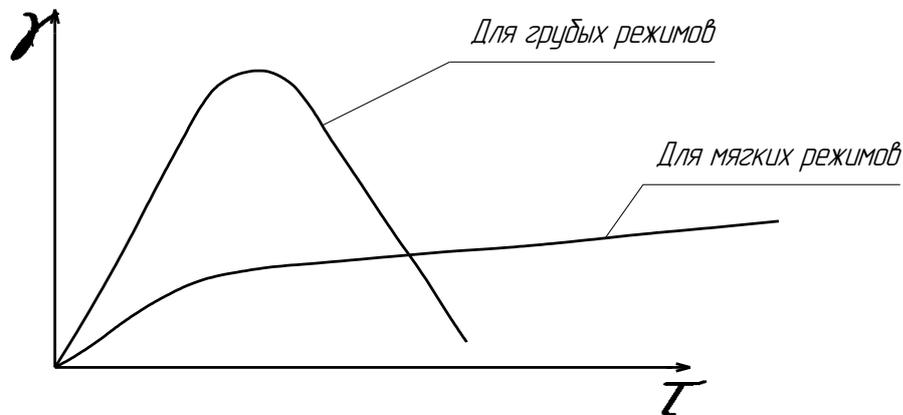


Рисунок 5.3 – График зависимостей толщины наносимого слоя от времени

Из графика следует, что при нанесении покрытия на грубых режимах обработки в первые минуты работы перенос металла осуществляется наиболее интенсивно. Затем перенос замедляется, прекращается и сменяется снятием не только нанесенного слоя, но и материала обрабатываемого изделия. Минимальный предел времени обработки обусловлен временем, необходимым для получения сплошного покрытия всей поверхности.

Максимальное время характеризуется тем, что перенос металла на катод начинает значительно снижаться. При этом поверхность начинает значительно портиться: появляются бугры и притоки.

Рекомендуется следующее время легирования одного квадратного сантиметра поверхности: на 1-2 режимах легирования 3–4 минуты, на 3-4 режимах – 2 минуты, на 5-6 режимах – 0,5–1 минута.

Для обработки металлов с высокими механическими свойствами применяется метод размерной обработки при непосредственном использовании теплового эффекта электрической энергии – электроэрозионная обработка. Она основана на эффекте расплавления и испарения микропорций материала под тепловым воздействием импульсов электрической энергии, которая выделяется в канале электроискрового заряда между поверхностью обрабатываемой детали и электродом-инструментом, погруженным в жидкую непроводящую среду. Следующие друг за другом импульсные разряды определенной длительности и формы производят выплавление и испарение микропорций металла.

По достижении импульсным напряжением U определенного значения между электродом-инструментом 4 и электродом-деталью 1 в диэлектрической жидкости 2 происходит электрический пробой. При этом от электрода, который в данный момент является катодом, отделяется стример 3 и направляется к аноду, ионизируя на своем пути жидкость. В результате этой фазы (ее длительность 10^{-9} – 10^{-7} с) образуется канал сквозной проводимости и сопротивление межэлектродного промежутка снижается от нескольких МОм до долей Ом (рисунок 5.4 *а*).

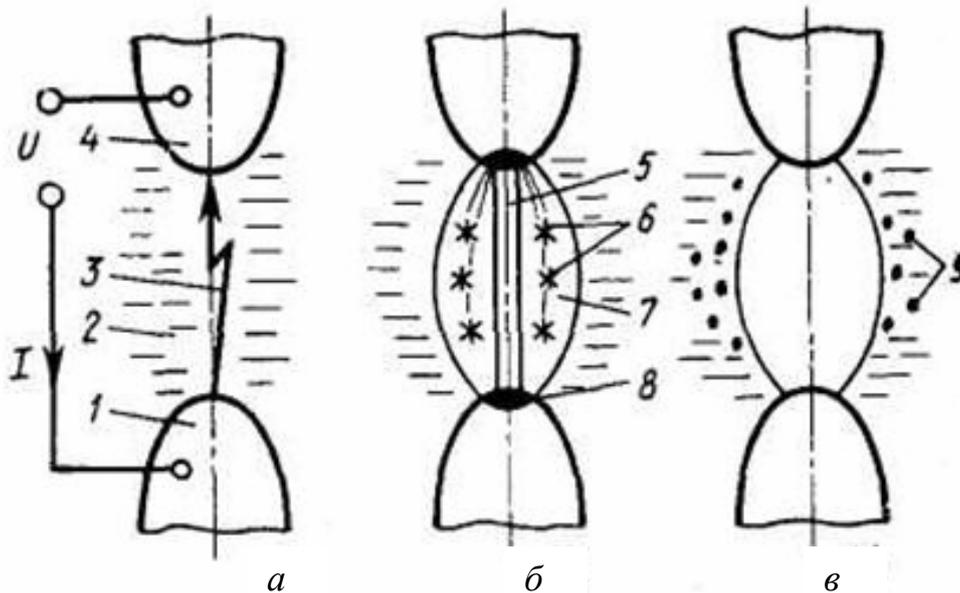
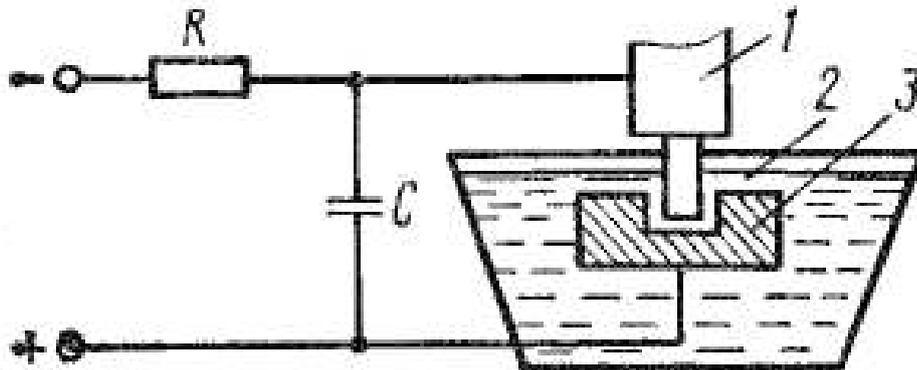


Рисунок 5.4 – Схема физических процессов в межэлектродном промежутке при электроэрозионной обработке

Через канал проводимости в виде импульса выделяется электрическая энергия, накопленная в источнике питания (рисунок 5.4 *б*), При этом происходит электрический разряд 5, длительность которого составляет 10^{-6} – 10^{-4} с, для которого характерна падающая вольтамперная характеристика. Разряд проходит искровую и дуговую стадии. Благодаря высокой концентрации энергии в зоне разряда и приэлектродных областях развиваются высокие температуры. Под их воздействием образуется парогазовая полость 7. В приэлектродных областях 8 происходит плавление и испарение микропорций металла на поверхности электрода. В результате развивающегося давления капли жидкого металла 6 выбрасываются из зоны разряда и застывают в окружающей электроды жидкой среде в виде мелких сферических частиц 9 (рисунок 5.4 *в*). После пробоя электрическая прочность межэлектродного промежутка восстанавливается. Следующий разряд возникает в другом месте между другими неровностями поверхностей электродов. При этом электрод-инструмент получает возможность внедряться в обрабатываемую деталь.

Электроэрозионный способ (рисунок 5.5) позволяет обрабатывать токопроводящие материалы любой механической прочности, вязкости,

хрупкости, получать детали сложных форм и осуществлять операции, не выполняемые другими методами. При его использовании значительно снижается трудоемкость по сравнению с обработкой резанием.



1 – электрод-инструмент; 2 – жидкий диэлектрик; 3 – электрод-заготовка
Рисунок 5.5 – Схема электроискровой обработки металлов

В некоторых электротехнологических процессах на обрабатываемый объект воздействуют в течение короткого промежутка времени с паузами. Такое использование электрической энергии называется импульсным, а само воздействие – электрическими импульсами.

Импульсная технология, характеризующаяся высокой скоростью ввода энергии в технологический объект, позволяет получить кратковременно мощность воздействия, существенно превышающую номинальную мощность источника. Электроимпульсные технологические процессы характеризуются прерывистым подводом энергии с определенной длительностью, частотой и скважностью. С помощью современных электротехнических средств создают импульсы тока или напряжения, которые непосредственно в объекте могут преобразовываться в механическую, магнитную, оптическую, химическую и другие виды энергии. Эффективность воздействия зависит не только от амплитудных значений мощности, тока и напряжения, но и их изменения во времени, т. е. формы импульсов и их периодичности. Импульсы формируют с помощью генераторов, преобразующих исходный постоянный или переменный ток в импульсный требуемых параметров или непрерывно подводимую неэлектрическую энергию в прерывистую электрическую. Методы генерирования силовых импульсов условно разделяют на непосредственные, путем инвертирования, формирования (изменения формы кривой) и суммирования или компенсации.

Системы генерирования импульсов делят на подключаемые параллельно нагрузке (релаксационные, электромашинные и др.), последовательно с ней (генераторы с прерывателями и ключами) и комбинированные.

По характеру влияния нагрузки на генератор и его реакции на нагрузку можно выделить независимые и зависимые генераторы импульсов.

Различают RC-, RLC-, RCL-, CL-, LC-, CC-генераторы. Все они содержат зарядную и разрядную цепи.

Генератор работает следующим образом (рисунок 5.6). При замыкании выключателя SA конденсатор C через резистор RP заряжается от источника питания G, и напряжение на конденсаторе, а следовательно, и на межэлектродном промежутке МЭП повышается. Когда напряжение станет равным пробивному, происходит пробой промежутка, и энергия, накопленная в конденсаторе C за время заряда, выделяется в МЭП. Напряжение на конденсаторе падает, и разряд прекращается. Начинается процесс деионизации МЭП (восстановление его диэлектрических свойств) и заряд конденсатора. Для нормального протекания процесса необходимо, чтобы время заряда было больше периода деионизации, иначе возможен переход импульсного разряда в дуговой.

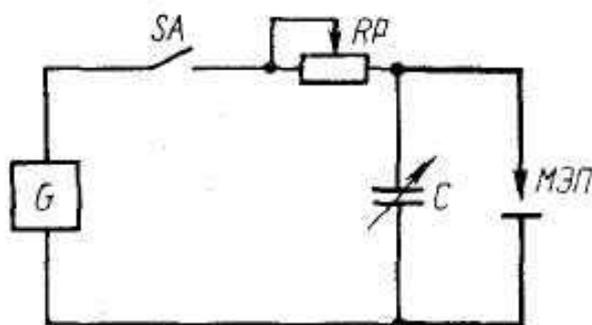


Рисунок 5.6 – Схема генератора импульсов

Основные параметры генераторов импульсов: параметры импульсов (амплитуда токов разряда, энергия и средняя мощность импульса, количество электричества в нем, периодичность повторения, скважность), напряжение питания, мощность генератора, напряжение в начале разряда. В RC-генераторах значительная часть энергии затрачивается на нагрев резистора. Поэтому КПД таких генераторов не превышает 25% и их мощность составляет 5–7 кВт. Чтобы ускорить заряд конденсатора и увеличить напряжение на нем, вместо резисторов применяют индуктивные элементы (в LC-, CC- или RLC-генераторах). В результате КПД становится равным 50%. С помощью электромашинных генераторов получают большие токи (КПД 70–75%), однако у них высокий уровень шума. Перспективны генераторы на полупроводниковых и ламповых переключающихся элементах, позволяющие получить импульсы заданной (часто очень сложной) формы с изменяемой частотой. Их широко применяют для электроэрозионной обработки металлов.

Электрические изгороди предназначены для организации загонной пастбы сельскохозяйственных животных, ограждения летних лагерей, устройства прогонов, предотвращения потравы семенных участков трав, силосных и технических культур. Электрическая изгородь представляет собой стальную проволоку, закрепленную на стойках с изоляторами, на которую импульсами подается высокое напряжение от специального генератора импульсов. В момент касания к изгороди происходит электрический удар, который не представляет опасности для жизни и здоровья животных, но достато-

чен для выработки условного рефлекса "боязни" прикосновения к ограждающей проволоке. Безопасным для животных является количество электричества до 3 мА·с. Амплитуда вторичного импульсного напряжения достигает 6–8 кВ, амплитуда импульсного тока – до 700 мА.

Электрические изгороди применяются для загонной пастьбы крупного рогатого скота, телят, свиней без поросят, ограждения летних лагерей, выгульных площадок, прогонов, стогов сена, посевов и других мест, охраняемых от животных или опасных для них, но с обязательным "приучением" животных к изгороди. Для пастьбы лошадей изгородь не применима.

Схема генератора импульсов ИЭ-200 (рисунок 5.7) работает следующим образом. Питание осуществляется либо от батарей сухих элементов G, которые подключаются к схеме через контакты 1, 2, 4, 5 переключателя SA2 либо от сети переменного тока через контакты 3, 2, 5, 6 переключателя SA1. В последнем случае через полупроводниковый диод выпрямленное однополупериодное напряжение с амплитудой $220 \cdot \sqrt{2}$ будет подано на генератор импульсов. При положении переключателя SA2 на «Сила импульса: меньше» (разомкнуты контакты 8, 7 и 9, 10) емкость C1 постепенно заряжается через резистор R2 и переменный резистор R3 «Частота импульсов: меньше-больше». При установке тумблера SA3 на «Режим: Авт» (замкнуты контакты 13, 14) одновременно с подачей напряжения на емкость C1 это напряжение подается на делитель напряжения R5, R10. Напряжение заряда конденсатора C4 постепенно повышается, пока не будет достигнуто напряжение зажигания тиратрона VL1. Конденсатор C4 разряжается через тиратрон VL1, ограничивающий резистор R7, резистор R6, цепь управления тиристором VD3 и первичную обмотку трансформатора TV1. Вследствие этого тиристор VD3 открывается и происходит импульсный разряд конденсатора C1 через первичную обмотку трансформатора TV1. На вторичной обмотке этого трансформатора индуцируется импульс высокого напряжения, который пробивает разрядник VL2 и оказывается приложенным к земле и проволоке изгороди. В случае прикосновения к проволоке животное получает электрический удар. Диод VD2 служит для защиты тиристора VD3 от обратного перенапряжения, возникающего во время переходного процесса при разряде конденсатора C1.

Если тумблер SA3 «Режим: Авт-Жд» переключен в положение «Жд» (замкнуты контакты 11, 12 и 13, 15), то импульс в линии изгороди появляется только после прикосновения животного к линии. В этом случае напряжение на емкости C1 подается через замкнутые контакты 11, 12 на делитель напряжения, состоящий из последовательно соединенных сопротивлений R8, вторичной обмотки трансформатора TV1, сопротивления утечки «проволока изгороди – земля» R_{из}, R9 и R10.

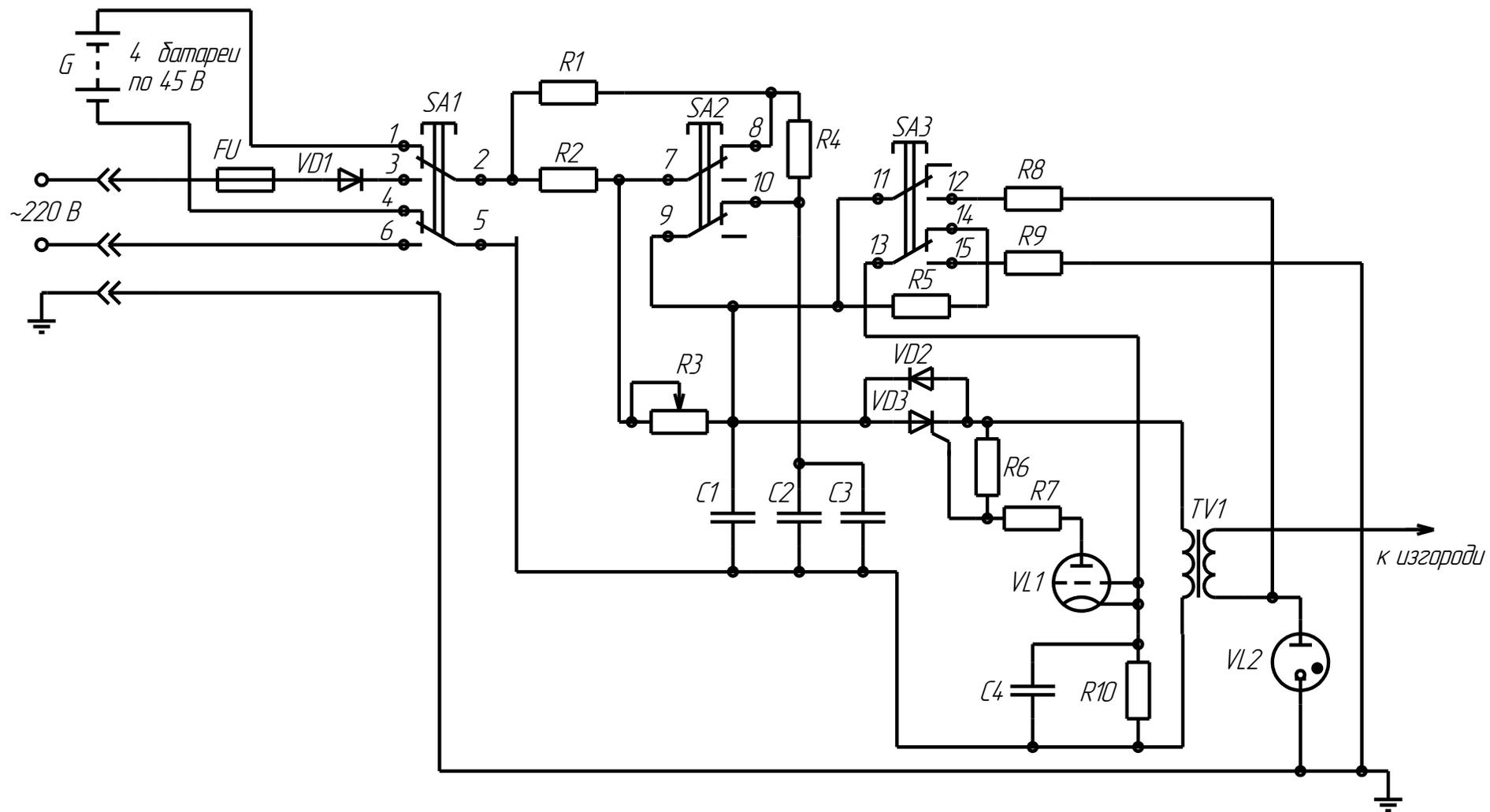


Рисунок 5.7 | Схема электрическая принципиальная пульсатора электрической изгороди

Если животное не касается проволоки изгороди, то напряжение на R10, параллельно которому включен конденсатор С4, будет меньше напряжения зажигания тиратрона, так как $R8 + R_{из} + R9 \gg R10$ и импульсов не будет. При прикосновении животного к проволоке изгороди сопротивление верхнего плеча делителя напряжения уменьшается (животное закорачивает $R_{из}$), напряжение на конденсаторе возрастает и достигает напряжения зажигания тиратрона, в результате чего конденсатор С1 разряжается через открытый тиристор VD3 на первичную обмотку трансформатора TV1. На вторичной обмотке трансформатора возникают импульсы высокого напряжения. Пока животное не отойдет от проволоки, генератор будет работать в автоматическом режиме. То же самое происходит при ухудшении изоляции проволоки изгороди по отношению к земле, что может иметь место при касании проволоки изгороди веток кустарников, травы, а также в дождливую погоду. Импульс высокого напряжения в линии изгороди появляется после прикосновения к ней животного через 0,2 с.

Для увеличения силы импульса («Приучение» скота к изгороди, питание длинной линии изгороди, пастьба свиней) тумблер «Сила импульса: меньше-больше» переключается в положение «Больше». Через контакты 9, 10 тумблера SA2 подключают параллельно конденсатору С1 дополнительные конденсаторы С2 и С3, а через контакты 7, 8 подключают параллельно резистору R2 резистор R1, а параллельно R3 – резистор R4, тем самым сохраняя ранее установленную частоту импульсов. Но этот режим требует большего расхода энергии, поэтому при питании схемы от батарей они будут быстро разряжаться. Разрядник VL2 изолирует от земли цепь управления тиратроном VL1, но не препятствует току от импульса высокого напряжения.

Высокое напряжение, подаваемое от генератора на электроизгородь, ввиду малой энергии импульсов, безопасно для животных и людей, но способно нанести ощутимый удар. Поэтому следует соблюдать осторожность при работе с генератором и избегать прикосновения к токоведущей проволоке электроизгороди и крюку на конце высоковольтного провода генератора.

Электроимпульсная обработка в растениеводстве:

- уменьшение потерь урожая при сушке (электроплазмолиз);
- обработка поливной воды для увеличения урожайности;
- обмолот зерновых культур;
- обработка почвы;
- получение качественных продуктов питания.

Сущность электроискровой обработки заключается в том, что стебель подсолнечника в 20–30 см от корзинки обрабатывают серией импульсов электроискровых разрядов высокого напряжения в поперечном направлении стебля. Это создает на обрабатываемом участке стебля узкий пояс омертвевших тканей шириной 10–15 мм, прерывающий органическую связь корзинки с остальными частями растения. Поступление влаги к корзинке прекращается. Под действием воздуха и солнечных лучей корзинки быстро высыхают. Через 5–10 дней, когда влажность семян снизится до 11–13%, под-

солнечник можно убирать прямым комбайнированием. Нижняя часть растений остается зеленой и может быть убрана на силос.

Установка для электроискровой обработки подсолнечника состоит из трактора, генератора Γ повышенной частоты мощностью 4,5–5,0 кВт, работающего от вала отбора мощности тракторного двигателя M , трех повышающих трансформаторов Tr , подключенных к генератору через сопротивления R , конденсаторов C и разрядных промежутков Pp , подключенных к вторичным обмоткам трансформаторов (рисунок 5.8). Производительность передвижной тракторной электроустановки составляет 3–3,5 га/ч. Дополнительный выход семян за счет снижения потерь равен 1–1,2 ц/га.

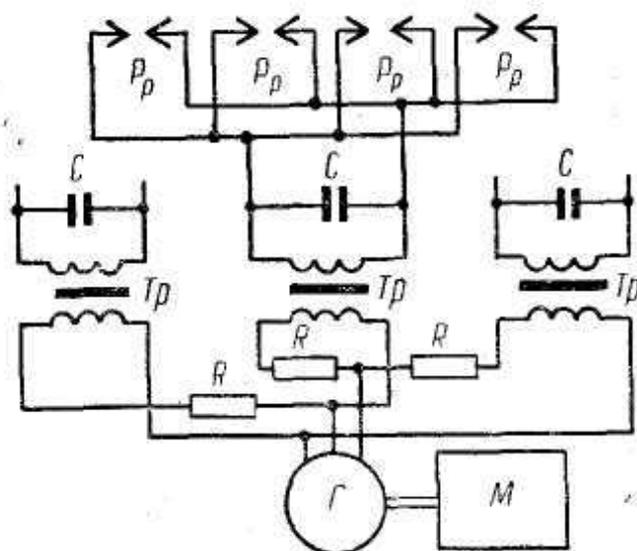
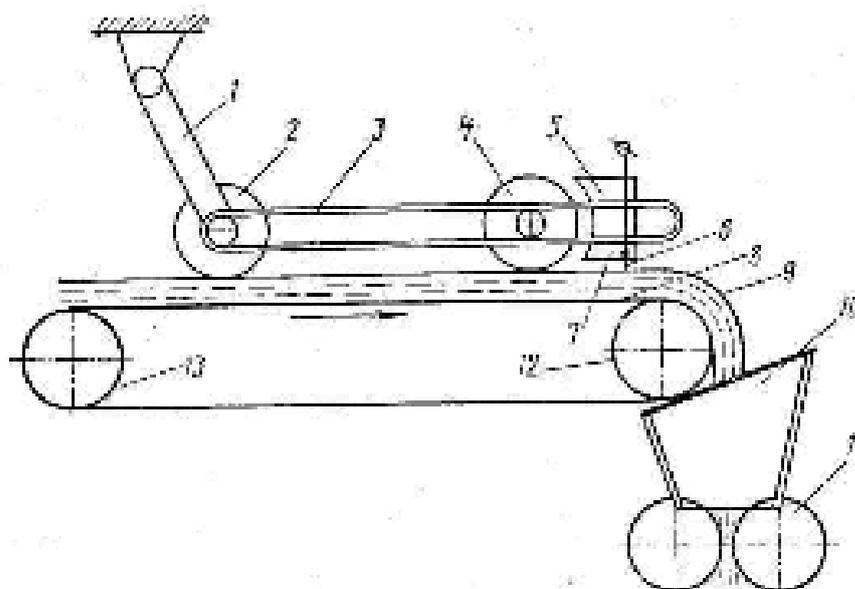


Рисунок 5.8 – Электрическая схема установки для электроискровой обработки подсолнечника

Установка для совместной электроискровой и механической обработки травы перед сушкой работает следующим образом (рисунок 5.9). Трава подается на транспортер, лента 8 которого выполнена из изоляционного материала. Трава поступает под заземленный ролик 2, затем под копирующий 4, после чего проходит под электродом 6 и подвергается серии искровых разрядов. Напряжение от генератора импульсов прикладывается между электродом разрядника и землей. Искра пробивает наружный слой стебля растений. Поскольку электрическое сопротивление ленты намного больше сопротивления растений, импульс тока проходит по растению и через ролик 2 уходит в землю. Ток разрушает живые клетки растения, причем наибольшие повреждения наблюдаются в сердцевине стебля, что очень важно для влагоотдачи травы при сушке, так как влагу из внутренних слоев растения удалять труднее, чем с поверхности. Поврежденные клетки уже не способны удерживать связанную влагу, которая переходит в свободную и проникает в межклетник. После искровой обработки трава поступает на плющение гладкими вальцами 11 при давлении 0,15 МПа. В результате плющения стебли получают продольные трещины, через которые удаляется свободная влага, выделившаяся внутри стебля.



1 – тяга; 2 – заземленный ролик; 3 – изолирующая тяга; 4 – копирующий ролик;
 5 – изоляционный корпус; 6 – электрод разрядника; 7 – отверстие; 8 – изоляционная
 транспортерная лента; 9 – обрабатываемая трава; 10 – бункер; 11 – плющильные вальцы;
 12 и 13 – барабаны транспортера

Рисунок 5.9 – Схема установки для совместной электроискровой и механической обработки травы перед сушкой

Во время исследований по воздействию электроимпульсных разрядов на воду было обнаружено, что одновременные электроимпульсные разряды в смежных зонах в воде и над водой вызывают значительное увеличение в воде ионов окислов азота, которые хорошо усваиваются растениями, представляя собой высококачественное азотное удобрение для них. Полив растений обработанной водой показал, что зеленая масса опытных саженцев кукурузы на 10–15-й день увеличивалась по сравнению с контрольной в среднем на 35%, урожайность огурцов в теплицах увеличивается на 30%.

Электроискровой способ обмолота зерновых культур основан на использовании искровых разрядов в хлебной массе. Установлено, что выделение зерен из колосьев происходит под воздействием на них ударных воздушных волн, возникающих при искровых разрядах. Разряды как бы скользят по чешуйкам колосьев, не нанося микроповреждений зерну. В отличие от обычного обмолота солома не измельчается и не деформируется. Это способствует снижению затрат энергии на обмолот и улучшает сепарацию вороха. По сравнению с обмолотом комбайном вследствие устранения микроповреждений всхожесть семян может повыситься до 25%, а воздействие электрического поля на биологические свойства зерна может повысить урожайность до 10–20%. Снижение затрат ожидается до 30%.

Сущность процесса обработки почвы заключается в том, что при помощи генератора импульсов и специального искрового устройства, которое служит рабочим органом, на требуемой глубине в почве создаются искровые разряды, сопровождающиеся появлением кратковременных волн сжатия и растяжения.

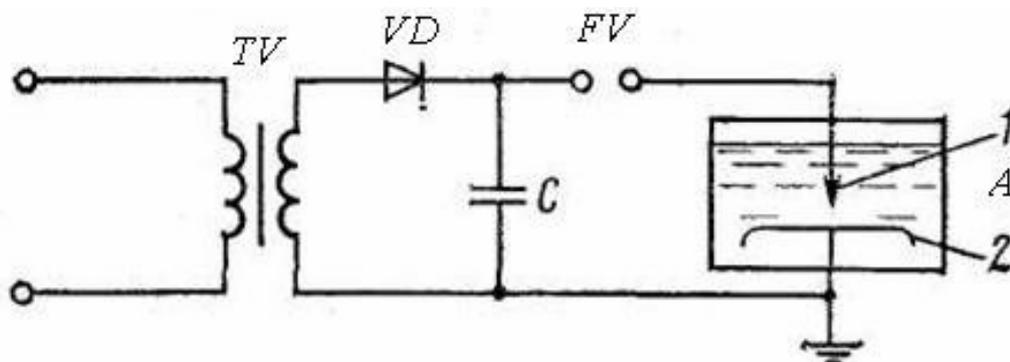
Энергии, выделяющейся в канале искрового разряда, достаточно для того, чтобы под действием возникающих ударных волн вызвать механическое разрушение и крошение требуемого слоя почвы. По предварительным расчетам, применение электрической энергии для обработки почвы дает возможность снизить энергозатраты на 30% и стоимость обработки примерно на 20%.

Электрогидравлический эффект – преобразование электрической энергии в механическую при помощи высоковольтного разряда в жидкой среде.

Электрогидравлический эффект – это возникновение высокого давления в результате высоковольтного электрического разряда между погруженными в непроводящую жидкость электродами.

Простейшая схема получения ЭГЭ включает в себя: зарядную цепь (повышающий трансформатор T и выпрямитель V); накопитель энергии – конденсатор C ; разрядную цепь, состоящую из формирующего промежутка F (обычно воздушный искровой разрядник) и основного A в рабочей жидкости (как правило, воде). Данная схема представляет собой генератор электрических импульсов (рисунок 5.10).

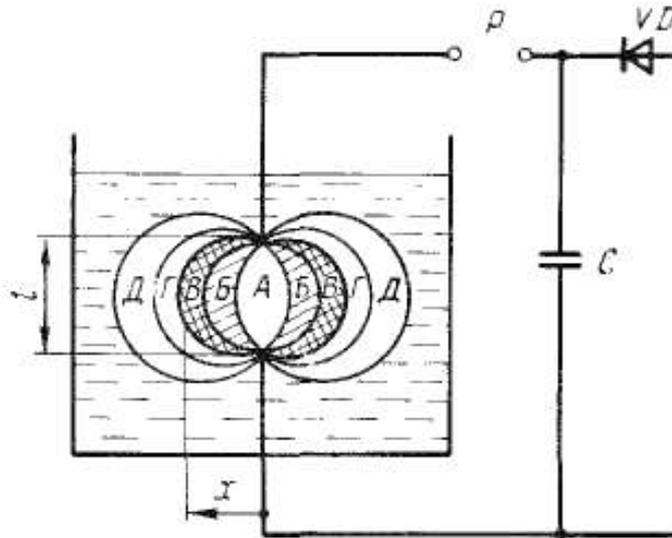
Зарядная цепь заряжает конденсатор в течение времени заряда до напряжения, при котором пробивается формирующий промежуток. В этот момент времени накопительный конденсатор подключается к основному промежутку в жидкости и начинается электрический пробой последнего. После пробоя жидкости между электродами возникает токопроводящий канал, на который и разряжается накопительный конденсатор в течение времени разряда. Ток разряда, достигающий десятков и сотен килоампер, разогревает плазму в канале до температуры порядка 10000 К. Благодаря малой сжимаемости жидкости разогрев плазмы приводит к повышению давления в канале разряда до значений порядка 1000 МПа. Это давление передается во все стороны, создавая ударную волну в жидкости.



1 и 2 – электроды

Рисунок 5.10 – Принципиальная схема получения электрогидравлического эффекта

Кроме ударной волны, действующими факторами при ЭГЭ могут быть скоростные потоки жидкости, акустическое излучение, термический удар, разрядный ток через среду, электромагнитное излучение (рисунок 5.11).



А – зона, находящаяся между электродами, во время разряда представляет собой поток плазмы; Б – зона разрушения, где почти все материалы разделяются на дисперсные частицы; В – зона наклепа, в пределах которой многие материалы разрушаются, а металлы наклёпываются; Г – зона упругого воздействия, где происходит выброс частиц, возникают мощные выталкивающие силы, а жидкость проявляет свойства очень упругого тела; Д – зона сжатия, в которой давление быстро убывает с увеличением расстояния от канала разряда и резко перемещаются большие объемы жидкости

Рисунок 5.11 – Расположение зон высокого давления вокруг канала искрового разряда при электрогидравлическом эффекте (в начальный период)

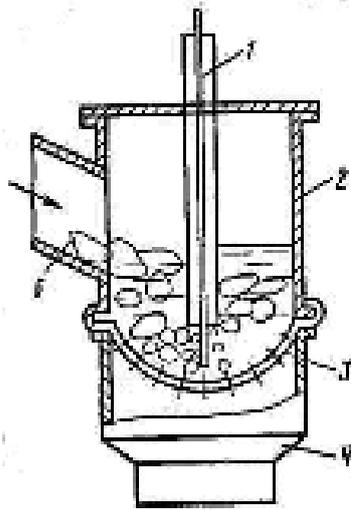
В процессе разряда напряжение на конденсаторе падает и, наконец, становится недостаточным для поддержания разряда. Разряд прекращается, промежуток деионизируется. Далее этот цикл повторяется в той же последовательности с частотой, определяемой параметрами цепи.

Значения параметров схем для получения ЭГЭ: напряжение заряда конденсатора – 30–70 кВ, емкость конденсатора – 3–1500 мкФ, межэлектродное расстояние в основном промежутке – 1–10 см, длительность электрического разряда – 10–40 мкс, сила тока в импульсе – 15–50 кА, мгновенная мощность импульса – до 200 МВт, энергия единичного импульса – 1–300 кДж, частота следования импульсов – 0,125–2 Гц.

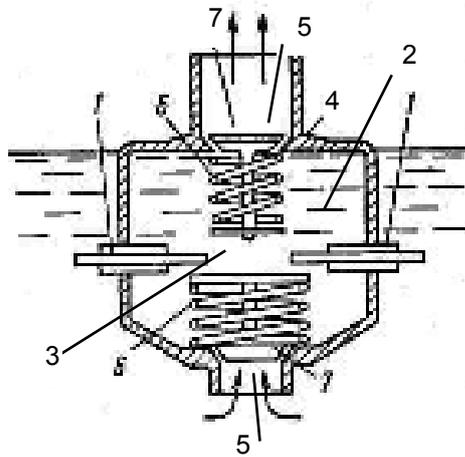
При использовании высоковольтного импульсного разряда для измельчения трудно растворимых известковых и фосфоритных удобрений повышается эффективность их применения, так как внесение удобрений в почву в жидкой фазе обеспечивает их равномерное распределение, сокращает потери при транспортировке (рисунок 5.12).

Электроимпульсные насосы (рисунок 5.13), использующие электрогидравлический эффект, не имеют вращающихся деталей, отличаются простотой и высокой надежностью работы.

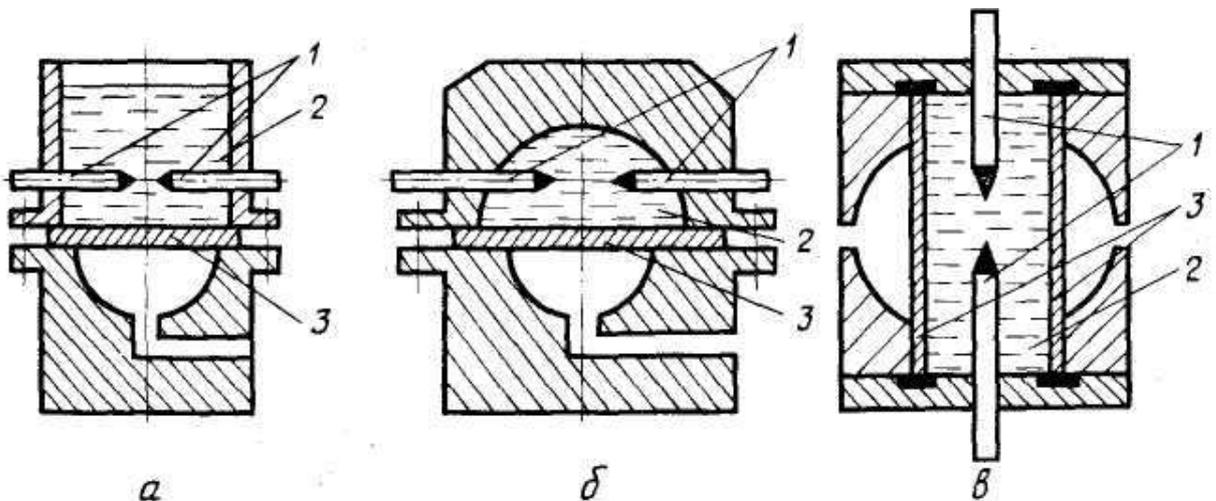
Пластическая деформация материалов с помощью ЭГЭ (рисунок 5.14) используется для обработки металлов давлением (штамповка, развальцовка) и восстановления изношенных полых деталей.



1 – электроды; 2 – рабочая камера; 3 – сетка; 4 – корпус; 5 – измельчаемый материал
Рисунок 5.12 – Электрогидравлическая дробилка



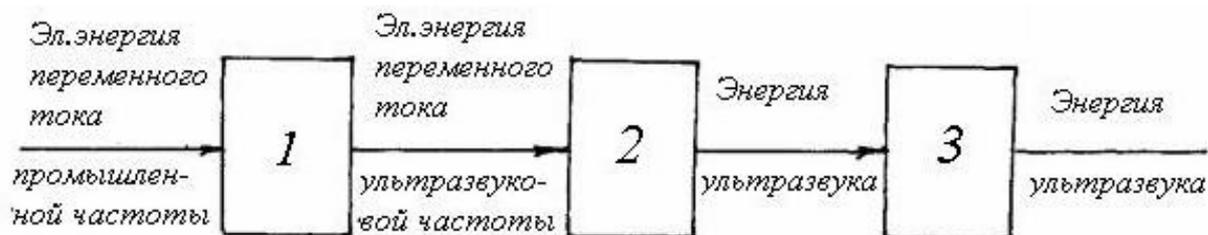
1 – электроды; 2 – разрядная среда; 3 – рабочая камера; 4 – корпус;
5 – входные и выходные каналы; 6 – пружина; 7 – клапаны
Рисунок 5.13 – Электрогидравлический насос



a – в открытой камере; *б* – в закрытой камере; *в* – в трубчатой заготовке; 1 – электроды;
2 – разрядная среда (вода); 3 – заготовка

Рисунок 5.14 – Схема электроимпульсной штамповки

Ультразвуковые технологии заключаются в следующем (рисунок 5.15). Ультразвук (УЗ) представляет собой упругие колебания и волны, т.е. чередующиеся во времени процессы механического сжатия и разряжения, распространяющиеся в твердой, жидкой и газообразной средах.



1 – генератор ультразвуковой частоты; 2 – электроакустический преобразователь;
3 – акустический трансформатор

Рисунок 5.15 – Блок-схема генерирования ультразвука

Диапазоны частот: нижний предел – 15–20 кГц; верхний предел – 1000000 кГц. В ультразвуковой технологии наибольший интерес представляют величины, характеризующие скорость распространения ультразвуковой волны, давление и интенсивность.

При переходе УЗ-волны из одной среды в другую, если их волновые сопротивления не равны, часть энергии волны отражается от границы раздела двух сред обратно в первую среду, а оставшая часть проходит во вторую среду.

Основные эффекты ультразвука следующие. Первичные (переменное звуковое давление, постоянный поток, кавитация, поверхностное трение).

Вторичные (механические, тепловые, химические, акустические, биологические). Кавитация состоит в том, что в жидкости в фазе разряжения образуются разрывы или полости, которые захлопываются в фазе сжатия, вызывая мгновенные пики давления, достигающие десятков мегапаскалей.

Механические эффекты. К ним относят ультразвуковую коагуляцию (сближение и последующее слипание взвешенных в газе или жидкости мелких частиц), дегазацию (уменьшение содержание газа в жидкости), диспергирование (тонкое измельчение твердых или жидких веществ в какой-либо среде).

Тепловой эффект – нагревание среды из-за поглощения энергии ультразвуковых волн.

Химические эффекты – изменение скорости протекания или возникновение определенных химических реакций под действием УЗ.

Акустические эффекты заключаются в распространении, преломлении и отражении звуковых волн в средах.

Биологические эффекты характеризуются изменением скорости протекания физиологических процессов вследствие микромассажа тканей, локального нагрева, физико-химических превращений. При малой интенсивности ультразвука эти явления улучшают обмен веществ, интенсифицируют жизнедеятельность, при большой – биологические ткани могут разрушаться.

Генераторы ультразвуковой частоты (ультразвуковые генераторы) – это устройства, предназначенные для преобразования электрической энергии переменного тока промышленной частоты в электрическую энергию переменного тока высокой частоты, равной частоте ультразвука.

Генераторы ультразвуковой частоты бывают машинные, ламповые, полупроводниковые (транзисторные, тиристорные) (рисунок 5.16).

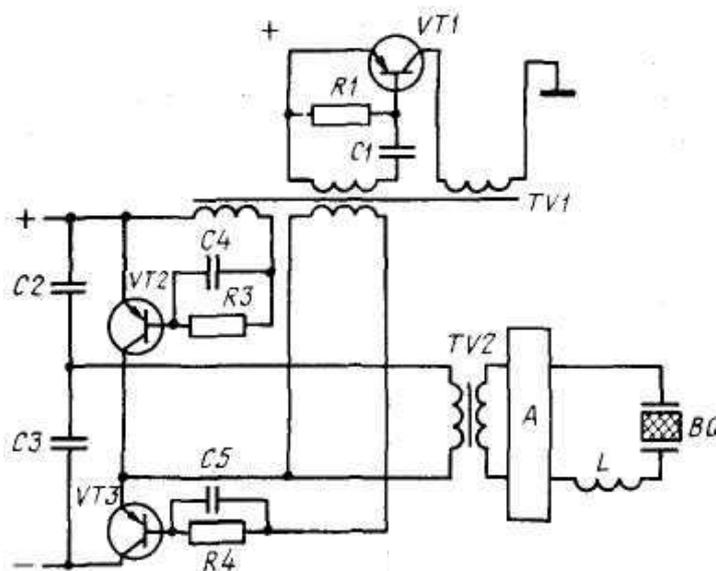


Рисунок 5.16 – Принципиальная электрическая схема транзисторного ультразвукового генератора

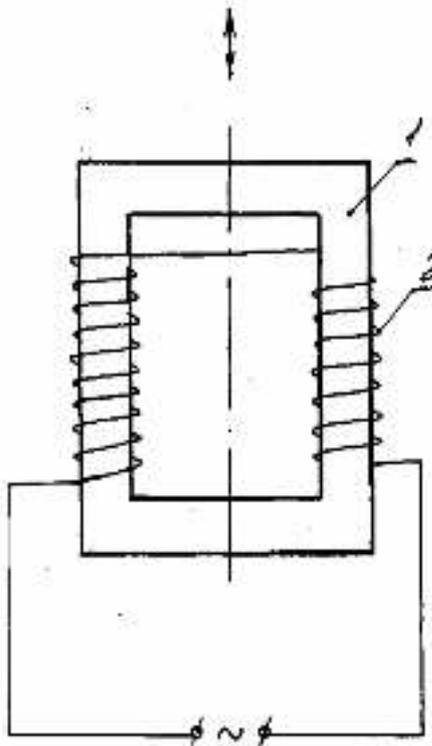
Электроакустические преобразователи – это устройства, преобразующие электрическую энергию переменного тока в энергию колебаний твердого тела (стержня, пластинки и т.п.). Из электроакустических преобразователей наиболее распространены магнитострикционные и пьезоэлектрические.

Магнитострикционные преобразователи работают следующим образом (рисунок 5.17). Если стержень из ферромагнитного материала поместить в направленное вдоль него магнитное поле, то длина стержня изменится, причем в зависимости от материала стержень может как укоротиться, так и удлиниться. Это явление называется прямым магнитострикционным эффектом.

Существует и обратный магнитострикционный эффект: изменение намагниченности ферромагнетика при его деформации. Прямой магнитострикционный эффект используется в излучателях УЗ, а обратный – в приемниках УЗ.

Основные магнитострикционные материалы – никель, пермендюр, альфер.

Магнитострикционные преобразователи работают при сравнительно небольших частотах (100–200 кГц) для получения ультразвука больших интенсивностей (20–30 Вт/см²), поскольку с увеличением частоты растут потери на гистерезисе и вихревые токи.



1 – сердечник (пакет из пластин магнитострикционного материала); 2 – обмотка
(стрелка показывает направление деформации сердечника)

Рисунок 5.17 – Схема двухстержневого магнитострикционного преобразователя

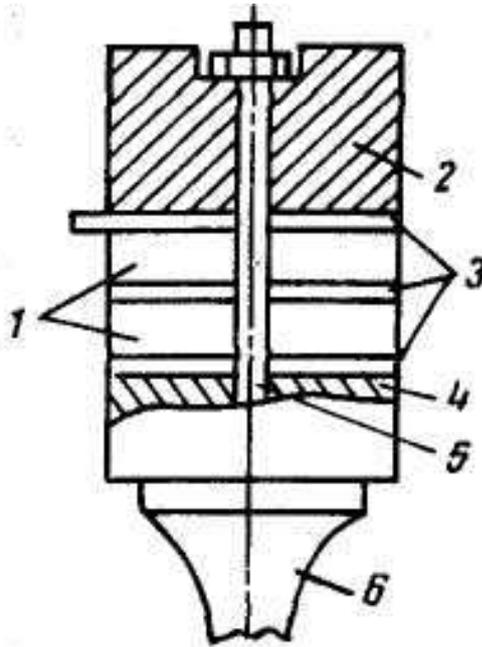
Основные преимущества магнитострикционных преобразователей: более высокая механическая прочность и надежность, значительные относительные деформации, за счет чего можно получить значительные акустические мощности; устойчивость к коррозии.

Пьезоэлектрические преобразователи работают следующим образом (рисунок 5.18). При сжатии и растяжении в определенных направлениях некоторых кристаллов на их поверхности появляются электрические заряды, обусловленной поляризацией. Это явление называется пьезоэлектрическим эффектом и используется в приемниках УЗ. Обратный пьезоэлектрический эффект (деформация кристаллов под действием электрического поля) применяют в излучателях УЗ.

В качестве пьезоэлектрических материалов используют кристаллы кварца, сегнетовой соли, а также искусственно получаемую пьезокерамику: титанат бария и цирконат – титанат свинца.

Пьезоэлектрические преобразователи способны работать на очень высоких частотах (вплоть до десятков МГц). Однако они могут развивать относительно небольшую мощность (обычно не более сотен ватт) из-за низкой механической прочности пьезоэлектрических материалов.

Напряжение питания составляет 50–400 В для пьезокерамики и 2–20 кВ для кварца, интенсивность УЗ достигает 100 кВт/м^2 . С увеличением температуры пьезоэлектрический эффект ослабевает и при $573 \text{ }^\circ\text{C}$ исчезает.



1 – пьезокерамические пластины; 2 и 4 – отражающая и излучающая накладки;
3 – токоподвод; 5 – стягивающий болт; 6 – волновод-инструмент

Рисунок 5.18 – Пакетный пьезокерамический преобразователь

Акустические трансформаторы работают следующим образом (рисунок 5.19). Акустические трансформаторы применяют для усиления колебаний магнитострикционного преобразователя (трансформаторы скорости) и для согласования механического сопротивления технологической нагрузки с сопротивлением пакета преобразователя (трансформаторы сопротивления). Трансформаторы скорости называют концентраторами.

Концентратор представляет собой стержень переменного сечения, присоединяемый к пакету преобразователя более широким торцом. Меньший торец концентратора подводит колебания к технологической среде. Энергия концентрируется благодаря уменьшению площади сечения. Концентраторы могут усиливать амплитуду ультразвуковых колебаний в 10–15 раз и доводить ее до 50 мкм.

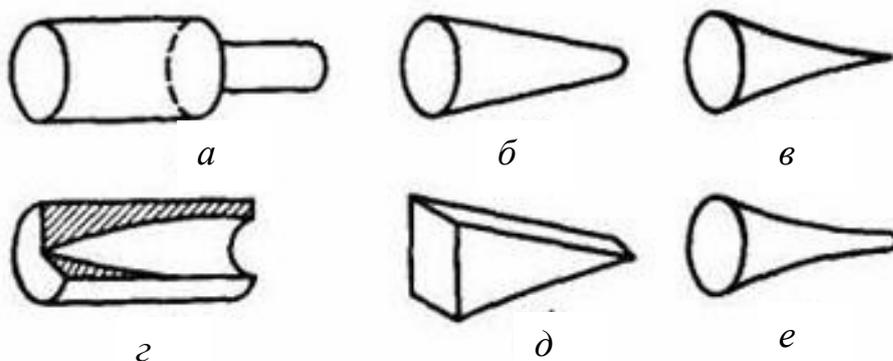
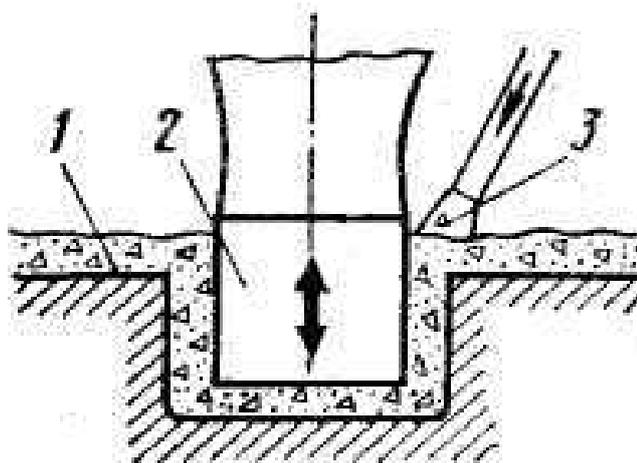


Рисунок 5.19 – Основные формы концентраторов
(акустических трансформаторов скорости)

Применение УЗ-технологии:

- очистка деталей и узлов сельскохозяйственной техники, доильной аппаратуры, молочной посуды и яиц на птицефабриках;
- предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур;
- пастеризация молока, стерилизация жидких пищевых продуктов;
- продление сроков хранения овощей;
- лечение животных, определение их упитанности;
- эмульгирование рыбьего жира в масле и воде для скармливания животным;
- интенсификация сушки различных материалов;
- противонакипная обработка воды в теплоэнергетических установках и др.;
- отпугивание грызунов, профилактика терапии глаз, лечение костных повреждений и фурункулеза;
- очистка и мойка деталей, их пайка, сварка, размерная обработка при восстановлении изношенных деталей.

Сущность ультразвуковой размерной обработки (рисунок 5.20) состоит в том, что между инструментом 2, колеблющимся с частотой 18–44 кГц и амплитудой 10–60 мкм, и обрабатываемой поверхностью заготовки 1 подаются взвешенные в воде зерна абразива 3. Инструмент периодически ударяет по зернам абразива, которые выкалывают микрочастицы с поверхности заготовки. Поскольку инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности, то на ней постепенно образуется углубление, копирующее форму рабочей части инструмента. Таким образом осуществляется соответствующая операция: вырезание, прошивание, сверление и т.п.



1 – обрабатываемая поверхность заготовки; 2 – инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой; 3 – зерна абразива, взвешенные в воде

Рисунок 5.20 – Схема ультразвуковой размерной обработки материалов

Электрофизические технологии используют также электрохимические эффекты. Примером этого может служить технология предпосевной обработки семян оптическим излучением.

Механизм воздействия УФ-излучения на биологические объекты состоит в следующем: ультрафиолетовые лучи выбивают электроны с внешней орбиты атомов клеточных молекул, превращая их в положительно заряженные ионы. Ионная структура в клетках и тканях изменяется. Таким образом изменяются электрические свойства биокolloидов. Все это приводит к повышению проницаемости клеточных мембран, функции обмена веществ между клеткой и окружающей средой.

Биологическое действие оптического излучения осуществляется благодаря трем основным биофизическим механизмам: физико-химическому действию и фотохимическому эффекту.

Повышение урожайности выращиваемых культур является основной задачей сельскохозяйственного производства. В последние годы для интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства стали внедрять электротехнологические методы воздействия на растения и семена зерновых и овощных культур с целью их стимуляции – повышения урожайности, ускорения роста и улучшения качества получаемой продукции.

Как показывает практика, семенной материал поступает с поля некондиционный, с микротравмами, с различной жизнеспособностью, зараженный болезнями. До настоящего времени с поля поступают семена, 60% которых получают микротравмы при обмолоте в процессе уборки комбайнированием. Подсчитано, что каждые 10% микротравм снижают урожайность на 10–12%. Поступающие с поля семена также заражены в большинстве своем семенной инфекцией, что в сочетании с почвенной инфекцией также приводит к недобору урожая. По различным причинам убранные семена имеют различный потенциал жизнеспособности. Для посева необходимо выбирать семена с высоким потенциалом жизнеспособности. Семена с пониженным потенциалом должны подвергаться стимулирующим воздействиям с целью повышения их посевных качеств.

Способы воздействия на семена с целью стимуляции очень многочисленны и разнообразны. Их можно разделить на две большие группы: химические и физические. Использование химических веществ для предпосевной стимуляции семян достаточно исследовано и получена высокая эффективность такого агроприема, однако это связано с необходимостью применения достаточно дорогостоящих химических препаратов с жесткими требованиями к правильности их использования.

В последние годы интенсивно проводятся исследования по использованию различных физических воздействий с целью стимуляции посевных свойств семян различных культур, основные из которых: воздействие электрических полей и разрядов, воздействие магнитных полей, воздействие лучистой энергии, аэроионизация и другие.

Анализ литературных данных показал, что ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн $\lambda=280...380$ нм является высокоэффективным средством повышения урожайности и качества семян. Положительный эффект от обработки сохраняется в течение нескольких лет.

Однако нужно отметить, что одной из причин, сдерживающих широкое внедрение в сельскохозяйственные технологии этого метода обработки, является высокая неравномерность облучения материала по глубине слоя. Этого недостатка лишен трубчатый облучатель, общий вид которого представлен на рисунке 5.21. Облучатель ПС-10 устанавливается на стандартной установке, используемой для протравливания зерна.

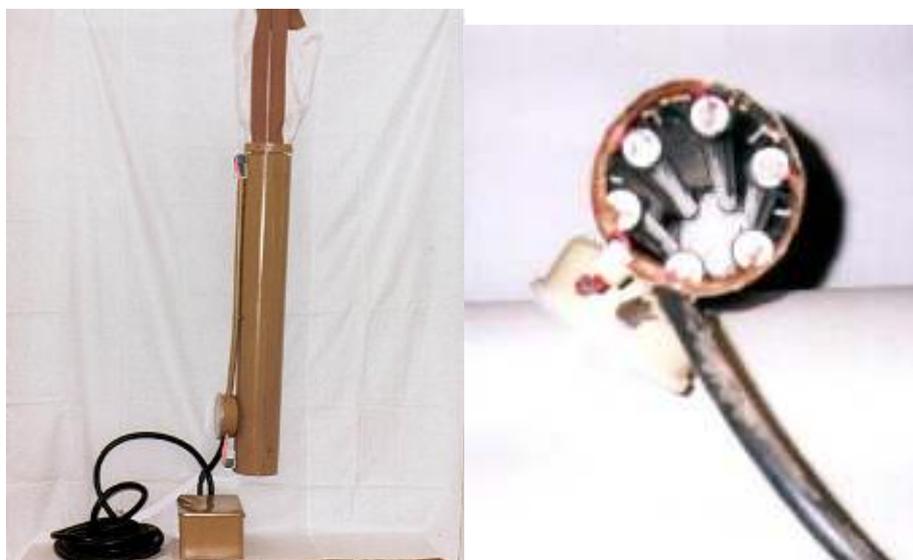


Рисунок 5.21 – Общий вид трубчатого облучателя

Устройство для предпосевной обработки семян оптическим излучением содержит цилиндрический корпус, шесть источников оптического излучения, подключенных к блоку питания.

В качестве источников излучения используются лампы ЛЭ-30. Каждый облучатель представляет собой отражатель, выполненный в форме трубы, с внутренней стороны которой через равные расстояния закреплены эритемные лампы.

Таким образом, зерно после протравителя, просыпаясь через облучатель, подвергается обработке ультрафиолетовым излучением. Такое техническое решение позволяет существенно снизить энергозатраты, так как не требуется установки дополнительных транспортеров, кроме того, используются источники излучения малой единичной мощности.

В предлагаемой конструкции трубчатого облучателя найден эффективный способ повышения равномерности облучения. Так как семена находятся в облучателе во взвешенном состоянии, поток не является сплошной массой, таким образом, достигается большая равномерность облученности семян. Этому также способствует то, что в облучателе создается вращающееся поле оптического излучения.

Принципиальной особенностью любого производства является получение наибольшей прибыли при наименьших затратах. Любой ответственный руководитель стремится снизить себестоимость производимого продукта без

снижения его качества. В такой сфере сельскохозяйственного производства, как рыбоводство, снижение себестоимости сводится к уменьшению доли вносимых комбикормов. С этой целью разрабатываются электрооптические преобразователи для подкормки рыбы. Данная технология уже имеет большую теоретическую и практическую основу, но все еще требует дополнительного изучения.

В настоящее время прудовые хозяйства пришли к выводу, что наиболее эффективным методом повышения рыбопродуктивности является увеличение плотности посадки рыб. Так, при наличии хорошей естественной кормовой базы и дополнительного кормления искусственными кормами, кратность посадки можно увеличить в 2–5 раз. Несбалансированность питательных веществ в комбикормах при длительном кормлении приводит к нарушениям развития рыб, нарушениям обмена веществ, болезням и даже гибели. Поэтому важную роль в повышении продуктивности рыбоводческих хозяйств играет естественная кормовая база. Быстрое истощение естественной кормовой базы при высокой плотности посадки рыб в пруду диктует необходимость ее регулирования за счет внесения живых кормов. Выращивание и подкормка рыб живыми кормами весьма дорогостоящий и трудоемкий процесс, требующий больших капитальных вложений. Не каждое хозяйство имеет возможность искусственно выращивать живые корма. Так как климат и окружающая среда прудовых хозяйств является благоприятными для развития различного рода насекомых, то подкормка рыб этими насекомыми позволит значительно повысить состав натуральных кормов и по возможности снизить экономические и трудовые затраты за счет снижения доли искусственных кормов.

Электрооптические преобразователи для подкормки рыбы могут существенно различаться конструктивно. Основной принцип их действия заключается в привлечении насекомых оптическим излучением для их роения либо уничтожения. Привлеченные оптическим излучением насекомые уничтожаются поражающим органом и падают на поверхность водоема, где служат кормом для рыбы.

Эффективность существующей установки с надводным расположением источника-аттрактанта (рисунок 5.22 а) снижена в связи с тем, что не все насекомые, попавшие под воздействие оптического излучения, послужат кормом для рыб, так как могут не только попадать в воду, но и приземляться на сам источник, затеняя его, тем самым дополнительно снижая эффективность. Избежать этот побочный эффект позволит погружение источника излучения в воду (рисунок 5.22 б).

Погружение источника-аттрактанта электрооптического преобразователя подкормки рыб в воду понуждает насекомых направлять траектории полета в воду, что позволит резко повысить эффективность устройства и снизить энергозатраты. Так как большинство прудовых хозяйств относятся к категории удаленных сельскохозяйственных потребителей, электроснабжение которых сильно затруднено, то существенное снижение энергопотребления облегчает создание автономного электрооптического преобразователя под-

кормки рыбы с зарядкой аккумулятора от солнечной батареи. Использование солнечных электростанций для удаленных сельскохозяйственных потребителей позволяет удешевить себестоимость электроэнергии за счет отсутствия значительных затрат на транспортировку энергии и связанными с ней потерями, а также за счет отсутствия протяженных дорогостоящих электрических сетей.



Рисунок 5.22 – Надводное (а) и подводное (б) расположение электрооптического преобразователя для подкормки рыбы

В структуре мирового урожая 49% не поражается вредителями, 16% удается сохранить химическим методом, 14% потерь приходится на потери от вредителей, 21% – на потери от болезней и сорных растений.

Чтобы удержать такое равновесие, разрабатываются новые, более эффективные химические препараты. На защиту растений человечество с 60-х годов увеличило затраты более чем в 15 раз. Однако насекомые-вредители приспосабливаются к новым препаратам, а под их воздействие все больше попадает сам человек.

В садоводстве, если прекратить защитные мероприятия, погибнет до 95% урожая. Следовательно, в садоводстве это противоречие наиболее обострено.

Единственным методом, с помощью которого можно бороться против всего комплекса вредителей в фазе имаго, способным эффективно заменить или дополнить химический, является использование электрооптических преобразователей в системе защиты растений.

Одним из наиболее распространенных в настоящее время способов защиты растений от насекомых-вредителей, из-за своего быстрого действия и относительной эффективности, является химический способ. Однако он обладает рядом крупных недостатков.

Внедрение в сельскохозяйственное производство инсектицидов привело к нарушению естественной регуляции численности насекомых-вредителей.

Разработка интегрированной системы борьбы с насекомыми-вредителями требует точной информации о численности насекомых. Получение этих сведений производится на больших площадях и нередко с геогра-

фически разобщенными популяциями. Для сбора такой информации, соответствующей требуемому качественному научно-методическому уровню, наиболее приемлемы электрооптические преобразователи.

Наиболее важным элементом электрооптических преобразователей является источник-аттрактант. Распространенными аттрактантами электрооптических преобразователей являются электрические источники оптического излучения. Это объясняется их большей эффективностью по сравнению с остальными способами привлечения.

Одним из важных параметров установок для борьбы с насекомыми-вредителями является режим излучения, который может быть непрерывным, импульсным и комбинированным. Выбор оптимального режима излучения позволяет сочетать эффективность привлечения насекомых электрооптическим преобразователем и его энергетическую экономичность.

Мобильный электрифицированный агрегат с применением поляризованного излучения АЗР-5 представлен на рисунке 5.23. На воздуховоде прикреплен импульсный источник излучения – лампа ИФК-500 с отражателем. Назначение импульсного источника излучения – возбуждение нервной системы насекомых. Для увеличения эффективности привлекающего излучения лампы ЛЭ-30 запитаны через преобразователь частоты. Частота питающего напряжения лампы – 500 Гц. Питание потребители электрической энергии навесного электрооптического преобразователя получают от бензоэлектрического агрегата АБ-1-0/230.



Рисунок 5.23 – Мобильный электрифицированный агрегат с применением поляризованного излучения

Расположение навесного электрооптического преобразователя агрегата АЗР-5 на различной высоте позволяет сосредоточить внимание на отлове практически всех наиболее опасных насекомых-вредителей.

Стандартность плодов по результатам химических обработок, проведенных в сроки, определенные с помощью электрооптических преобразователей, очень высока.

Применять электрооптические преобразователи в технологических процессах защиты продукции садоводства можно даже при получении меньшей стандартности продукции, чем при химическом способе защиты, поскольку нужно учитывать эффект, возникающий при воздействии оптического излучения на продукцию садоводства, который при определенных условиях может перекрыть или компенсировать потери от поражения вредителями продукции садоводства.

6. АЭРОЗОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В электромеханических методах основные и вспомогательные операции реализуются за счет непосредственного механического (силового) воздействия электрического и магнитного полей на обрабатываемые изделия и материалы. (В свою очередь классифицируются по виду полей, воздействующих на объект: стационарные, пульсирующие, вращающиеся, бегущие.)

В аэрозольных технологиях (разновидность электромеханического метода) энергия электрического поля используется для сообщения электрического заряда взвешенным в газовом потоке частицам и для перемещения их в заданном направлении.

Электронно-ионная технология (ЭИТ) – это область электротехнологии, в которой используют взаимодействие сильных электрических полей с электрически заряженными или заряжаемыми в них частицами твердого или жидкого вещества, придают им упорядоченное и целенаправленное движение для выполнения определенных технологических процессов (проявление силового действия). Рабочим органом в аппаратах ЭИТ являются сильные электрические поля (напряженность более 100 кВ/м).

Объекты обработки – материалы, представляющие собой совокупность отдельных частиц размером от микрометра до десятков миллиметров (пыль, порошки, суспензии, семена, волокна и т.д.). Электрические поля различают по конфигурации, наличию объемных зарядов, роду тока.

По конфигурации поля подразделяют на плоскопараллельные, плоскомеридианные и трехмерные.

По наличию объемных зарядов – электростатические однородные и с объемными зарядами, (коронные).

По роду тока – постоянного (униполярные и биполярные) и переменного тока.

В электрическом поле возможно: ориентирование частиц, упорядочение частиц, регулирование движения частиц, разделение частиц в соответствии с приобретенным зарядом, осаждение частиц в соответствии с приобретенным зарядом.

Зарядкой частиц называют сообщение им избыточного свободного электрического заряда (рисунки 6.1 и 6.2).

Основные способы зарядки частиц в электрических полях: ионная; зарядка на электроде в электростатическом поле (контактная); совмещение ионной зарядки с зарядкой на электроде (комбинированная).

В диэлектриках электроны и положительные ионы атомных ядер прочно связаны между собой внутриатомными и межмолекулярными силами и свободные электроны практически отсутствуют. Под действием внешнего электрического поля связанные заряды диэлектрика не могут перемещаться, а только смещаются относительно среднего положения, занимаемого в отсутствие поля.

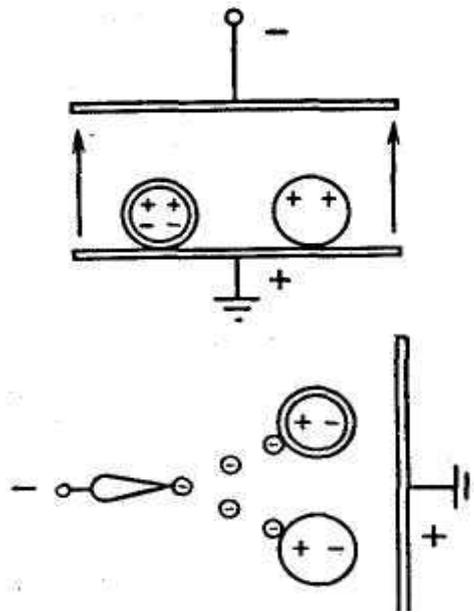


Рисунок 6.1 – Электрическая контактная зарядка частиц и электрическая зарядка частиц ионная в поле коронного разряда

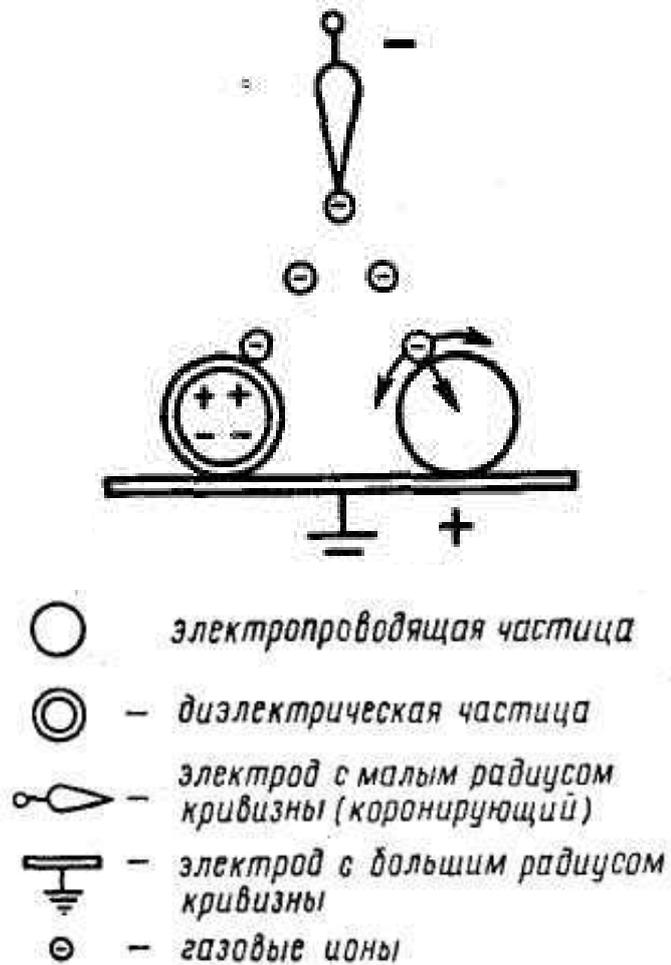


Рисунок 6.2 – Электрическая зарядка частиц комбинированная

Положительные заряды, входящие в состав атомов и молекул, смещаются в одном направлении, а отрицательные – в обратном направлении (эффект поляризации) (рисунок 6.3).

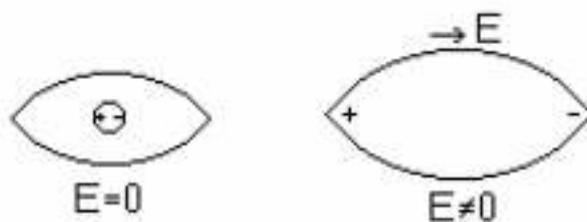


Рисунок 6.3 – Проявление эффекта поляризации

На частицу в электрическом поле действуют силы механические и электрической природы, а также соответствующие моменты.

Механические силы – это силы трения, тяжести, центробежная, сопротивления среды и др.

Силы электрической природы – определяемые зарядом частицы зеркального отображения, вызванные неоднородностью электрического поля.

На заряженную частицу в электрическом поле действуют кулоновская, зеркального отображения и пондеромоторная силы.

Кулоновской называют силу взаимодействия заряда частицы и напряженности электрического поля в той области, где эта частица расположена.

Сила зеркального отображения связана с взаимодействием внешнего заряда и индуцируемого в проводящей плоскости противоположного по знаку заряда.

Соприкосновение заряженной частицы с электродом вызывает перераспределение свободных зарядов, т.е. разряд частицы. Заряд, которым обладает частица по истечении некоторого времени после контакта с электродом, называется остаточным зарядом, значение которого зависит от электропроводности частицы и переходного сопротивления между ней и электродом. В соответствии с этим будут уменьшаться индуцированный заряд и сила зеркального отображения. Сила зеркального отображения способствует более длительному удерживанию на поверхности электрода диэлектрических частиц по сравнению с проводящими, которые быстро теряют свой заряд и отпадают от электрода.

Возникновение пондеромоторной силы связано с тем, что частица в электрическом поле поляризуется. На ее концах скапливаются разноименные поляризационные заряды $+q$ и $-q$, на которые со стороны электрического поля действуют силы, направленные в противоположные стороны (рисунок 6.4).

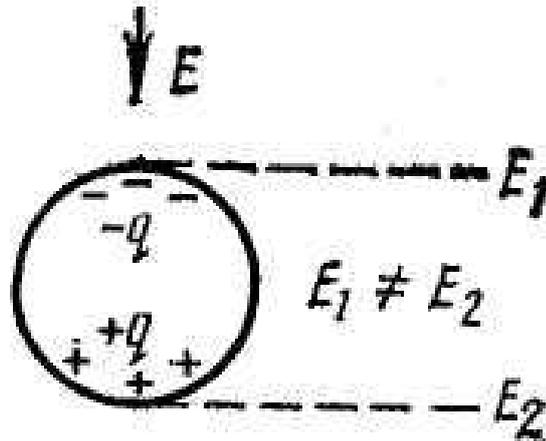
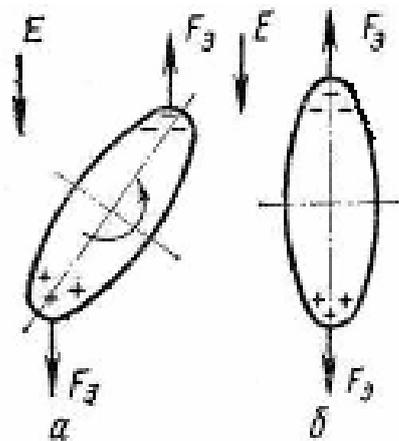


Рисунок 6.4 – Поляризованная частица в неоднородном электрическом поле в воздушной среде

В неоднородном поле указанные силы не равны одна другой, так как не равны напряженности внешнего поля E_1 и E_2 в местах расположения зарядов $-q$ и $+q$. Поэтому на частицу действует результирующая сила $F_{\text{п}}$, отличная от нуля. Если частица находится в воздушной среде, эта сила направлена в сторону возрастания напряженности поля.

Перераспределение зарядов под действием электрического поля на частице круглой формы приведет к ее притяжению с силой $F_{\text{э}}$ к тому электроду, на котором она располагается. На частице вытянутой формы возникает вращающий электрический момент $M_{\text{э}}$, стремящийся установить частицу длинной осью вдоль силовых линий электрического поля, или сориентировать. Повороту препятствует момент сопротивления от силы тяжести частицы $M_{\text{с}}$ (рисунки 6.5 и 6.6).

Если большая ось вытянутой частицы, расположенной в электрическом поле, составляет некоторый угол β с направлением вектора напряженности E , то силы, действующие со стороны поля на разноименные поляризационные заряды частицы, создают вращающий момент, Н·м.



a – частица в произвольном положении; b – частица в устойчивом положении равновесия

Рисунок 6.5 – Ориентация вытянутой частицы в электрическом поле в воздушной среде

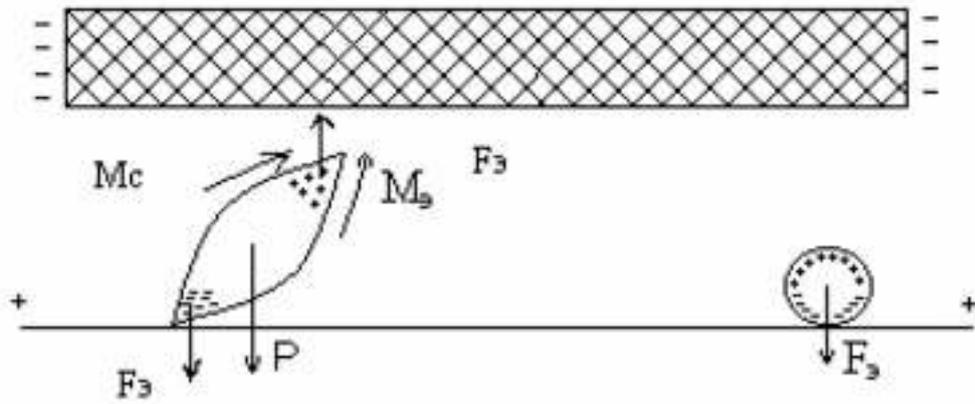
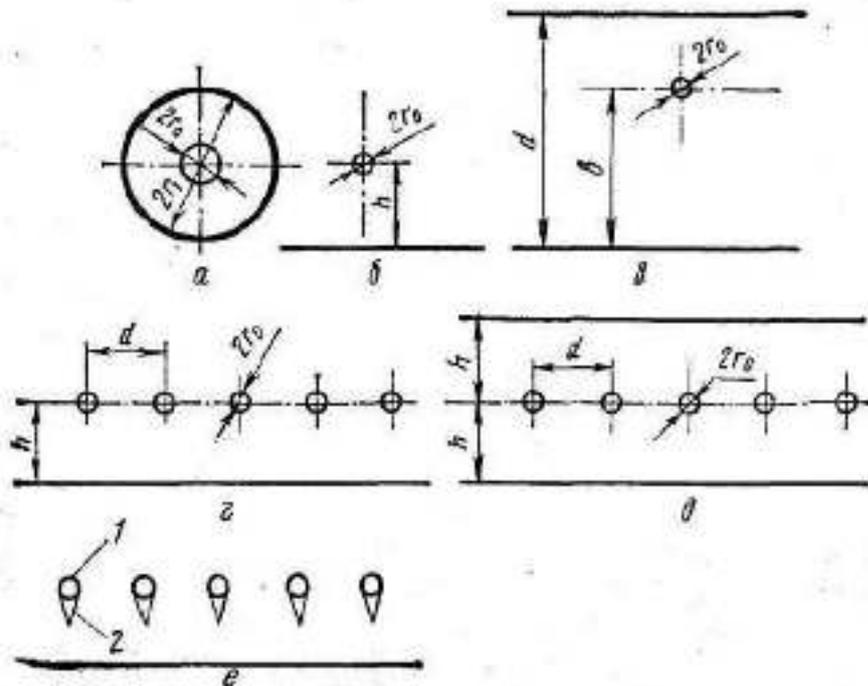


Рисунок 6.6 – Силы, действующие на вытянутые частицы в электрическом поле в воздушной среде

Разновидностью ионной зарядки является униполярный коронный разряд (рисунок 6.7).



a – провод по оси цилиндра; b – провод-плоскость; c – провод между двумя плоскостями; d – ряд проводов посередине между двумя плоскостями; e – ряд стержней с иглами-плоскостями: 1 – стержень; 2 – игла

Рисунок 6.7 – Примеры систем электродов для создания поля коронного разряда

Очистка и сортирование зерна в электрических полях происходит следующим образом. Существующий комплекс семяочистительных и сортировальных машин основан на разделении семян по механическим признакам: размеру, форме, плотности, парусности и др.

Однако ряд семян сорных и культурных растений имеют те же или очень близкие внешние признаки (семена пшеницы – овсюга и куколя, ржи –

ржаного костра и пр.) Методами ЭИТ можно различать семена и по электрическим свойствам (электрической проводимости, диэлектрической проницаемости, заряду частицы и т.д.).

Устройства, предназначенные для разделения сыпучих смесей в электрических полях, называют электрическими сепараторами.

Их классифицируют по виду электрического поля – электростатические, коронные, с переменным полем и комбинированные; по конструкции – камерные, барабанные, транспортерные, решетчатые.

Совокупность свойств, по которым разделяют семена, называют признаком делимости.

Коронный барабанный сепаратор работает следующим образом (рисунок 6.8). Семена из загрузочного бункера 3 поступают на поверхность заземленного вращающегося барабана 6 и оказываются в поле коронного разряда, где происходит их комбинированная зарядка (ионная и от барабана).

В зоне поля на частицу (семя) 4 действуют силы: тяжести Fg (ее можно разложить на нормальную Fg_1 и тангенциальную Fg_2), центробежная Fu , электрические F_k и F_3 .

Силы Fu и Fg_2 стремятся оторвать частицу от барабана, а Fg_1 , F_k и F_3 прижимают ее к нему. Напряженность поля в нижней части барабана постепенно падает до нуля, сила F_k исчезает, а Fg_1 становится отрывающей. Заряд частицы на нижней части заземленного барабана постепенно стекает и сила F_3 уменьшается.

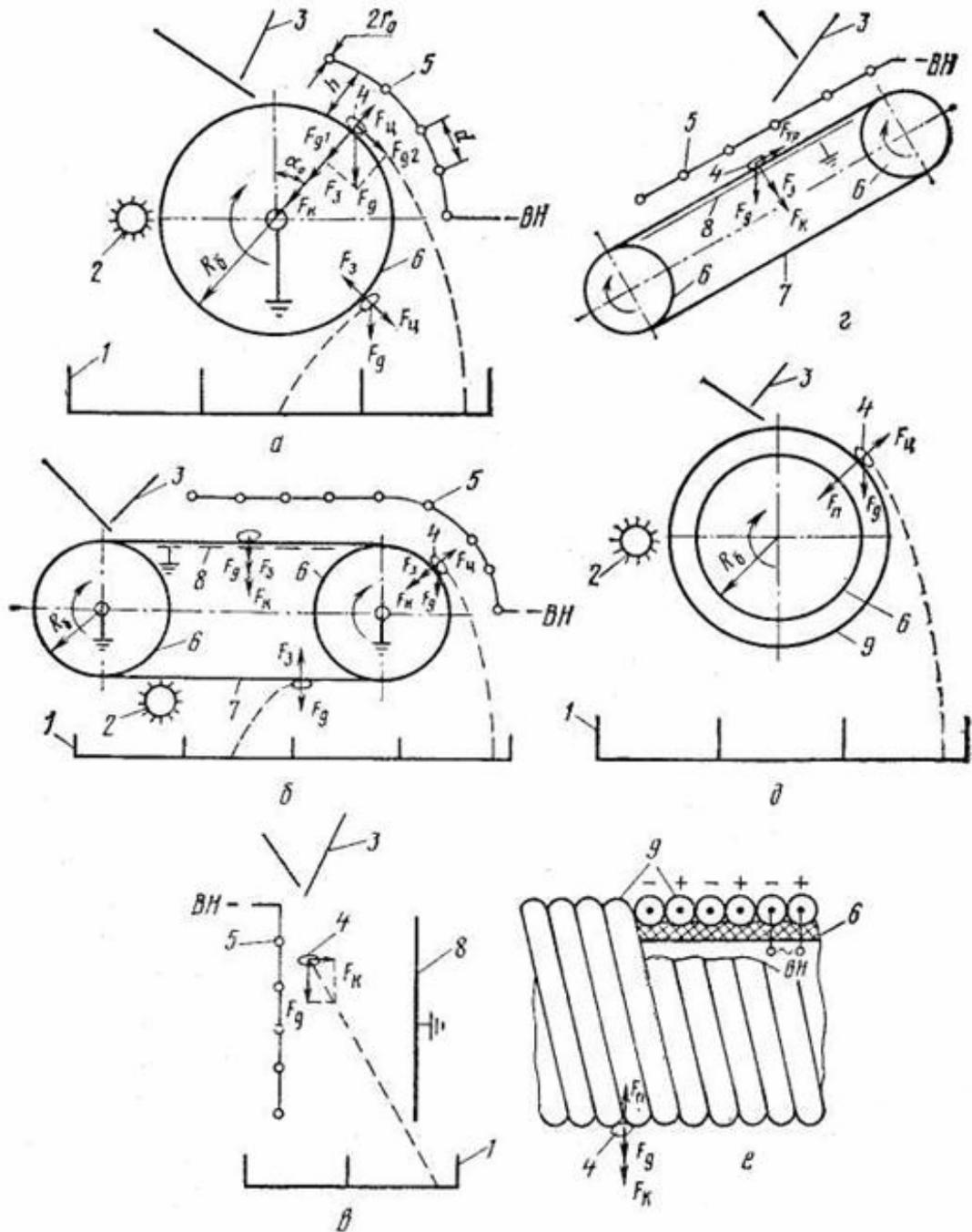
В зависимости от суммарного действия сил семена с различными свойствами отрываются в определенных точках барабана и попадают в разные секции приемного бункера 1.

Коронный барабанный сепаратор используют для окончательной очистки семян зерновых, овощных культур и трав, удаления головневых примесей, обеспыливания, сортирования, т.е. отделения травмированных, морозобойных и проросших семян с пониженной массой.

Конструктивные размеры сепаратора, мм: $R_0 = 100-200$; $r_0 = 0,15-0,25$; $h = 80-100$; $d = 75-125$. Зона поля занимает четверть окружности.

Параметры, характеризующие режим работы: напряжение 20–50 кВ, сила тока коронного разряда 0,1–1 мА; частота вращения барабана 20–80 мин⁻¹; производительность для семян зерновых (на 1 м длины барабана) 2,5–4 т/ч.

Коронный транспортерный сепаратор аналогичен барабанному и отличается лишь тем, что зоны зарядки и разрядки частиц намного длиннее. В зоне зарядки скорости частиц и транспортерной ленты становятся равными и они получают предельный заряд. В результате частицы сбивают одна другую значительно реже. Благодаря этому качество разделения семян выше, чем в коронном барабанном сепараторе. Транспортерный сепаратор используют для очистки и сортирования семян зерновых, технических культур и трав, сепарации круп, отделения проса при рушении.



а – коронный барабанный; б – коронный транспортерный; в – коронный камерный;
 г – коронный типа горка; д, е – диэлектрический барабанный; 1 – приемный бункер;
 2 – щетка; 3 – загрузочный бункер; 4 – семя; 5 – коронирующие электроды; 6 – барабан;
 7 – лента транспортера; 8 – заземленная металлическая плоскость (некоронирующий
 электрод); 9 – бифилярная обмотка; ВН – высокое напряжение

Рисунок 6.8 – Схемы некоторых электросепараторов

Коронный камерный сепаратор имеет загрузочный бункер 3, на выходе из которого семена получают заряд, падают вниз, испытывая силу тяжести F_g , и одновременно смещаются по горизонтали под действием силы электрического поля F_k . В зависимости от соотношения этих сил семена попадают в различные секции приемного бункера 1.

В результате действия сил тяжести и электрических сил более крупные частицы не достигают заземленного электрода и падают вниз, а более мелкие изменяют траекторию движения.

Коронный сепаратор типа "горка" представляет собой замкнутое наклонное полотно, на которое подают семенную смесь для очистки от примесей, отличающихся формой и состоянием поверхности (например, для очистки семян сахарной свеклы от стеблей и листьев) (рисунок 6.9). Основным недостатком таких устройств – низкая производительность. Чтобы повысить ее, под рабочей ветвью полотна установлен контактирующий с ней заземленный металлический лист (некоронирующий электрод) 8, а над полотном параллельно ему размещены коронирующие электроды 5. Так как семена получают заряд, на них действуют дополнительные прижимающие силы F_K и F_3 , что позволяет увеличить угол наклона полотна, скорость его движения и тем самым повысить производительность на 30–50%.

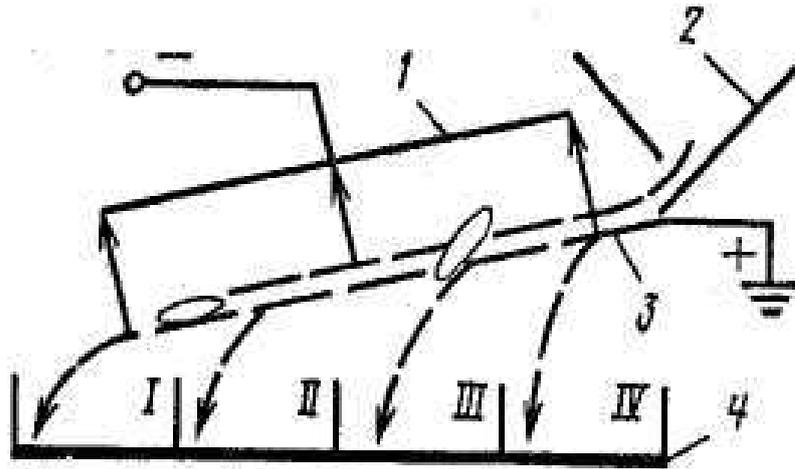
Диэлектрические сепараторы имеют принцип действия, основанный на проявлении пондеромоторных сил вследствие поляризации частиц в неоднородном электрическом поле.

В диэлектрических сепараторах на поверхности барабана 6 уложена бифилярная обмотка 9. Переменное напряжение до 5–10 кВ промышленной частоты подается на два входных конца обмотки, а два других остаются разомкнутыми (рисунок 6.8). В такой обмотке соседние провода представляют собой разноименно заряженные и изолированные один от другого электроды, которые создают неоднородное электрическое поле, действующее на семя 4 с силой F_{II} . Угол отрыва семян от вращающегося барабана определяется соотношением сил F_{II} , F_g и $F_{ц}$.

При сортировании семян овощных культур сепаратор работает с подачей 70–230 кг/ч (на 1 м длины барабана); потребляемая мощность 1 кВА.

В электростатической решетчатой зерноочистительной машине семена, высыпаясь из бункера 2, перемещаются по наклонному встряхиваемому решету 3. Последнее соединено с положительным полюсом источника высокого напряжения и заземлено (рисунок 6.9). Над решетом расположен плоский электрод 1, соединенный с отрицательным полюсом источника. При подаче напряжения между решетом и электродом создается однородное электростатическое поле напряженностью около 2 кВ/см, в которое поступают движущиеся по решету семена. Под действием поля связанные заряды в разделяемых семенах смещаются в сторону электрода, имеющего заряд противоположного знака. Это приводит к возникновению вращающего момента, стремящегося расположить частицу длинной осью вдоль силовых линий поля. Зерна, занявшие вертикальное положение, легче просеиваются сквозь отверстия решета, что увеличивает производительность машины, на которой можно сортировать семена с разными диэлектрической проницаемостью и длиной.

Электроаэродинамические сепараторы характеризуются высоким качеством обработки из-за целенаправленной ориентации семян электрическим полем в вертикальном воздушном потоке.



I, II, III, IV – фракции; 1 – плоский электрод; 2 – бункер; 3 – решет; 4 – классификатор
Рисунок 6.9 – Решетчатая электростатическая зерноочистительная машина

Для повышения эффективности очистки семян увеличенной засоренности применяют поточную линию, состоящую из двух-трех электрочистительных машин разных типов.

На электрических сепараторах, кроме сортирования и очистки семян, можно проводить их предпосевную обработку. В результате урожайность повышается на 10–15%, а в некоторых случаях – до 25%.

Под действием различных физических факторов (радиоактивного излучения, космических лучей, грозовых разрядов и др.) непрерывно происходит ионизация воздуха. В зависимости от подвижности (k) и размера ионы делят на:

- легкие ($k > 0,1 \dots 0,5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$);
- средние;
- тяжелые ($k < 0,1 \dots 0,5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$);
- ионы Ланжевена;
- ультратяжелые.

По заряду аэроионы могут быть положительные и отрицательные.

Легким ионом называют ионизированную молекулу, окруженную группой нейтральных молекул водяного пара.

Тяжелый ион представляет собой аэрозольную частицу (пылинку, капельку влаги, микробное тело и т.п.), несущую электрический заряд.

При естественном уровне ионизации в 1 см^3 воздуха вне помещений насчитывают 700–1000 легких отрицательных и несколько тысяч тяжелых аэроионов. В помещениях, особенно при содержании животных и птицы, ионный состав может существенно изменяться по сравнению с естественными условиями. При длительном пребывании животных и птицы в воздухе с искаженным ионным составом снижается их сопротивляемость к заболеваниям и уменьшается продуктивность. Это объясняется следующим. Живые организмы выдыхают большое количество тяжелых ионов, поэтому концентрация последних внутри обитаемого помещения бывает обычно намного выше, чем снаружи. Легкие ионы наружного воздуха частично осаждаются в

элементах приточной вентиляционной системы (калорифере, вентиляторе, воздуховодах и пр.) и теряются внутри помещения на образование тяжелых ионов, а также за счет рекомбинации и осаждения на внутренних поверхностях помещения и вследствие вдыхания их обитателями помещения. В результате концентрация легких ионов внутри помещения снижается до некоторого несократимого минимума, обусловленного действием радиоактивного распада строительных материалов (штукатурки, бетона, керамзита и т.п.). Ослабить или даже полностью исключить эти нежелательные явления можно, искусственно насыщая воздух помещения легкими отрицательными ионами.

Положительное влияние аэроионизации (АИ) воздуха (насыщения его легкими отрицательными ионами) на живые организмы проявляется через непосредственное (биологическое) воздействие и комплекс косвенных (гигиенических) факторов, связанных с очисткой воздуха от пыли и микроорганизмов.

Для искусственной ионизации воздуха необходимы специальные устройства, называемые аэроионизаторами. Аэроионы из нейтральных молекул воздуха можно получить диспергированием жидкостей и твердых тел – баллоионизацией; электризацией трением – трибоионизацией; с помощью химических реакций – химионизацией; нагреванием до высоких температур – термоионизацией. Также: облучением ультрафиолетовыми, рентгеновскими и гамма-лучами; потоком ионизирующих частиц радиоактивных излучений и искусственно получаемыми потоками, в частности высокоэнергетических электронов и ионов; термоэлектронной и фотоэлектронной эмиссией; в результате электрических разрядов в воздухе.

Воздействие аэроионов на биологические объекты зависит от концентрации ионов, режима работы устройства в течение суток, длительности циклов и пауз между ними.

Кроме благоприятного физиологического действия, искусственная аэроионизация воздуха животноводческих и птицеводческих помещений снижает содержание в них пыли и микроорганизмов. В результате уменьшаются заболеваемость и падеж животных и птицы, а также повышается их продуктивность, особенно в комплексе с другими мероприятиями по улучшению микроклимата.

В аэроионизаторы входят блок питания и разрядное устройство. В качестве разрядного устройства применяют системы с коронирующим электродом в виде листа, на котором закреплены иглы («люстра Чижевского»). В разрядных промежутках, используемых для искусственной аэроионизации воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях, применяют в качестве коронирующих игольчатые электроды или проволоку малого диаметра, на которые подается отрицательный потенциал 10–80 кВ от высоковольтного источника питания (рисунок 6.10). Вторым электродом служат ограждения помещений и главным образом пол, имеющий гальваническую связь через землю с положительным полюсом источника питания.

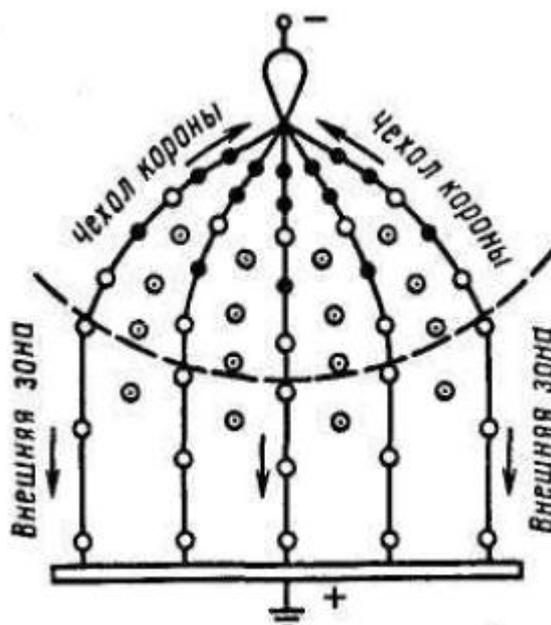


Рисунок 6.10 – Схема работы электрического аэроионизатора

Отрицательные ионы и электроны, образовавшиеся в коронирующем слое, двигаясь по силовым линиям электрического поля, создают поток заряженных частиц во внешней зоне коронного разряда. При этом свободные электроны присоединяются к нейтральным газовым молекулам, в первую очередь кислорода, образуя новые отрицательные аэроионы, которые также направляются к положительному заземленному электроду.

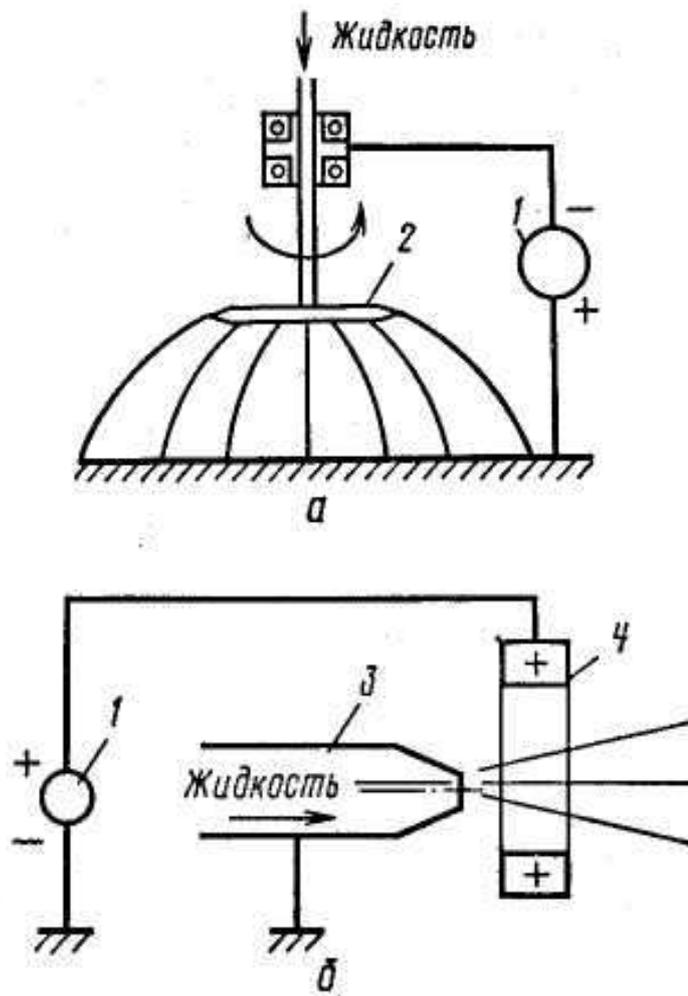
Содержание отрицательных аэроионов в воздухе производственных и общественных помещений:

- необходимый минимум – 600 ионов/куб. см;
- оптимальный уровень – 3000–5000 ионов/куб.см;
- воздух городских квартир – 50–100 ионов/куб. см;
- воздух городских улиц – 100–500 ионов/куб. см;
- лесной и морской воздух – 1000–5000 ионов/куб. см;
- воздух горных курортов – 5000–10000 ионов/куб. см;
- воздух водопада – 10000 – 50000 ионов/куб. см;
- воздух после грозы – 50000 – 100000 ионов/куб. см;
- ионизатор "Анион" (Анион-40Т) – 3000–6000 ионов/куб. см;
- ионизатор "Мальм-Аэрон" – 10000 – 150000 ионов/куб. см;
- ионизатор "ИОН-1" – не менее 15000 ед.зар./кв. см.

Для контроля концентрации аэроионов используют счетчики САИ-ТГУ-70, Т-6914, АСИ-1 и др. аспирационного типа. Воздух прогоняют вентилятором через конденсатор, к обкладкам которого приложено постоянное напряжение. Ионы притягиваются к собирающей обкладке, имеющей потенциал, противоположный заряду ионов. Сила тока в ее цепи пропорциональна концентрации ионов.

При высоком напряжении за счет «тихого» электрического разряда в воздухе образуется озон O_3 , имеющий характерный запах. Для получения озона используют коронный разряд и УФ-излучение. Озон обладает высокой окислительной способностью и позволяет вести очистку и дезодорацию воздуха и воды от загрязнений; бороться с бытовыми насекомыми и грызунами; используется для уничтожения паров ртути, дыма; предупреждения порчи, гниения, образования плесени при хранении продуктов и т.п.

Аэрозольные системы состоят из твердых или жидких частиц размером примерно от 1 нм до долей миллиметра, взвешенных в газообразной среде. При переводе веществ и материалов в аэрозольное состояние площадь их поверхности в расчете на единицу массы значительно увеличивается. Поэтому аэрозоли обладают высокой физико-химической активностью (рисунок 6.11).



1 – источник постоянного напряжения; 2 – головка распылителя; 3 – распылитель;
4 – индуктирующий электрод

Рисунок 6.11 – Электрическая зарядка аэрозолей: контактная (а)
и электростатической индукцией (б)

Для электроаэрозольной обработки предназначены аэрозольные генераторы, состоящие из распылителя с зарядным устройством и источника высокого напряжения. В таких генераторах применяют в основном три способа

зарядки аэрозольных частиц: ионную, зарядку на электроде в электрическом поле (контактная), индукционную.

Аэрозольную технологию применяют в сельскохозяйственном производстве при химической защите растений, протравливании семян, распылении лекарственных препаратов, очистке воздуха и дезинфекции в животноводческих и птицеводческих помещениях.

Использование для этих целей электрически заряженных аэрозолей позволяет существенно повысить эффективность процессов за счет увеличения количества аэрозолей, осаждающихся на технологических объектах или в устройствах для очистки воздуха.

Для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур широко применяется распыление химикатов над полем с целью нанесения на поверхность обрабатываемых объектов слоя химиката толщиной 1–10 мкм.

Для снижения потерь химикатов распыляемым аэрозолям необходимо сообщить электрический заряд. В этом случае движение заряженных частиц к обрабатываемым поверхностям будет происходить по силовым линиям электрического поля. Электрическое поле образуется в пространстве между одноименно заряженными частицами струй аэрозолей и наведенными зарядами противоположного знака на обрабатываемых поверхностях, обращенных к заряженным частицам. При использовании заряженных аэрозолей уменьшается снос ядохимикатов ветром, улучшается равномерность обработки за счет осаждения аэрозолей малого размера на верхней и нижней сторонах листьев. Потери дорогостоящих ядохимикатов составляют 10–15%, в то время, как при обычном распылении – 80–85%.

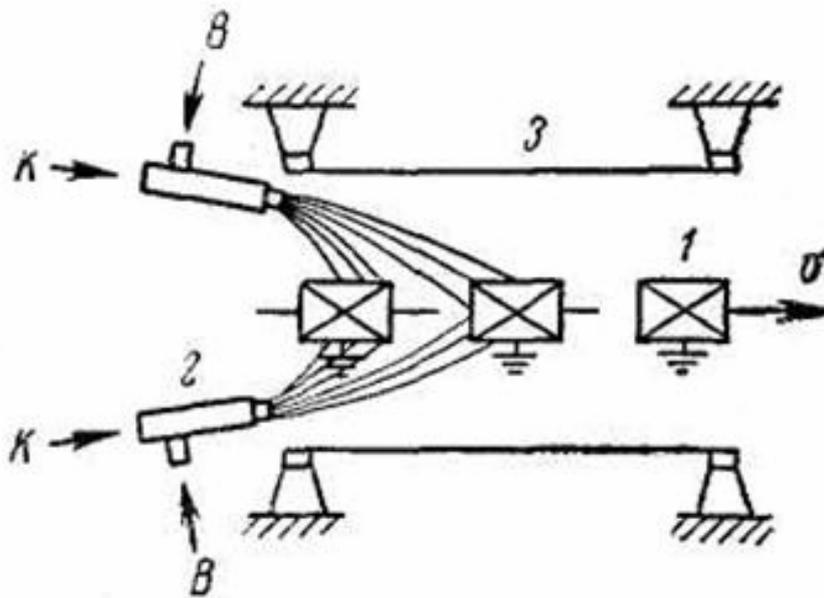
Ингаляционный метод – наиболее эффективный и наименее трудоемкий способ распыления лекарственных препаратов. Лекарственные препараты при этом вводятся непосредственно в дыхательные пути (в легкие) в виде аэрозолей. Действие лекарственных препаратов в данном случае проявляется в 20 раз быстрее, а доза в 4 раза меньше, чем при их введении в желудок, расход биопрепаратов при этом снижается в 1,5–2 раза. Аэрозольные вещества, находящиеся в высокодисперсном состоянии, быстрее всасываются в кровь и разносятся по телу. Ингаляционный метод не вызывает стрессовых явлений; кроме того, вещество, введенное в организм в виде аэрозолей, выделяется из него медленнее, чем при введении иным путем. Кроме того отрицательно заряженные аэрозоли положительно влияют на организм птицы: увеличивается яйценоскость, уменьшается падеж.

Минимальная иммунизирующая доза при вакцинации цыплят отрицательно заряженными аэрозолями в 1,8–1,9 раза меньше, чем при вакцинации незаряженными аэрозолями, что ведет к экономии дорогостоящих лекарственных препаратов.

Наряду с лечебным действием не менее важное значение аэрозоль имеет и для дезинфекции воздуха в помещении.

В установке для окрашивания изделий в электрическом поле электроды выполняются в виде сетки из нихромовой проволоки диаметром 0,3 мм с рас-

стоянием между параллельными нитями 200 мм (рисунок 6.12). На электроды подается отрицательный полюс от источника постоянного тока напряжением 100–130 кВ. К конвейеру подвешиваются окрашиваемые детали. Конвейер и детали заземлены. Расстояние между электродными сетками и окрашиваемыми деталями должно быть не менее 25 см. При напряжении на электродах 100 кВ это расстояние берут равным 28–30 см. Расстояние от стенок камеры до коронирующих электродов берут не менее 60 см. Заряженные частицы краски под действием сил электрического поля направляются к окрашиваемой детали и почти без потерь осаждаются на ней в виде тонкого равномерного слоя.



1 – окрашиваемые детали; 2 – распылитель; 3 – коронирующие электроды (проволока);
К – краска; В – сжатый воздух

Рисунок 6.12 – Принципиальная схема установки для окрашивания изделий в электрическом поле

Полнота осаждения распыленной краски при окрашивании в электрическом поле характеризуется коэффициентом осаждения M , который представляет собой отношение массы краски a , осевшей на окрашиваемые изделия, к массе краски A , распыленной из пульверизатора.

Очистка и обеззараживание воздуха – это технологические процессы, в значительной степени определяющие эффективность современных и перспективных систем микроклимата животноводческих помещений как с точки зрения создания оптимальных параметров воздушной среды для животных и птицы, так и за счет снижения затрат энергии на обеспечение микроклимата.

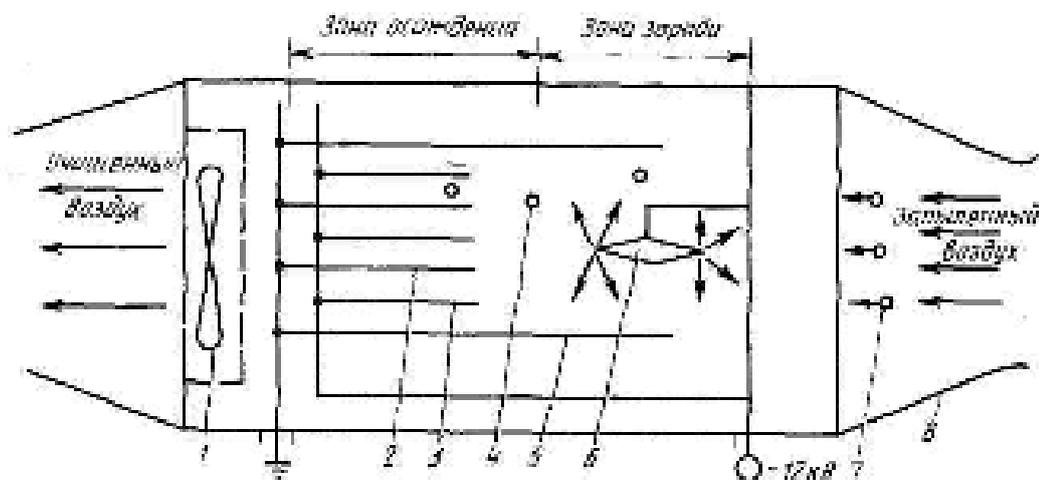
Для очистки воздуха применяются фильтры. По сравнению с другими фильтрами электрические дают более высокую степень очистки (до 99%) больших объемов газа, улавливают частицы в широком диапазоне (от сотен до долей микрона), имеют низкое аэродинамическое сопротивление, с их помощью возможна комплексная обработка воздуха (очистка, ионизация и создание регулируемых концентраций озона).

Конструкцию электрофильтра конкретного назначения в основном определяют технологические условия его работы: состав и свойства очищаемых газов и содержащихся в газах взвешенных частиц, температура, давление и влажность очищаемых газов, требуемая степень очистки и т.д.

Электрофильтры подразделяют на две группы:

– однозонные, в которых зарядка и осаждение частиц происходят в одной конструктивной зоне, где расположены коронирующая и осадительная системы;

– двухзонные, в которых зарядка и осаждение частиц происходят в двух конструктивных зонах: в первой располагается коронирующая система – ионизатор, во второй – осадительная система – осадитель (рисунок 6.13).



1 – вентилятор; 2 и 3 – пластины заземленная и с потенциалом; 4 и 7 – заряженная и нейтральная частицы пыли; 5 – заземленная плоскость; 6 – коронирующие электроды; 8 – входной патрубок

Рисунок 6.13 – Схема двухзонного электрофильтра

По конструкции осадительного электрода электрофильтры подразделяют на трубчатые и пластинчатые.

Трубчатый электрофильтр изготавливают из стальных труб, называемых осадительными электродами. По оси труб натянута проволока – коронирующий электрод.

Пластинчатый электрофильтр собирают из ряда параллельных металлических пластин или частого ряда проволок, являющихся осадительными электродами. Между рядами осадительных электродов подвешивают проволочные коронирующие электроды. В одном корпусе пластинчатого электрофильтра может быть размещено несколько независимых, последовательно расположенных систем электродов (электрических полей). По числу полей такие электрофильтры называются двух-, трех-, четырех- и многопольными.

Конструкции коронирующих электродов подразделяют на две группы. К первой группе относятся электроды, которые не имеют фиксированных разрядных точек и при отрицательной короне точки разряда распределяются по поверхности электрода в зависимости от состояния этой поверхности и от ре-

жима работы электрофильтра. Ко второй группе относятся электроды с фиксированными точками разряда по их длине. В качестве таких точек на поверхности электрода расположены острия или шипы. Типичным коронирующим электродом с фиксированными точками является колючая проволока.

В двухзонных фильтрах напряжение питания электродов – 6–15 кВ, потребляемая мощность – 10–30 Вт при подаче воздуха 1000 м³/ч, скорость воздуха в сечении фильтра 2 м/с, аэродинамическое сопротивление фильтра 10–50 Па, степень очистки от пыли 90–95%, от микроорганизмов 80–85%.

Наиболее перспективны установки, в которых совмещены очистка и ионизация воздуха.

Магнитное поле (МП) – одна из компонент электромагнитного, оказывающая определенное физико-химическое и биологическое воздействие на объекты.

Широко применяют физико-химическое воздействие магнитного поля на объекты для очистки семян и кормов, магнитной обработки воды и магнитоимпульсной обработки металлов.

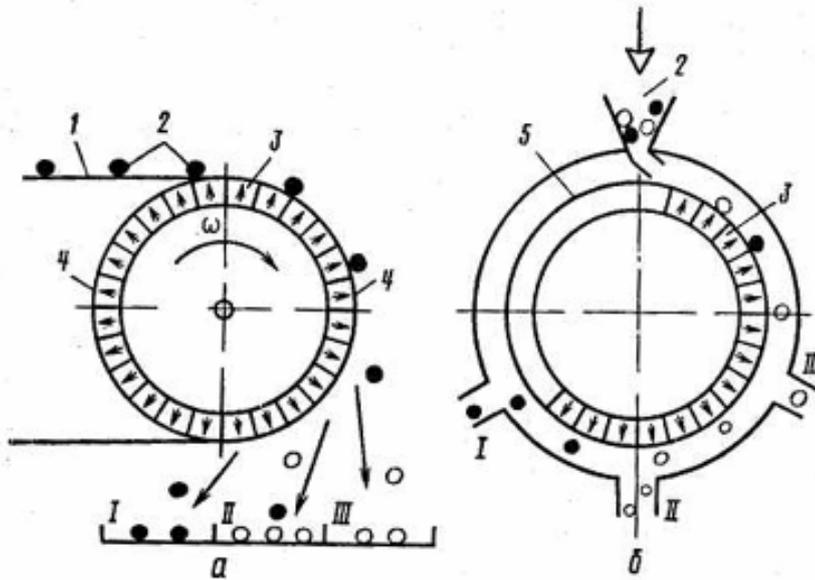
В сельскохозяйственном производстве магнитную сепарацию применяют для очистки семян культурных растений от семян сорняков и для очистки кормов от ферромагнитных примесей. Применяется магнитная обработка семян с целью улучшения посевных качеств. Применяется магнитная обработка воды с целью уменьшения накипеобразования на стенках котлов и труб.

Постоянные магниты изготавливают путем предварительного намагничивания магнитно-твердых материалов, т.е. таких материалов, которые после устранения намагничивающего поля способны сохранять большую магнитную индукцию. Широко применяют постоянные магниты, выполненные из ферритобариевых сплавов, сплавов магнито и ални.

Постоянные магниты по сравнению с электромагнитами дешевле и проще по конструкции, не требуют электропроводки и источников электропитания, безопасны в пожарном отношении. Основные недостатки постоянных магнитов заключаются в затруднительности регулирования магнитной индукции и ослаблении магнитного поля с течением времени. Последнее обстоятельство вынуждает периодически намагничивать постоянные магниты. Разновидностью постоянных магнитов являются магнитофоры.

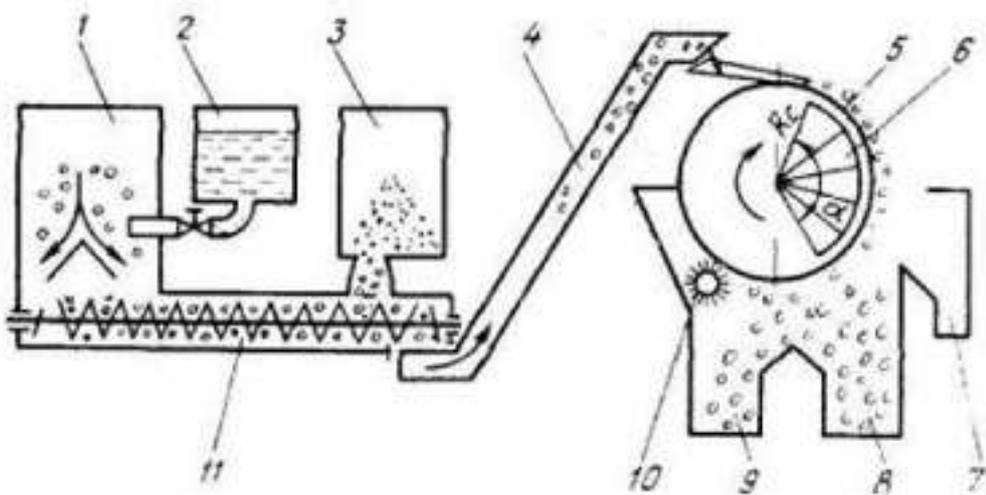
Магнитная очистка семян происходит следующим образом. Принцип разделения заключается в том, что семена сорных растений, имеющие шероховатую поверхность, в результате предварительной обработки смесей покрываются слоем магнитного порошка (окиси железа) и притягиваются к постоянному или электромагниту. Семена культурных растений имеют гладкую поверхность, не удерживают порошок, и с ними магнитное поле не взаимодействует. В магнитных сепараторах поле создается системой электромагнитов, питаемых постоянным или пульсирующим током. Электромагнитные устройства, используемые для очистки, разделяются на шкивные, барабанные и подвесные.

Исходную зерновую смесь подают в бункер 1, где увлажняют водой или маслом, чтобы лучше прилипал порошок. Затем из бункера 3 подают магнитный порошок (окись железа) и тщательно перемешивают с зерном в транспортере-смесителе 11. Приготовленную смесь по транспортеру 4 направляют на вращающийся барабан 5, выполненный из немагнитного материала (алюминия, латуни и т.д.). Внутри барабана установлен неподвижный магнит или электромагнитный сектор (рисунки 6.14 и 6.15). Семена сорняков, покрытые порошком, и его излишки притягиваются к поверхности барабана и удерживаются при его повороте (до конца сектора) или сбрасываются чистиком 10. Семена культурных растений, не покрытые порошком, свободно падают с барабана, не достигнув его нижней части.



I, II, III – фракции; 1 – транспортерная лента; 2 – разделяемый материал; 3 – система электромагнитов; 4 – ведущий шкив; 5 – вращающийся барабан

Рисунок 6.14 – Шкивной (а) и барабанный (б) электромагнитные сепараторы

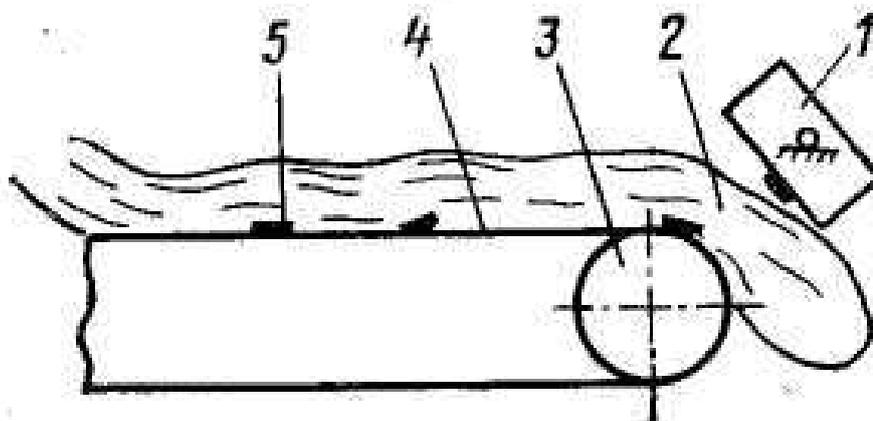


1, 2 и 3 – бункера для зерновой смеси, воды (или масла) и магнитного порошка; 4 – подающий транспортер; 5 – барабан; 6 – магнитный сектор; 7 – кассета для избыточной воды и крупных предметов; 8 – кассета для очищенных семян; 9 – кассета для семян сорных растений и магнитного порошка; 10 – чистик; 11 – транспортер-смеситель

Рисунок 6.15 – Установка магнитной очистки семян

Недостаток устройств для разделения семян – потребность в специальном магнитном порошке.

Установки магнитной очистки кормов очень важны при кормоприготовлении, так как металлические включения вызывают поломки измельчающих машин, а также, проникая в организм животных, приводят к травмам, снижению продуктивности и гибели (рисунок 6.16).



1 – электромагнит подвешенного типа; 2 – кормовая масса; 3 – немагнитный барабан;
4 – транспортерная лента конвейера; 5 – металлические включения

Рисунок 6.16 – Электромагнитный сепаратор грубых кормов

Зная пондеромоторную магнитную силу, по аналогии с расчетом электромагнита семяочистительной машины определяют параметры обмотки и напряжение питания.

Установки магнитной обработки воды работают следующим образом. При работе водогрейных и паровых котлов, кормозапарников, электрокотельных и других электрических установок на поверхности нагрева образуется накипь. При ее толщине 1,5 мм расход топлива увеличивается на 8–11%, мощность двигателей внутреннего сгорания снижается на 6%, расход смазочных материалов возрастает на 30%.

Существуют различные методы обработки воды с целью уменьшения образования накипи, которые условно можно разделить на химические и физические.

Физические методы (магнитный, ультразвуковой) дают значительный эффект при больших капиталовложениях и эксплуатационных расходах.

Магнитная обработка воды основана на остаточных изменениях в ее структуре под воздействием магнитного поля. Соли, содержащиеся в воде, в основном теряют способность кристаллизоваться на рабочей поверхности аппарата и выпадают в виде взвешенных частиц (шлама), легкоуносимых потоком воды и улавливаемых шламоотделителем. Если накипь все же образуется, то при более рыхлой структуре и значительно меньшей толщине ее легко удалить (рисунок 6.17). Эффективность магнитной обработки воды зависит от напряженности магнитного поля, числа магнитных зон, пересекаемых потоком, скорости движения воды в рабочем зазоре и ее состава.

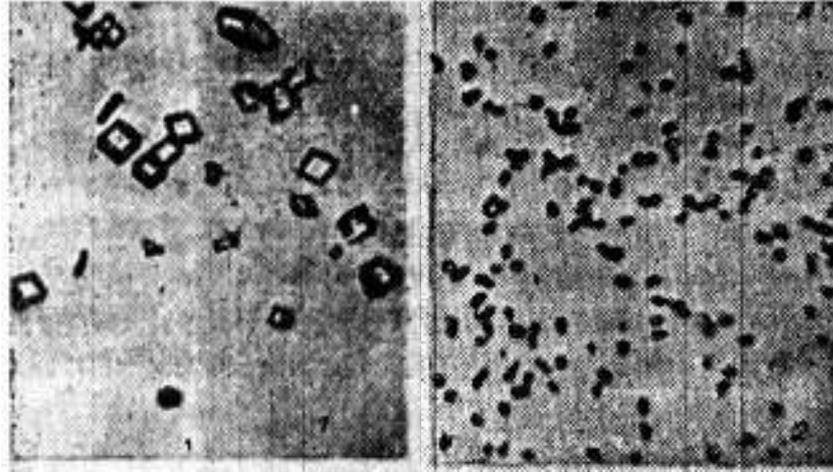


Рисунок 6.17 – Кристаллы соли в воде до обработки в магнитном поле (слева) и после обработки в магнитном поле (справа)

Области возможного применения магнитной обработки воды в сельском хозяйстве:

- магнитная обработка воды для орошения повышает урожай на 7–50% в зависимости от культуры;
- магнитная обработка семян повышает урожай на 13–30% в зависимости от культуры; рассоление почв (расход промывочной воды сокращается на 30–50%, вымывание солей увеличивается в 1,2–2 раза);
- лечение животных и людей (лечение маститов у коров, снижение воспалительных процессов, борьба с бесплодием, изменение генетического кода клеток).

Литература

1. Басов, А.М. Электротехнология / А.М. Басов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 269 с.
2. Первухин, М.В. Электротехнологические установки и системы: курс лекций для бакалавров по направлению электроэнергетика и электротехника / М.В. Первухин. – Красноярск: Изд-во ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет, 2015. – 76 с.
3. Электротехнология. Т. 1: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. М.Я. Ашмарин, А.А. Лысаков. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005.
4. Электротехнология. Т.2: Электронагрев: методические указания / сост. М.Я. Ашмарин, А.А. Лысаков. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2007.
5. Газалов, В.С. Светотехника и электротехнология. Часть 1. Светотехника: учебное пособие / В.С. Газалов. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. – 347 с.
6. Газалов, В.С. Устройство для подкормки рыбы личинками комаров / В.С. Газалов, Е.А. Шабаев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 87(03), март. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/46.pdf>. – С. 89–100.
7. Газалов, В.С. Солнечные электростанции для удаленных сельскохозяйственных потребителей / В.С. Газалов, А.Ю. Евдокимов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 87(03), март. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/45.pdf>. – С. 206–215.
8. Газалов, В.С. Компоновка светодиодных излучателей установок защиты растений с учетом аддитивности компонентов цвета // СтГАУ, 2013.
9. Газалов, В.С. Электрооптический преобразователь с газоразрядными источниками-аттрактантами / В.С. Газалов, А.Д. Бабаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 10. – С. 30–31.
10. Газалов, В.С. Регулирование режимов работы объемного электрооптического преобразователя для предпосевной обработки семян / В.С. Газалов, Н.Е. Пономарева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 8.
11. Газалов, В.С. Расчет излучателя светодиодного преобразователя для подкормки рыбы живым кормом / В.С. Газалов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 3. – С. 15–16.
12. Ксёنز, Н.В. Расчёт водородного показателя (РН) при электродиализе воды / Н.В. Ксёنز, Е.А. Кияшко, И.Г. Сидорцов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Физика. – 2012. – № 5. – С. 81–82.
13. Энергосбережение в процессе электроактивации воды / Н.В. Ксенз, Е.А. Кияшко, И.Г. Сидорцов, Е.Н. Овчаренко, О.В. Сидорцова // Актуальные

проблемы энергетики АПК: материалы IV Международной научно-практической конференции, апрель 2013, г. Саратов, 2013. – С. 159–164.

14. Ксенз, Н.В. Электроактивированная вода в технологиях сельскохозяйственного производства / Н.В. Ксенз, Б.П. Чеба, И.Г. Сидорцов // Международная научно-практическая конференция: сб. трудов. «Инновационные энергосберегающие технологии», 8–9 ноября 2012 г., г. Москва, 2012. – С. 114–116.

Газалов Владимир Сергеевич
доктор техн. наук, профессор,

Беленов Виталий Николаевич
канд. техн. наук, доцент

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

*Учебное пособие
для факультета СПО*

Редактор Лучинкина Н.П.
Верстка Кудрявцева Г.С.
Дизайн обложки Вдовикина С.П.

Подписано в печать 04.03.2016 г.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 7,56. Тираж 50 экз. Заказ № 119.

РИО Азово-Черноморского инженерного института – филиала
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.