

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

КУРС ЛЕКЦИЙ

по одноименной дисциплине

для студентов специальности 1-43 01 03

«Электроснабжение», специализации 1-43 01 03 05

**«Электроснабжение предприятий агропромышленного
комплекса» дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2012

УДК 631.371:621.311(075.8)
ББК 40.71я73
А53

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 28.06.2011 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный
электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

Алферова, Т. В.

А53 Электротехнологические установки сельскохозяйственного производства : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», специализации 1-43 01 03 05 «Электроснабжение предприятий агропромышленного комплекса» дневной формы обучения / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 118 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-050-8.

Содержатся основы теории и проектирования электротермических установок, рассматривается расчет и выбор энергоэффективного электротермического оборудования сельскохозяйственного назначения.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», специализации 1-43 01 03 05 «Электроснабжение предприятий агропромышленного комплекса» дневной формы обучения.

УДК 631.371:621.311 (075.8)
ББК 40.71я73

ISBN 978-985-535-050-8

© Алферова Т. В., Пухальская О. Ю., 2012
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Под электротехнологией понимают область науки и техники, охватывающую изучение и использование технологических процессов, в которых электрическая энергия участвует непосредственно, преобразуясь в рабочей зоне в тепловую, электромагнитную, химическую, механическую и другие виды энергии. В зависимости от вида преобразованной энергии различают процессы электротермии, электрохимии и более новые методы – электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов, а также процессы электронно-ионной технологии (ЭИТ), протекающие в различных средах и специфически воздействующие на продукт обработки. В сельском хозяйстве предметом обработки могут быть почва, продукты полеводства, садоводства, животноводства, жидко- и пастообразные среды.

Принципиальное отличие ЭИТ, применяемой в сельском хозяйстве, заключается в специфике обрабатываемого материала и воздействии на его биологическую структуру сильных электрических полей. При этом на новой основе осуществляются процессы, которые могут быть направлены на биологическое стимулирование (предпосевная и предпосадочная обработка) или угнетение, торможение жизнедеятельности в самом сельскохозяйственном материале.

В курсе «Электротехнологические установки сельскохозяйственного производства» приводятся основы теории и проектирования электротермических установок, рассматривается расчет и выбор энергоэффективного электротермического оборудования сельскохозяйственного назначения и современные технологии: обработка электрическим током, ультразвуковая обработка.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

1.1. Состояние и проблемы электротермии в сельскохозяйственном производстве

Сельское хозяйство – крупный потребитель тепловой энергии: в общем энергопотреблении основная доля приходится на тепловые процессы. Рациональное теплоснабжение сельского хозяйства является важной экономической и социальной задачей. Это связано с особенностями сельскохозяйственных предприятий как объектов теплоснабжения.

Первая особенность заключается в том, что для сельского хозяйства характерны низкая плотность тепловых нагрузок и большая расцентрованность потребителей. Поэтому в основном распространены децентрализованные системы теплоснабжения от топливных котельных. Однако эти системы имеют следующие недостатки: большие транспортные расходы на доставку топлива; потери топлива при транспортировке и хранении; значительные затраты ручного труда на обслуживание маломощных топливных установок (трудно поддаются автоматизации); низкий КПД.

Вторая особенность сельскохозяйственных потребителей теплоты – большая неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования максимума (для молочных ферм – 0,25...0,35, для свиноводческих – 0,55...0,75). Неравномерность тепловой нагрузки приводит к перерасходу топлива в периоды провалов нагрузки.

Третья особенность сельскохозяйственных потребителей заключается в том, что для нормальной жизнедеятельности животных, птиц и растений необходима оптимальная температура окружающего воздуха, отклонение которой от оптимальной отрицательно сказывается на протекании всех процессов. Особенно вредны резкие колебания температуры в течение суток.

Перечисленные выше особенности сельскохозяйственных предприятий и обусловленные ими трудности теплоснабжения вынуждают изыскивать другие источники тепловой энергии. Наиболее перспективна для этих целей электрическая энергия. Ее использование позволяет:

– автоматизировать технологические процессы, за счет чего сократить потери теплоты на 20...25 %; увеличить привесы и снизить расходы кормов (благодаря более точному поддержанию температурного режима);

- повысить технический уровень производства, производительность и культуру труда;
- уменьшить загрязнение окружающей среды;
- высвободить большое количество технического персонала, обслуживающего котельные и тепловые сети;
- увеличить надежность системы теплоснабжения.

Электрическую энергию в хозяйствах применяют: для нагрева воздуха (в системах приточной вентиляции сельскохозяйственных помещений, в системах рециркуляции овощехранилищ, при сушке сельскохозяйственной продукции); нагрева воды и генерации пара (для кормоприготовления, поения животных, санитарно-гигиенической обработки животных и оборудования, полива растений), местного обогрева (при выращивании молодняка).

Для этих целей используют выпускаемое нашей промышленностью электротермическое оборудование сельскохозяйственного назначения: комбинированные инфракрасные и ультрафиолетовые облучательные установки, инфракрасные облучатели, брудеры, электронагреватели-термосы, проточные электродные и элементные водонагреватели, электродные паровые котлы, электрообогреваемые панели, коврики, электрокалориферные установки и специальный нагревательный провод. Количество и мощность электро-термических установок в сельскохозяйственном производстве непрерывно увеличиваются. Большим потенциальным потребителем электронагрева должны стать растениеводство и плодоводство (обогрев парников и теплиц, термообработка продукции).

1.2. Основные закономерности преобразования электрической энергии в тепловую

Электрический нагрев – нагрев тел с использованием электрической энергии. При электрическом нагреве в материале создается электрическое поле. Способы его образования могут быть различными:

1. Электрическое поле в проводнике создается при непосредственном его подключении к источнику ЭДС. Под действием поля свободные заряды (ионы, электроны) начинают перемещаться. Сталкиваясь с нейтральными атомами и молекулами, они отдают запас кинетической энергии, который расходуется на увеличение теплового движения частиц, и температура вещества повышается.

2. Электрическое поле в проводнике, расположенном в индукто-

ре, наводится переменным магнитным полем. Наведенное электрическое поле вызывает движение свободных зарядов, энергия которых, как и в первом случае, превращается в теплоту.

3. Электрическое поле в диэлектрике, находящемся в конденсаторе, вызывает движение связанных зарядов, которые под влиянием электрического поля смещаются относительно друг друга только в некоторых пределах. Смещение происходит с «трением», что приводит к выделению теплоты.

Электрическая энергия от генератора к потребителю передается электромагнитной волной. Мощность потока энергии, отнесенная к единице поверхности, ориентированной нормально к направлению распространения волны, определяется вектором Пойнтинга:

$$\bar{\Pi} = [\bar{E}\bar{H}], \quad (1.1)$$

где \bar{E} – вектор напряженности электрического поля, В/м; \bar{H} – вектор напряженности магнитного поля, А/м.

Электромагнитная волна, достигнув потребителя, частично отражается от него, частично пронизывает его насквозь, а частично им поглощается. Часть электромагнитной энергии, поглощенной веществом, идет на изменение энергии его собственного электромагнитного поля, а другая часть вызывает протекание электрического тока и в конечном счете преобразуется в теплоту.

Глубина проникновения электромагнитной энергии тем больше, чем больше удельное сопротивление.

В ферромагнитных материалах глубина проникновения меньше, чем в немагнитных.

С увеличением частоты электромагнитной волны глубина ее проникновения уменьшается. Явление затухания электромагнитной энергии широко используется при термической обработке металлов. Регулируя частоту электромагнитных колебаний, можно регулировать толщину нагреваемого слоя детали. Затухание электромагнитной волны – явление нежелательное при конструировании нагревательных элементов из стали.

1.3. Классификация электротермических установок, задачи и содержание их проектирования

Электротермические установки (ЭТУ) классифицируют по роду тока, частоте, способам теплопередачи, технологическому назначению, способу превращения электрической энергии в тепловую (табл. 1.1).

Электротермические установки предназначены для выполнения определенных технологических операций. При проектировании ЭТУ технологические требования являются определяющими. Для их выполнения можно использовать различные виды нагрева, а также разнообразные значения электрических, теплотехнических, гидравлических и механических параметров ЭТУ. Например, для обогрева животных можно применить: инфракрасный нагрев (теплота от нагревателя передается животным без промежуточного теплоносителя); индукционный и нагрев сопротивлением (теплота сначала передается воде или воздуху, а от них животным).

Задача проектирования – создание действующего электротермического оборудования, которое обеспечивает данный технологический процесс с максимальным использованием возможности установок и минимальные приведенные затраты, создает условия для наибольшей производительности труда обслуживающего персонала; соответствует правилам техники безопасности, правилам устройства и эксплуатации электроустановок.

Таблица 1.1

**Классификация электротермических установок
по способу превращения электрической энергии в тепловую**

Способ нагрева	Механизм преобразования энергии	Область применения и электротермическое оборудование
Сопротивлением (прямой и косвенный)	Электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через проводящие материалы	Нагрев металлов под ковку и термообработку; плавка металлов; нагрев воздуха, воды, пищевых продуктов, нагрев ограждающих поверхностей помещений. Электрические печи сопротивления; электрокалориферные установки; электрические водонагреватели; электродные котлы и парогенераторы; электродные установки для термообработки кормов; электрические панели и коврики
Электрической дугой	Электрическая энергия превращается в тепловую в дуговом разряде	Плавка металлов; получение ферросплавов и абразивов; электросварка; нагрев газов; резка металлов. Электрические дуговые печи прямого и косвенного действия; плазменные дуговые установки; руднотермические печи

Способ нагрева	Механизм преобразования энергии	Область применения и электротермическое оборудование
В переменном магнитном поле (индукционный)	Электрическая энергия превращается в энергию переменного магнитного поля, а затем в тепловую в проводящих материалах, помещенных в это поле	Плавка металлов; нагрев металлов под термообработку и ковку; нагрев металлов для передачи теплоты охлаждающей жидкости или газу. Индукционные плавильные печи; нагревательные индукционные установки; индукционные нагревательные панели; индукционные водонагреватели
В переменном электрическом поле (диэлектрический)	Электрическая энергия превращается в энергию переменного электрического поля, а затем в тепловую в диэлектриках и проводящих материалах, помещенных в это поле	Нагрев диэлектриков и пластмасс под полимеризацию и пластическую деформацию; сушка древесины и сельскохозяйственной продукции; обработка семян для улучшения посевных и урожайных качеств. Установки для сварки термопластичных материалов; установки для склеивания и сушки древесины; установки общего назначения
Электронным пучком	Электрическая энергия превращается в энергию электронного пучка, а затем в тепловую в телах, бомбардируемых электронами пучка	Плавка и нагрев металлов в вакууме; напыление; зонная плавка; сварка; резка. Электронные плавильные и нагревательные установки; установки для зонной плавки
Квантами (инфракрасный и лазерный)	Электрическая энергия превращается в лучистую, а затем в тепловую в телах, на которые падает лучистый поток	Отопление помещений; обогрев людей, животных и птицы; сушка лакокрасочных покрытий; сушка сельскохозяйственной продукции; резка и сварка материалов; воздействие на семена для улучшения посевных и урожайных качеств. Инфракрасные излучатели; инфракрасные сушилки; лазерные установки

Приступая к проектированию ЭТУ, нужно иметь техническое задание, разработанное и согласованное с технологами и инженерами. В техническом задании оговаривается назначение ЭТУ, ее производительность, температурные режимы, скорость нагрева, условия эксплуатации, требования техники безопасности, особенности окружающей среды, условия электроснабжения, требования к автоматизации, пределы регулирования мощности.

Различают проверочный и конструктивный (полный) расчет ЭТУ.

Проверочный расчет выполняют для определения паспортных данных ЭТУ (при их отсутствии) или для установления возможности использования готовой установки в конкретных (отличающихся от паспортных) условиях эксплуатации.

Полный расчет ЭТУ включает тепловой, электрический, аэродинамический, гидравлический и механический расчеты.

Тепловой расчет проводят с целью определения технических данных установок (мощности, температуры поверхности нагревательных элементов, интенсивности теплоотдачи, параметров тепловой изоляции, теплового КПД), обеспечивающих технологические требования, которые определяют по единой для всех ЭТУ методике, изложенной в главе 2.

Электрический расчет тесно связан с тепловым и состоит в выборе напряжения питания, рода тока, частоты, в определении геометрических размеров нагревателя, электрического КПД и коэффициента мощности, разработке схемы управления и способа регулирования мощности.

Аэродинамический расчет связан с нахождением расхода воздуха (газа), проходящего через установку, выбором вентиляторов, определением сечения воздухопроводов и размеров распределительных решеток. От правильности решения этого вопроса зависит теплоотдача нагревательных элементов, а следовательно, срок службы, тепловой и электрический КПД.

Гидравлический расчет выполняют для определения расхода жидкости через установку, выбора насоса и сечения трубопроводов.

Механический расчет проводят с целью определения геометрических размеров установки, массы и материалоемкости.

В данной книге подробно рассмотрены только тепловой и электрический расчеты ЭТУ. Остальные изложены в объеме, без которого первые два расчета выполнить невозможно.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2.1. Определение мощности

Расчетная мощность электротермической установки:

$$P_p = \Phi + \Phi_0 + \Phi_k + P_э, \quad (2.1)$$

где Φ – полезный тепловой поток, необходимый для термического процесса (нагрева, испарения, плавления и пр.), Вт; Φ_0 – тепловой поток, теряемый через ограждающие поверхности установки, Вт; Φ_k – тепловой поток, идущий на нагрев конструкций ЭТУ, Вт; $P_э$ – электрические потери в преобразователях и в цепях управления, Вт.

Полезный тепловой поток определяется по выражению

$$\Phi = \frac{Q}{t}, \quad (2.2)$$

где Q – полезная теплота, Дж; t – время обработки, с.

Полезная теплота при:

– нагреве материала

$$Q = Mc_m(T_k - T_n); \quad (2.3)$$

– плавлении

$$Q = Mc_m(T_{п} - T_n) + M\lambda_{\theta}; \quad (2.4)$$

– испарении

$$Q = Mc_m(T_{и} - T_n) + Mr_{\theta}. \quad (2.5)$$

Здесь M – масса обрабатываемого материала, кг; c_m – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг · К); λ_{θ} – удельная теплота плавления материала, Дж/кг; r_{θ} – удельная теплота испарения материала, Дж/кг; T_n и T_k – начальная и конечная температуры обрабатываемого материала; $T_{п}$ и $T_{и}$ – температура плавления и испарения, К.

При термообработке многокомпонентных материалов (запаривание зерна, варка картофеля и др.) полезный тепловой поток рассчитывают отдельно для каждого компонента. Общий полезный поток определяют их суммированием.

В установках периодического действия теплота, запасенная в ограждающих конструкциях и дополнительном оборудовании, безвоз-

вратно теряется. Поэтому тепловой поток, идущий на нагрев конструкций, стремятся снизить. Кроме того, снижение Φ_k позволяет уменьшить время разогрева ЭТУ, а значит, увеличить полезное время работы. Численные значения Φ_k можно определить по формулам (2.2) и (2.3), если вместо M , c_m , T_n , T_k и t подставить соответствующие величины, характеризующие конструкцию и время разогрева ЭТУ.

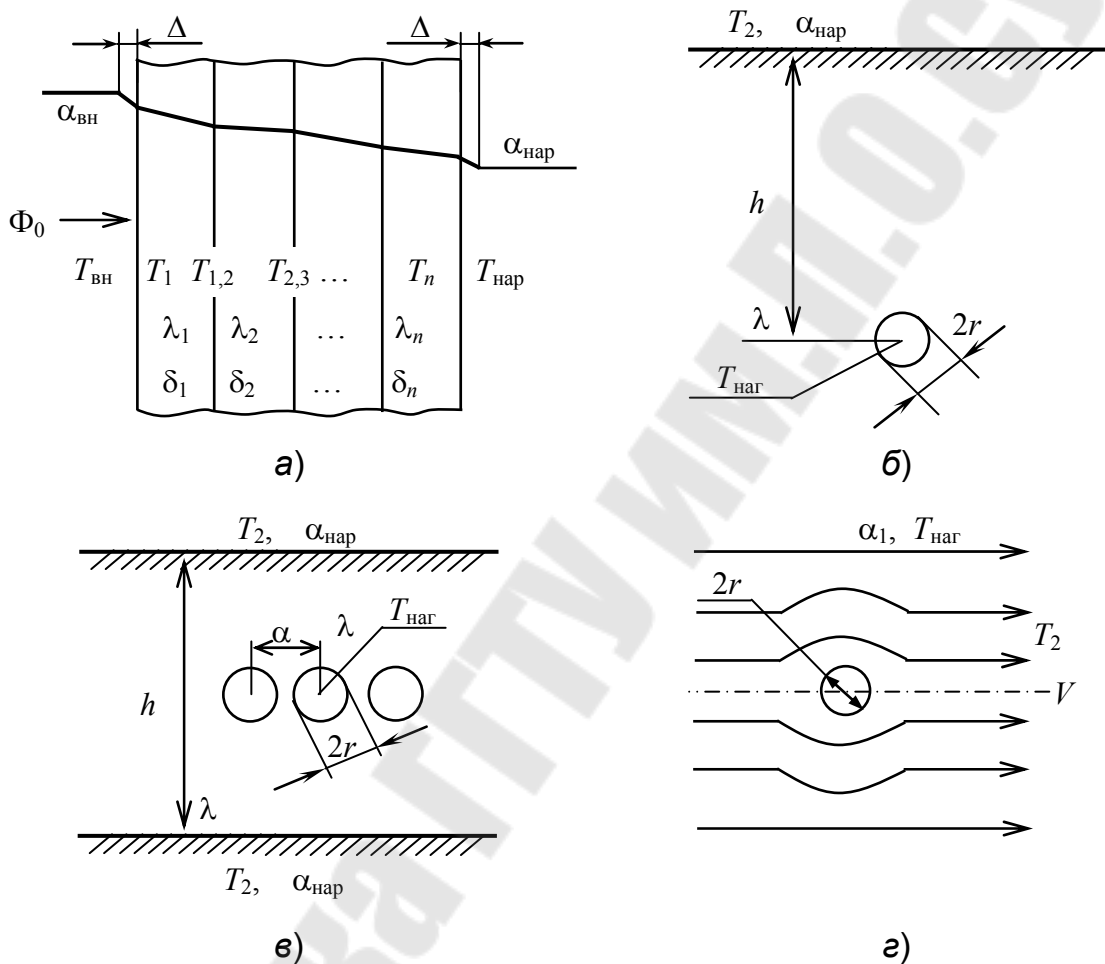


Рис. 2.1. Расчетные схемы ЭТУ

Тепловой поток, через многослойную плоскую стенку (рис. 2.1, а):

$$\Phi_0 = \frac{\Delta T}{\frac{1}{A} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} \right)}, \quad (2.6)$$

где ΔT – разница между температурами внутренней и наружной среды, К; $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки ЭТУ к окружающей среде, Вт/(м² · К); $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности стенки,

Вт/(м² · К); δ_i – толщина i -го слоя изоляции, м; n – число слоев изоляции; A – средняя площадь поверхности стенки, м².

Формула (2.6) может быть легко получена методом электрической аналогии. Для электрической цепи связь между силой тока I , напряжением U и сопротивлением R описывается законом Ома:

$$I = U / R. \quad (2.7)$$

Тепловой поток Φ – тепловой аналог силы тока, а электрическое напряжение аналогично разности температур ΔT в тепловом поле. Поэтому

$$\Phi = \Delta T / R_T, \quad (2.8)$$

где R_T – термическое сопротивление, К/Вт.

С учетом этого формула (2.6) запишется так:

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^{i=n} R_i + R_{\text{нар}}}. \quad (2.9)$$

$$\text{Здесь } R_{\text{вн}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}} A}; \quad R_{\text{нар}} = \frac{1}{\alpha_{\text{нар}} A}; \quad R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i A}.$$

Для многих практических задач (при температурах до 373 К) на границе стенка–воздух $\alpha_{\text{нар}} = 8 \dots 15$ Вт/(м² · К). Формулы (2.6) и (2.9), справедливые для простейшего случая плоской стенки, применяют при расчете многих реальных установок. Например, используя эти формулы, можно определить теплотери помещений, овощехранилищ, парников, электрических печей с прямоугольными стенками и др. Если ограждающие поверхности ЭТУ неплоские, то формулы для расчета усложняются.

Следует учитывать, что при прочих равных условиях Φ_0 меньше там, где меньше отношение площади ограждающих поверхностей к объему установки. Для тел объемом 1 м³ это отношение следующее: для шара – 4,8 м⁻¹; для цилиндра высотой, равной диаметру основания – 5,5 м⁻¹; для куба – 6 м⁻¹.

Потери в электрических элементах ЭТУ зависят в основном от наличия преобразователей электрической энергии, их сложности и элементной базы. Если в ЭТУ применяется понижающий трансформатор (обогрев почвы в теплицах, парниках, обогрев полов в животноводческих помещениях и др.), то потери P_s составляют 2...5 %

от P_p ; в высокочастотных установках индукционного и диэлектрического нагрева эти потери могут достигать 25 %. В большинстве сельскохозяйственных ЭТУ преобразователи отсутствуют, и поэтому потерями P_3 можно пренебречь.

В практике проектирования ЭТУ расчетную мощность определяют по формуле

$$P_p = \Phi / \eta_T \cdot \eta_3, \quad (2.10)$$

где η_T – термический КПД, учитывающий все тепловые потери; η_3 – электрический КПД, учитывающий потери в электрических элементах ЭТУ.

Установленная мощность:

$$P_y = K_3 \cdot P_p, \quad (2.11)$$

где $K_3 = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент запаса, учитывающий старение нагревательных элементов, снижение термического сопротивления изоляции и возможное снижение напряжение сети.

2.2. Определение температуры элементов электротермической установки

При температуре нагрева материала заданной технологией всегда необходимо знать температуры нагревателя, каждого слоя изоляции и наружной поверхности ЭТУ.

Температура нагревателя ограничивается допустимой температурой материала, использованного для его изготовления. Если температура материала превысит допустимую, то ЭТУ преждевременно выйдет из строя. Для каждого материала тепловой изоляции также имеется своя рабочая температура, превышение которой ведет к ее разрушению. Наружная температура ограждающих конструкций ЭТУ ограничивается требованиями пожарной безопасности, правилами котлонадзора и СНиП. Распределение температуры по элементам ЭТУ зависит от ее конструкции. Рассмотреть этот вопрос в полном объеме для всего многообразия ЭТУ в пределах данного пособия невозможно.

Далее приводится расчет температур лишь для следующих наиболее часто встречающихся схем ЭТУ:

– нагреватель и наружная поверхность ЭТУ разделены плоской многослойной стенкой (печи);

- нагреватель находится в полуограниченном пространстве (обогрев полов, почвы и др.);
- нагреватель расположен в плоской стенке (панель, коврик и др.);
- нагреватель находится в потоке жидкости или газа (калориферы, проточные водонагреватели и др.).

Следует отметить, что приводимые далее расчеты справедливы для стационарных процессов, при которых температурное поле внутри тела не изменяется во времени.

Температуру любого элемента (слоя поверхности) ЭТУ можно рассчитать по формуле (2.8). Например, температура нагревателя

$$T_{\text{наг}} = \Phi \cdot R_T + T_3, \quad (2.12)$$

где Φ – тепловой поток, исходящий от нагревателя; R_T – общее термическое сопротивление между нагревателем и рассматриваемым элементом ЭТУ, температура T_3 которого известна.

Если нагреватель и элемент, температура которого известна, разделены плоской многослойной стенкой, то

$$R_T = R_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^{i=n} R_i + R_{\text{нар}}, \quad (2.13)$$

где $R_{\text{вн}}$, R_i , $R_{\text{нар}}$ – термические сопротивления участков теплопередачи [см. формулу (2.9)].

Для цилиндрического нагревателя длиной L , находящегося в полуограниченном пространстве (рис. 2.1, б), термическое сопротивление между нагревателем и ограничивающей поверхностью

$$R_T = \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln \left[\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1} \right]. \quad (2.14)$$

Если таких нагревателей несколько и они уложены в одной плоскости с шагом a , то

$$R_T = \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln \left[\frac{a}{\pi r} \operatorname{sh} \cdot 2\pi \frac{h}{a} \right]. \quad (2.15)$$

В случае, если несколько цилиндрических нагревателей уложены в панель с двухсторонней отдачей (рис. 2.1, в), термическое сопротивление между нагревателем и поверхностями панели

$$R_T = \frac{1}{2\pi L\lambda} \ln \left[\frac{a}{\pi r} \operatorname{sh} \frac{\pi h}{2a} \right]. \quad (2.16)$$

Для нагревателя, находящегося в потоке жидкости или газа (рис. 2.1, з):

$$R_T = 1/(\alpha A), \quad (2.17)$$

где A – площадь нагревателя, м^2 ; α – коэффициент теплоотдачи, зависящий от свойств омывающей среды, скорости потока v , формы нагревателя и др.:

$$\alpha = \text{Nu}\lambda / d, \quad (2.18)$$

где Nu – число Нуссельта; d – эквивалентный диаметр нагревателя, м; λ – теплопроводность среды, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

2.3. Основы динамики нагрева

Ранее были рассмотрены процессы нагрева в стационарном температурном режиме. В действительности процессы нагрева отдельных элементов ЭТУ являются динамическими.

Рассмотрим процесс изменения температуры ЭТУ во времени. Допустим, что:

- ЭТУ (или элемент ЭТУ) представляет собой однородное тело и обладает бесконечно большой теплопроводностью, поэтому температура во всех ее точках одинакова; тепловой поток в окружающую среду пропорционален разности температур ЭТУ и окружающей среды (превышению τ температуры ЭТУ);

- теплоемкость c , теплоотдача Φ_A и мощность P ЭТУ от температуры не зависят;

- температура окружающей среды в процессе разогрева не изменяется.

Уравнение теплового баланса за элемент времени dt имеет вид:

$$Pdt = cdt + \Phi_A \tau dt, \quad (2.19)$$

где Pdt – теплота, выделяющаяся в нагревателе установки, $\Phi_A = \alpha A$ – теплоотдача ЭТУ при $\tau = 1 \text{ К}$, $\text{Вт}/\text{К}$; τ – превышение температуры ЭТУ над температурой окружающей среды, К .

Из уравнения видно, что теплота, выделяющаяся в нагревателе, запасается в элементах ЭТУ (cdt) и рассеивается в окружающую среду ($\Phi_A \tau dt$). Разделив переменные, получим:

$$dt = \frac{cd\tau}{P - \Phi_A \tau}. \quad (2.20)$$

Решение этого уравнения относительно τ :

$$\tau = \tau_y(1 - e^{-t/B}) + \tau_0 e^{-t/B}, \quad (2.21)$$

где $B = c / \Phi_A$; $\tau_y = P / \Phi_A$.

Из уравнения (2.21) видно, что τ изменяется по экспоненциальному закону и приближается к установившемуся значению при $t \rightarrow \infty$. Практически при $t = (4...5) B$ наступает установившийся режим и тепловой переходный процесс заканчивается.

Рассмотрим частные случаи уравнения (2.21).

Пусть $\tau_0 = 0$, т. е. установка разогревается из холодного состояния, тогда

$$\tau = \tau_y(1 - e^{-t/B}). \quad (2.22)$$

Допустим, что $\tau_y = 0$, т. е. установка отключена от электрической сети и охлаждается, тогда

$$\tau = \tau_0 e^{-t/B}. \quad (2.23)$$

Величина B – постоянная времени нагрева ЭТУ – время, в течение которого превышение температуры от $\tau = 0$ достигло бы установившегося значения τ_y , если бы не было отдачи теплоты в окружающую среду. В реальных условиях за время $t = B$ достигается $\tau = 0,632\tau_y$ (при $\tau_0 = 0$).

Постоянную времени определяют расчетным способом или по экспериментальным данным.

Выразим значение B через геометрические размеры и физические параметры материала:

$$B = c / \Phi_A = c_m M / (\alpha A). \quad (2.24)$$

Из формулы видно, что постоянная времени нагрева пропорциональна массе M и удельной теплоемкости c_m и обратно пропорциональна коэффициенту теплоотдачи α и площади A поверхности ЭТУ.

2.4. Выбор тепловой изоляции

Тепловая изоляция предназначена для снижения потерь теплового потока Φ_0 в окружающую среду. Уменьшить потери теплоты, а следовательно, увеличить КПД ЭТУ можно двумя способами: или увеличить толщину изоляции, или применять изоляцию с меньшей теплопроводностью. Вид изоляции обуславливается ее стоимостью, температурными режимами, окружающей средой, санитарно-гигиеническими условиями и др.

Требования, предъявляемые к тепловой изоляции, многогранны и противоречивы: она должна быть как можно дешевле, тоньше, легче; обладать достаточной механической прочностью, малой теплопроводностью и электрической проводимостью; выдерживать высокие температуры.

Практически ни один материал не удовлетворяет этим требованиям в полной мере. Поэтому тепловую изоляцию делают многослойной. Слой изоляции, прилегающий к нагревателю, выполняют из термостойкого материала. Его назначение – снизить температуру до уровня, который может выдерживать следующий слой тепловой изоляции, имеющей меньшую λ .

Выбор материала каждого слоя и его толщины – обычная технико-экономическая задача по определению минимума приведенных затрат. Рассмотрим методику ее решения на примере однослойной тепловой изоляции.

Приведенные затраты

$$Z = I_3 + (C_a + E)K, \quad (2.25)$$

где C_a – коэффициент, учитывающий издержки на амортизацию и ремонт, 1/год; E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, 1/год.

Издержки на теплоту, р./($\text{м}^2 \cdot \text{год}$), теряемую единицей площади поверхности установки:

$$I_3 = \Phi_0 C_T t_n = \frac{\Delta T}{R_T} C_T t_n, \quad (2.26)$$

где C_T – стоимость тепловой энергии, р./Дж; ΔT – разность температур внутренней и наружной поверхностей тепловой изоляции, К; t_n – продолжительность работы установки в году, с.

Капитальные вложения, p./m^2 , на единицу площади поверхности установки:

$$K = C_{\text{и}} \delta = C_{\text{и}} R_{\text{т}} \lambda_{\text{и}}, \quad (2.27)$$

где $C_{\text{и}}$ – оптовая цена тепловой изоляции, p./m^3 .

Подставив значение составляющих в формулу затрат, получим следующую зависимость:

$$Z = \frac{\Delta T}{R_{\text{т}}} C_{\text{т}} t_{\text{и}} + (C_{\text{а}} + E) C_{\text{и}} \lambda_{\text{и}} R_{\text{т}}. \quad (2.28)$$

Возьмем производную и, приравняв ее к нулю, найдем экономически целесообразное термическое сопротивление:

$$R_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\Delta T C_{\text{т}} t_{\text{и}}}{(C_{\text{а}} + E) C_{\text{и}} \lambda_{\text{и}}}}. \quad (2.29)$$

Оптимальная толщина тепловой изоляции выбранного вида:

$$\delta = R_{\text{э}} \lambda_{\text{и}}. \quad (2.30)$$

Из анализа уравнений (2.26)–(2.29) видно, что при заданных режимах ЭТУ (ΔT и $t_{\text{и}}$) толщина тепловой изоляции тем больше, чем больше ее теплопроводность и меньше оптовая цена. Толщина изоляции должна быть больше и при более высокой стоимости тепловой энергии.

3. ЭЛЕКТРОНАГРЕВ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

3.1. Способы электронагрева сопротивлением

В электротермических процессах широко используют электрический нагрев сопротивлением, при котором электрическая энергия преобразуется в тепловую непосредственно в проводящей среде или проводнике, включенном в цепь электрического тока.

В электротермических установках (ЭТУ) низкотемпературного нагрева температура нагреваемого материала или среды не превышает $673 \dots 873 \text{ K}$, и теплообмен происходит в основном за счет теплопроводности и конвекции. Такие установки применяют для нагрева воздуха, воды, сушки сельскохозяйственных материалов и других процессов.

Установки средне- и высокотемпературного нагрева используют для закалки, отжига, термической обработки металлов и т. д. В этих установках температура нагреваемого материала или среды может достигать 1473...1523 К, а процессы теплообмена осуществляются за счет конвекции и излучения.

Количество теплоты, выделенное в нагреваемом материале или среде, пропорционально квадрату силы тока I и зависит от сопротивления нагреваемого материала R и времени нагрева t :

$$Q = I^2 R t. \quad (3.1)$$

Электрический нагрев сопротивлением – наиболее простой и экономичный способ преобразования электрической энергии в тепловую. По способу выделения и передачи тепловой энергии нагреваемой среде или материалу различают прямой и косвенный нагрев.

Прямой нагрев сопротивлением применяют для электропроводящих сред и материалов. Нагрев осуществляется за счет пропуска электрического тока непосредственно через нагреваемую среду или материал.

Прямой нагрев сопротивлением, в свою очередь, подразделяется на два вида:

- прямой нагрев металлических тел, называемый электроконтактным;
- прямой нагрев проводящих материалов, обладающих ионной проводимостью, который называется электродным.

Косвенный нагрев сопротивлением используют для проводящих и непроводящих материалов. При данном способе нагрев среды или материала осуществляется за счет теплопроводности, конвекции и излучения от специальных нагреваемых устройств при протекании по ним электрического тока.

3.2. Электрическое сопротивление металлических проводников

Для расчета электрических характеристик, режима нагрева и технических показателей электротермической установки необходимо знать электрическое сопротивление проводника и его зависимость от основных определяющих факторов.

Сопротивление проводника, Ом, имеющего длину l , м, и площадь поперечного сечения σ_A , м², постоянному току определяется по формуле

$$R = \rho_T \frac{l}{\sigma_A}, \quad (3.2)$$

где ρ_T – удельное электрическое сопротивление проводника, Ом · м.

Удельное электрическое сопротивление проводника – один из основных физических факторов, влияющих на электротехнические характеристики нагрева: силу тока, напряжение и мощность электро-термической установки. Удельное электрическое сопротивление металлических проводников (проводников первого рода) зависит от материала, химического состава, механической и термической обработки и температуры.

Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры описывается формулой

$$\rho_T = \rho_{293} (1 + \alpha_T \Delta T + \beta_T \Delta T^2 + \gamma_T \Delta T^3 + \dots), \quad (3.3)$$

где ρ_{293} – удельное сопротивление проводника при 293 К; α_T , β_T , γ_T – температурные коэффициенты сопротивления соответствующего материала, K^{-1} , K^{-2} , K^{-3} ; ΔT – превышение температуры проводника над 293 К.

В практических расчетах ограничиваются первыми двумя членами выражения (3.3).

Из-за поверхностного эффекта активное сопротивление металлических проводников переменному току больше, чем сопротивление постоянному. На активное сопротивление переменному току влияют потери энергии на вихревые токи, возникающие под воздействием переменного магнитного поля, и потери на перемагничивание. Поверхностный эффект на активное сопротивление проводника особенно влияет при больших частотах. У ферромагнитных материалов поверхностный эффект заметно проявляется и на промышленной частоте. Поверхностный эффект зависит от размеров, поперечного сечения, удельного сопротивления и магнитной проницаемости материала проводника. В общем случае магнитная проницаемость ферромагнитных материалов изменяется в зависимости от температуры, силы тока, напряженности магнитного поля и существенно влияет на электрическое сопротивление и неравномерность нагрева по сечению проводника. Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов при их нагреве до температуры ниже точки магнитных превращений (для стали 1020...1070 К) изменяется незначительно, но, достигнув этой точки, проводник быстро теряет магнитные свойства; относи-

тельная магнитная проницаемость сразу падает до единицы. Из-за поверхностного эффекта электрический ток по сечению проводника распределяется неравномерно и в основном концентрируется в периферийном слое.

Полное сопротивление, Ом, металлических проводников переменному току:

$$Z = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}, \quad (3.4)$$

где R_2 , X_2 – активное и индуктивное сопротивления проводника переменному току, Ом.

3.3. Основы электроконтактного нагрева

Электроконтактный нагрев сопротивлением применяют для сквозного нагрева, контактной сварки, наплавки при восстановлении изношенных деталей и прогрева трубопроводов.

Сквозной нагрев используется в качестве основного способа нагрева деталей и заготовок для последующей их обработки давлением или термообработки, а также в качестве составной части технологического нагрева в комбинации с другими операциями при изготовлении полуфабрикатов или готовых деталей. При сквозном нагреве электрическая энергия преобразуется в тепловую непосредственно в деталях или заготовках, включаемых в цепь электрического тока. Для сквозного нагрева принципиально может быть использован как постоянный, так и переменный ток.

В электроконтактных установках широко применяют переменный ток, так как необходимые для нагрева токи в тысячи и десятки тысяч ампер при напряжении в несколько вольт наиболее просто могут быть получены лишь при помощи трансформаторов переменного тока. Установки электроконтактного нагрева деталей или заготовок подразделяются на однопозиционные и многопозиционные (рис. 3.1).

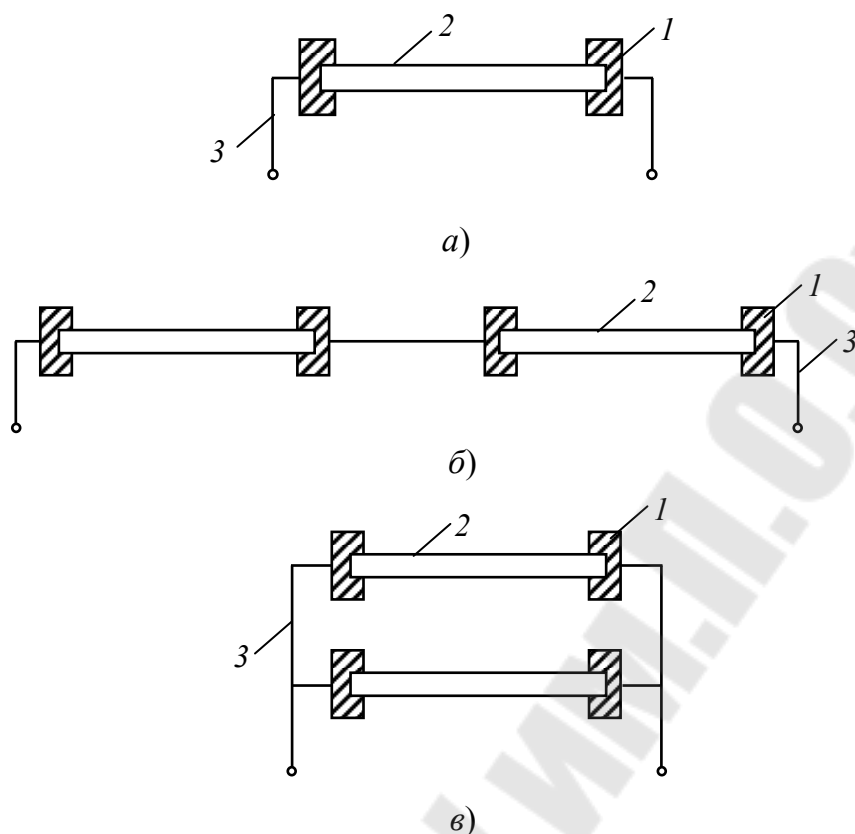


Рис. 3.1. Схемы однопозиционного (а) и многопозиционных устройств с последовательным (б) и параллельным (в) включением заготовок в электрическую цепь: 1 – зажимной токоподводящий контакт; 2 – нагреваемая заготовка; 3 – токопроводящий провод

В зависимости от требуемой скорости нагрева и производительности технологической линии используют ту или иную схему. По технико-экономическим соображениям наиболее выгодно применять многопозиционную схему с последовательным включением нагреваемых заготовок в электрическую цепь, так как в этом случае обеспечивается любой заданный темп выдачи нагретых заготовок с постепенным увеличением их температуры до заданного значения путем перекалывания заготовок с одной позиции на другую.

Независимо от схемы включения нагреваемых заготовок в электрическую цепь большое влияние на технологические, электрические и технико-экономические показатели электроконтактных установок оказывает токовая нагрузка в местах соприкосновения токоподводящих контактов с нагреваемой заготовкой. Токтовую нагрузку снижают, охлаждая и усиливая давление в контактах, а также применяя зажимы с радиальными и торцевыми контактами.

На ремонтных предприятиях могут использоваться однофазные и трехфазные электроконтактные установки. Трехфазные установки по сравнению с однопозиционными однофазными равной производительности более эффективны, так как обеспечивают равномерную нагрузку фаз питающей сети и позволяют уменьшить токовую нагрузку каждой фазы.

Вариант электроконтактного нагрева и нагревательной установки выбирают в зависимости от конкретных условий.

3.4. Основные электротехнические характеристики электроконтактных нагревательных установок

Для любой электроконтактной установки определяют следующие расчетные параметры: мощность силового трансформатора, потребляемую силу электрического тока во вторичной цепи, напряжение на нагреваемой детали или заготовке, коэффициент полезного действия и коэффициент мощности. Исходными данными для их расчета являются: марка материала, масса нагреваемой детали и ее геометрические размеры, а также напряжение питающей сети, время и температура нагрева.

Полная мощность, $B \cdot A$, силового трансформатора для однопозиционного устройства:

$$S = k_3 \Phi / (\eta_{\text{общ}} \cos \varphi) = k_3 \Phi / (\eta_{\text{т}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{тр}} \cos \varphi), \quad (3.5)$$

где $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент запаса; Φ – полезный тепловой поток, определяемый по выражению (2.2); $\eta_{\text{общ}}$ – общий КПД установки:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{т}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{тр}},$$

где $\eta_{\text{т}}$ – термический КПД; $\eta_{\text{э}}$ – электрический КПД; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД силового трансформатора.

Сила тока, A , во вторичной цепи при нагреве заготовок до температуры выше точки магнитных превращений:

$$I_2 = \sigma_2 \sqrt{\frac{\rho c_m \Delta T}{t \eta_{\text{т}} \rho_{\text{т}} k_{\text{п}}}}, \quad (3.6)$$

где ρ – плотность материала заготовки, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\Delta T = T_2 - T_1$ – разность между конечной T_2 и начальной T_1 температурами нагрева заготовки, K ; σ_2 – площадь поперечного сечения заготовки, м^2 .

Время нагрева зависит от диаметра заготовки и температурного перепада по ее длине и поперечному сечению. По технологическим условиям температурный перепад между внутренними и поверхностными слоями нагреваемой заготовки не должен превышать $\Delta T_{\text{п}} = 100 \text{ К}$. Расчетные и экспериментальные графические зависимости для определения времени нагрева приводятся в литературе [1].

В практических расчетах время нагрева, с, цилиндрических заготовок диаметром $d_2 = 0,02 \dots 0,1 \text{ м}$ с $\Delta T_{\text{п}} = 100 \text{ К}$ можно определить по эмпирической формуле

$$t = 2,5 \cdot 10^4 d_2^2. \quad (3.7)$$

3.5. Электроконтактная сварка

При контактной сварке или сварке сопротивлением места соприкосновения деталей нагреваются до температуры пластического состояния путем пропускания через них электрического тока. Переходное сопротивление в месте соприкосновения деталей значительно превосходит их сопротивление, поэтому сами детали непосредственно от тока нагреваются очень мало, тогда как в стыках выделяется большое количество энергии.

Количество теплоты, выделяемое в местах сварки, пропорционально сопротивлению контакта стыка.

Переходное сопротивление, Ом, электрического контакта:

$$R_n = k_1 k_T / (0,1F)^m, \quad (3.8)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от материала свариваемых деталей; F – усилие сжатия, приложенное к контакту, Н; m – показатель степени, зависящий от формы поверхностей контактирующих деталей; k_T – коэффициент, учитывающий температуру контакта,

$$k_T = 1 + 0,67\alpha_T(T_K - 293), \quad (3.9)$$

где α_T – температурный коэффициент сопротивления контактов, К^{-1} ; T_K – температура контакта, К.

В производстве широко применяют следующие виды сварки: стыковую, точечную и роликовую (рис. 3.2).

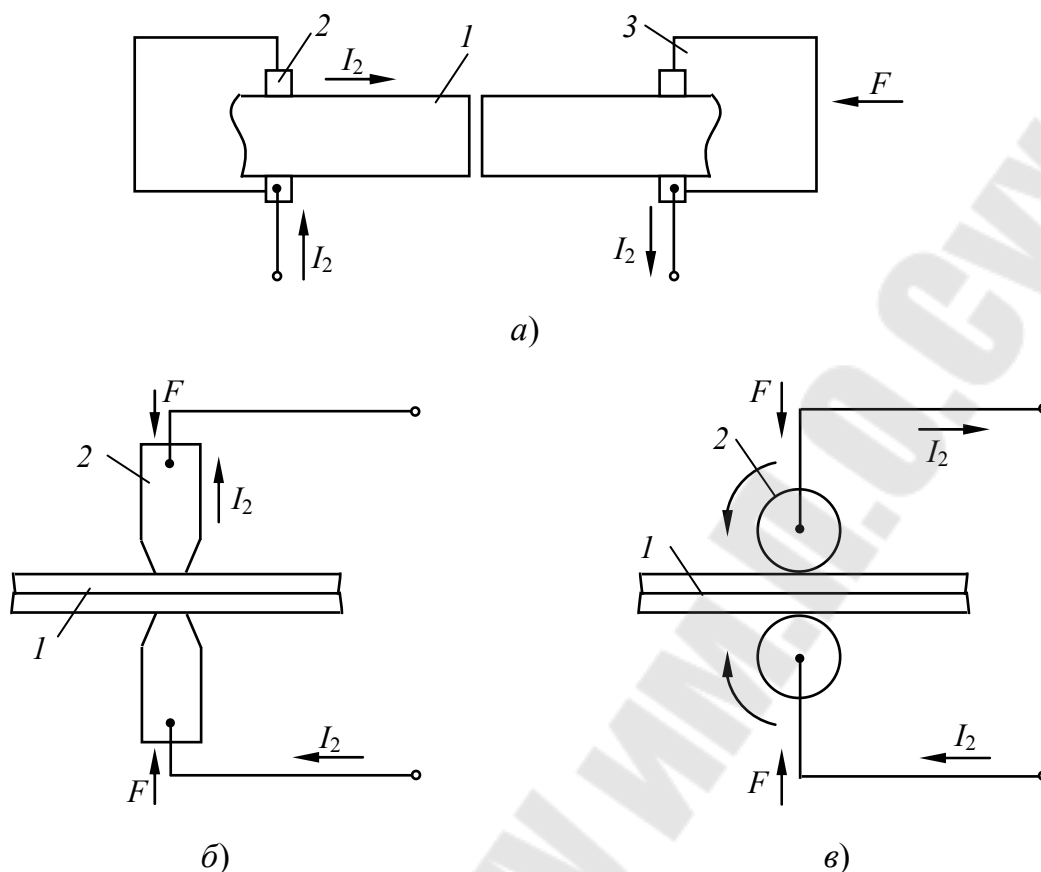


Рис. 3.2. Разновидности контактной сварки: а – стыковая; б – точечная; в – роликовая; 1 – деталь; 2 – зажимной токоподводящий контакт; 3 – контактная перемычка

3.6. Основы электродного нагрева

Электродный нагрев применяют для нагрева электропроводящих материалов, обладающих ионной проводимостью. По принципу действия электродный нагрев относится к прямому, так как сам материал является средой, в которой электрическая энергия превращается в тепловую. Электроды служат лишь для подвода электрического тока к нагреваемому материалу.

Благодаря простоте устройства, надежности, недефицитности применяемых материалов, относительно высокой скорости нагрева и ремонтпригодности установки электродного нагрева широко используют при теплоснабжении производственных и бытовых помещений, а также в технологических процессах подготовки горячей воды.

В электродных аппаратах используют только переменный ток во избежание электролиза воды. Электроды изготовляют из металлических материалов: титана, нержавеющей и углеродистой стали, элек-

тротехнического графита и др. При плотности тока до $2 \cdot 10^3$ А/м² для изготовления электродов по условиям коррозионной стойкости целесообразно применять нержавеющую сталь, а при больших значениях плотности тока – углеродистую. Для изготовления электродов не рекомендуется использовать медь, алюминий и оцинкованную сталь из-за низкой коррозионной стойкости и загрязнения воды продуктами коррозии этих материалов.

Для горячего водоснабжения, теплоснабжения и получения пара низкого давления применяют электрические водонагреватели и паровые котлы.

3.7. Расчет электродных водонагревателей и паровых котлов

Для нагрева воды и получения пара при единичной мощности нагревательной установки более 25 кВт применяют электродные водонагреватели и паровые котлы. Электродные устройства классифицируют по числу фаз, конструктивному исполнению, напряжению питающей сети, способу регулирования мощности и по назначению.

В сельскохозяйственном производстве применяют трехфазные однобаковые водонагреватели и паровые котлы напряжением 0,4 кВ с плавным регулированием мощности. В этих установках используют электродные системы с коаксиальными цилиндрическими, дугообразными и плоскопараллельными электродами. Электрические водонагреватели и паровые котлы разных типов в основном различают по габаритам и исполнению электродной системы.

Цель расчета электродных аппаратов – выбор рациональной формы электродов и определение размеров электродной системы, определение мощности и диапазона ее регулирования, проверка работоспособности аппарата по напряженности поля и плотности тока на электродах.

Исходные данные для расчета проточных водонагревателей: объемный расход воды V_t , температура воды на входе $T_{вх}$ и выходе $T_{вых}$; непроточных водонагревателей – объем нагреваемой воды V ; время нагрева t ; начальная T_1 и конечная T_2 температура воды; паровых котлов – массовый расход пара m_t , рабочее давление H_p и температура кипения воды T_S при заданном давлении.

Расчет непроточных и проточных водонагревателей, а также паровых котлов можно вести по единой методике с использованием одних и тех же формул благодаря одинаковому принципу их работы.

Выбранная электродная система должна обеспечить наиболее благоприятные условия работы электродного аппарата.

В водонагревателях можно использовать любую электродную систему. Для паровых котлов, работающих в наиболее напряженном режиме, рекомендуется применять экранированные электродные системы с плоскопараллельными или пластинчатыми электродами, расположенными под углом 120° .

В зависимости от выбранной схемы определяется фазное сопротивление аппарата по заданным исходным данным.

3.8. Электрические нагреватели сопротивления (косвенный нагрев)

Электрический нагреватель – основной элемент электротермической установки, преобразующий электрическую энергию в тепловую. Конструктивное исполнение электрического нагревателя определяется нагреваемой средой, характером нагрева, мощностью, технологическим назначением и другими условиями.

В зависимости от конструкции и технологического назначения электрические нагреватели выполняют с электрической изоляцией, защитными устройствами, а также с устройством для крепления и подвода электрического тока.

По исполнению различают открытые, защищенные и герметические нагреватели.

В нагревателях открытого исполнения резистивное тело – нагревательное сопротивление – не изолируют от нагреваемой среды, а размещают непосредственно в ней.

Нагреватели из материала с высоким удельным электрическим сопротивлением изготавливают в виде проволочных или ленточных зигзагов, проволочных спиралей (рис. 3.3) и крепят на керамических стержнях, трубах или изоляторах в воздушном потоке (электрокалориферы) или в воздушном пространстве (электропечи) электротермических установок.

Достоинство открытых нагревателей – простота устройства, ремонтоспособность и возможность обеспечения высокого коэффициента теплоотдачи с поверхности нагревательного элемента. К недос-

таткам следует отнести сравнительно низкий срок службы, невысокую механическую прочность и невозможность использования в агрессивных средах.

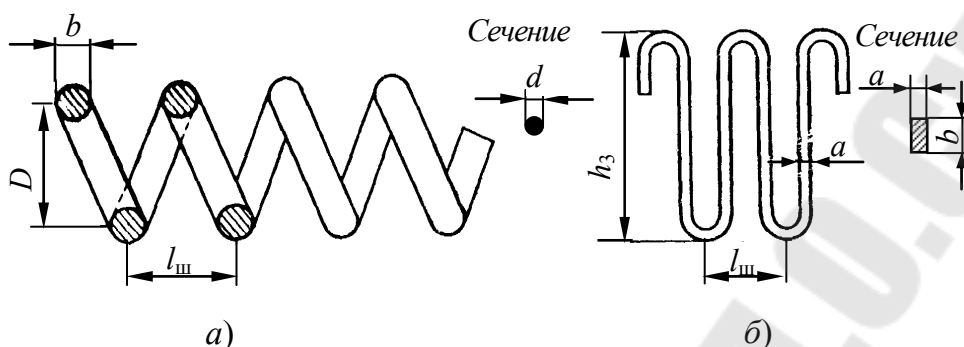


Рис. 3.3. Открытые нагреватели: а – спиральный; б – проволочный и ленточный зигзагообразные

В нагревателях защищенного исполнения нагревательные сопротивления, изготавливаемые из материала с высоким удельным электрическим сопротивлением размещают в защитном корпусе, предохраняющем их от механических повреждений и от нагреваемой среды.

Наиболее совершенными и универсальными являются герметические трубчатые электронагреватели (ТЭН). Их эффективно используют в электрокалориферах, водонагревателях, электрических печах, теплоаккумулирующих установках, электрокипятильниках бытовых плит и др. Промышленность выпускает ТЭН напряжением от 12 до 380 В, мощностью от 100 до 25 000 Вт, развернутой длиной от 0,25 до 6,3 м и диаметром трубки от 6 до 16 мм.

ТЭН (рис 3.4) представляет собой тонкостенную металлическую трубку (оболочку), в которую запрессована спираль из проволоки с большим удельным электрическим сопротивлением. Концы спирали приварены к контактным стержням, снабженным с внешней стороны контактными устройствами для подключения к сети. Спираль изолируется от стенок трубки наполнителем из периклаза (плавленая окись магния), обладающим высокими диэлектрическими свойствами и теплопроводностью. В качестве наполнителя допускается использовать кварцевый песок, электрокорунд и другие материалы. Торцы трубки герметизируют тепловлагодостойким составом и изолирующими втулками, что исключает доступ воздуха и влаги внутрь ТЭН.

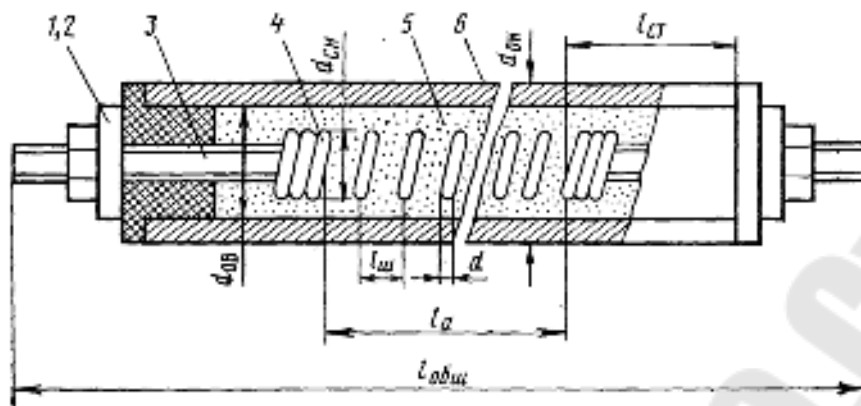


Рис. 3.4. Трубчатый электронагреватель (ТЭН): 1 и 2 – контактное устройство; 3 – контактный стержень; 4 – нагревательная спираль; 5 – наполнитель (периклаз); 6 – оболочка (трубка) ТЭН; $l_{ст}$ – длина контактного стержня в заделке; $l_{общ}$ – общая длина

При выборе ТЭН следует обращать внимание на нагреваемую среду, допустимую удельную поверхностную мощность, температуру и химическую стойкость материала трубки к воздействию среды. Трубки ТЭН изготавливают из углеродистой стали, меди, латуни и нержавеющей стали. ТЭН с оболочками из нержавеющей стали применяют при температурах свыше 720 К и для нагрева агрессивных сред. К достоинствам ТЭН относятся их универсальность (возможность нагрева как проводящих, так и непроводящих сред), пригодность для работы непосредственно в нагреваемой среде (корпус ТЭН не находится под напряжением), надежность (спираль герметизирована от внешней среды), ударо- и виброустойчивость (спираль плотно запрессована в наполнителе), а также безопасность обслуживания. При выборе ТЭН следует руководствоваться специальными каталогами.

Условное обозначение трубчатого электронагревателя ТЭН – 1 2 3/4 5 6 расшифровывается так: 1 – развернутая длина, см; 2 – условное обозначение длины контактного стержня в заделке; 3 – наружный диаметр оболочки (трубки), мм; 4 – номинальная мощность, кВт; 5 – условное обозначение нагреваемой среды; 6 – номинальное напряжение, В.

В развитии низкотемпературного нагрева перспективным направлением является создание тонкослойных поверхностно-распределенных резистивных электронагревательных элементов (ПЭН) [1]. Наибольший интерес представляют ПЭН, изготовленные на основе композиционных материалов, которые выпускают в виде съемных электронагревателей и в виде элементов конструкции ЭТУ.

В съемном ПЭН нагревательное сопротивление, изготовляемое из токопроводящих нитей, длинных волокон или зернистой структуры, герметически изолируется от нагреваемой среды стеклотканевым, полимерным, резиновым или другими теплостойкими покрытиями. При работе съемные ПЭН размещают в нагреваемой среде или крепят на поверхности элементов нагреваемых конструкций. В совмещенных ПЭН нагревательное сопротивление в виде токопроводящей пленки наносят на электроизолированный нагреваемый элемент конструкции ЭТУ (емкость, воздухопроводы, стены, панели, коврики и т. д.).

Принципиальная схема ПЭН, совмещенного с конструкцией ЭТУ-коврика, показана на рис. 3.5.

Длина контактного стержня для разных обозначений такова:

обозначение	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
длина контактного стержня, мм	40	65	100	125	160	250	400	630

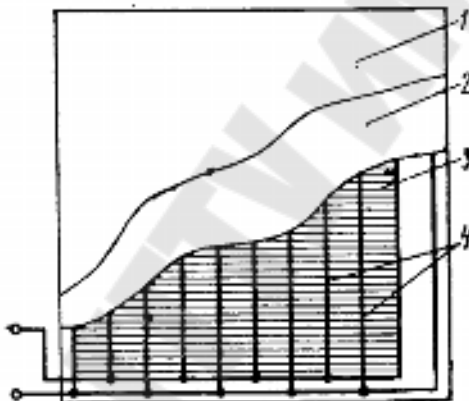


Рис. 3.5. Принципиальная схема ПЭН, совмещенного с конструкцией ЭТУ-коврика: 1 – контактная поверхность нагрева; 2 – стеклоэмалевая изоляция; 3 – токопроводящая пленка нагревательного элемента; 4 – контактные электроды в виде полос

Токопроводящая пленка электронагревателя с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления наносится на тонколистовую штампованную металлическую панель, покрытую стеклоэмалевой изоляцией. Для подвода тока пленка снабжена контактными электродами в виде полос из латуни (меди). Сверху на токопроводящую пленку нанесено теплостойкое электроизоляционное покрытие. Обогреватель работает в режиме саморегулирования. При подведении напряжения к электронагревателю, если на нем нет животных, элемент из-за высокого коэффициента теплоотдачи нагревается только до температуры устойчивого теплового равновесия, достаточной для

привлечения на него животных. Животное, располагаясь на обогревателе, своим телом нагревает место соприкосновения и уменьшает коэффициент теплоотдачи в данном месте, что снижает сопротивление резистивной пленки. Благодаря этому мощность и температура нагревательного устройства автоматически увеличиваются.

Прозрачность некоторых токопроводящих композиционных пленок позволяет использовать их для нагрева смотровых стекол, стеклянных сосудов и трубопроводов.

Основные достоинства ПЭН: высокая антикоррозионная стойкость при работе в агрессивных средах; низкая стоимость исходного материала и технологичность изготовления самых сложных конфигураций; равномерный и дифференцированный нагрев больших поверхностей сложной формы; относительно низкая металлоемкость и высокий тепловой КПД.

3.9. Материалы для электрических нагревателей

Нагревательное сопротивление – резистивное тело – наиболее ответственный элемент электрического нагревателя, от которого зависит надежность и долговечность его работы в заданном технологическом режиме. Поэтому к материалам для нагревательных элементов предъявляется ряд требований, основные из которых следующие: достаточные жаростойкость и жаропрочность (не должны окисляться и терять механических свойств при высоких температурах); большое удельное электрическое сопротивление (должны обеспечивать возможность включения на сетевое напряжение при небольшой длине нагревателя) и малый температурный коэффициент сопротивления (должны незначительно изменять сопротивление при изменении температуры); стабильность размеров и электрических свойств. В зависимости от температурного режима и технологических условий нагреваемой среды для изготовления электрических нагревателей используют металлические и неметаллические материалы. Для низко- и среднетемпературных установок широко применяют специальные сплавы: хромоникелевые и железохромоникелевые. Наиболее распространены нихромы. В низкотемпературных установках (до 620 К) электрические нагреватели выполняют из дешевого и доступного материала – углеродистой стали. Неметаллические нагреватели используют в высокотемпературных установках. В ЭТУ с рабочей температурой до 1570 К применяют стержневые цилиндрические нагреватели

из карборунда, а с температурой до 1870 К – из дисилицида молибдена. В высокотемпературных вакуумных печах с температурой нагрева до 3270 К используют графитовые нагреватели в виде стержней, трубок, пластин и другой формы.

Электрические нагреватели из карборунда, дисилицида молибдена и графита обладают высоким удельным электрическим сопротивлением и переменным температурным коэффициентом сопротивления. Питание на эти нагреватели подается от понижающих трансформаторов с регулируемым вторичным напряжением.

В качестве нагревательных сопротивлений ПЭН используют металлическую фольгу, уложенную в виде ткани; полупроводниковые и композиционные материалы. Для ПЭН более перспективны композиционные материалы, состоящие из двух и более компонентов. В композиционных ПЭН нагревательные сопротивления изготавливают из графитизированного или металлического материала в виде токопроводящей ткани. Наиболее распространена углеграфитовая ткань УТТ-2 с допустимой температурой на поверхности до 463 К.

3.10. Тепловой и электрический расчеты нагревателей

В зависимости от назначения и технологических условий нагрева применяют электрические нагреватели открытого, защищенного и герметического исполнения. В электрокалориферах, электрических печах, теплоаккумулирующих и других установках наряду с герметическими (ТЭН) применяют открытые и защищенные нагреватели. Такие нагреватели можно использовать многократно благодаря замене вышедшего из строя нагревательного сопротивления. При реконструкции или замене вышедших из строя нагревателей открытого и защищенного исполнения выполняют полный конструктивный расчет, как и для вновь проектируемой ЭТУ. Конструктивный и проверочный расчеты проводят по единой методике, используя одни и те же зависимости.

При расчете исходными данными являются: мощность нагревателя, напряжение питающей сети, температура нагреваемой среды и условия теплообмена.

Расчет нагревателей основан на совместном решении уравнений, связывающих тепловые

$$\Phi = \Phi_{\text{А.пр}} A = \Phi_{\text{А.пр}} \Pi l \quad (3.10)$$

и электрические параметры нагревателя

$$P = U_{\Phi}^2 / R = U_{\Phi}^2 \sigma_{\text{А}} / (\rho_{\text{т}} l), \quad (3.11)$$

где Φ – тепловой поток нагревателя, Вт; P – мощность нагревателя, Вт; $\Phi_{\text{А.пр}}$ – удельный поверхностный тепловой поток нагревателя (провода), Вт/м²; A – площадь поверхности нагревателя, м²; Π – периметр сечения нагревателя, м; l – длина нагревателя, м; R – электрическое сопротивление нагревателя, Ом; $\sigma_{\text{А}}$ – площадь сечения нагревателя, м²; $\rho_{\text{т}}$ – удельное электрическое сопротивление материала нагревателя, Ом · м.

Тепловой расчет нагревателей сводится к определению их рабочей температуры и удельного поверхностного теплового потока или необходимой площади поверхности нагревателя при заданной мощности и определенных условиях теплообмена. При тепловом расчете нагревателей защищенного и герметического (ТЭН) исполнения важно знать рабочую температуру нагревательного сопротивления и его удельный поверхностный тепловой поток. Температура нагревательного сопротивления (спирали) отличается от температуры теплоотдающей поверхности нагревателя защищенного и герметического исполнения на температурный перепад в слое изоляции между нагревательным сопротивлением и корпусом (оболочкой).

Согласно уравнению (2.12) температура нагревательного сопротивления нагревателей защищенного и герметического исполнения

$$T_{\text{с}} = \Delta T + T_{\text{п}} = \Phi R_{\text{т}} + T_{\text{п}}, \quad (3.12)$$

где ΔT – температурный перепад в слое изоляции между нагревательным сопротивлением и наружной поверхностью корпуса (оболочки), К; $T_{\text{п}}$ – температура теплоотдающей поверхности корпуса, К; $R_{\text{т}}$ – общее термическое сопротивление нагревателя, К/Вт; $\Phi = P$ – полезный тепловой поток (или мощность) нагревателя в установившемся режиме, Вт.

Температура теплоотдающей поверхности нагревателя $T_{\text{п}}$ определяется условиями нагреваемой среды. При нагреве воды температуру теплоотдающей поверхности рекомендуется принимать в пределах 376...383 К. Большинство электротермических установок сельскохозяйственного назначения используют для обогрева биологических объектов, которые предъявляют специфические требования к на-

гревателям и температуре их теплоотдающей поверхности. В обогреваемых полах, ковриках температура теплоотдающей поверхности не должна превышать 300...305 К, в электропанелях – 358...363 К, а в электрокалориферах – 453 К.

Термическое сопротивление R_T зависит от условий теплообмена, формы, размеров и конструктивного исполнения нагревателя (устройства). В зависимости от температуры теплоотдающей поверхности нагревателя и свойств нагреваемой среды теплообмен может осуществляться одновременно двумя или тремя видами теплоотдачи. При сложном теплообмене общее термическое сопротивление нагревателя определяют как сумму отдельных термических сопротивлений, последовательно преодолеваемых потоком теплоты. Для электрообогреваемого пола, почвы, панелей термическое сопротивление определяют по соотношениям (2.14), (2.15) и (2.16). Общее термическое сопротивление, К/Вт, теплопроводности нагревателей герметического исполнения (ТЭН):

$$R_T = R_{T.0} + R_{T.H}, \quad (3.13)$$

где $R_{T.0}$ и $R_{T.H}$ – термические сопротивления оболочки (трубки) и наполнителя, К/Вт.

$$R_{T.0} = \frac{1}{2\pi\lambda_o l_a} \ln \frac{d_{o.H}}{d_{o.B}}, \quad (3.14)$$

$$R_{T.H} = \frac{1}{2\pi\lambda_H l_a} \ln \frac{d_{o.B}}{d_{c.H} k_c}, \quad (3.15)$$

где l_a – длина активной части ТЭН, м; $d_{o.H}$ и $d_{o.B}$ – наружный и внутренний диаметры оболочки ТЭН, м; λ_o и λ_H – теплопроводность материала оболочки и наполнителя при рабочей температуре, Вт/(м · К); $d_{c.H}$ – наружный диаметр нагревательного сопротивления (спирали) ТЭН, м; k_c – коэффициент, учитывающий различие условий теплообмена в реальном нагревателе и на модели.

При определенных диаметрах оболочки $d_{o.H}$, $d_{o.B}$ и расчетном тепловом потоке Φ длина, м, активной части нагревателя (ТЭН):

$$l_a = \frac{\Phi}{\pi d_{o.H} \Phi_{A.доп}}, \quad (3.16)$$

где $\Phi_{A.доп}$ – допустимый удельный поверхностный тепловой поток на оболочке ТЭН, Вт/м².

Коэффициент

$$k_c = 1 - 0,215 \frac{d}{d_{c.H}} \left(\frac{l_{ш}}{d} - 0,6 \right) \left(1 + 2 \frac{d_{c.H}}{d_{o.B}} \right), \quad (3.17)$$

где d – диаметр проволоки спирали, м; $l_{ш}$ – шаг спирали, м.

Приведенные формулы справедливы при следующих соотношениях параметров:

$$d_{c.H} / d_{o.B} = 0,33 \dots 0,835; \quad l_{ш} / d = 2 \dots 6; \quad d / d_{o.H} = 0,025 \dots 0,05.$$

Теплопроводность материала наполнителя определяют по расчетным зависимостям или принимают по табл. 3.1.

В предварительных расчетах R_T и k_c можно определить по усредненным соотношениям параметров. Соотношение $d / d_{c.H}$ можно принять в пределах $0,1 \dots 0,16$.

Таблица 3.1

Характеристика электроизоляционных наполнителей

Наполнитель	Рабочая температура ТЭН, К	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	Температура размягчения, К
Периклаз	973	1,5	3073
Электрокорунд	973	1,4	3273
Кварцевый песок	673	1,0	1973

С учетом уравнения (2.8) удельный поверхностный тепловой поток, Вт/м², нагревательного сопротивления (провода):

$$\Phi_{A.пр} = \Delta T / r_T, \quad (3.18)$$

где r_T – удельное термическое сопротивление потоку теплоты с 1 м² поверхности провода (м² · К)/Вт.

Для нагревателей цилиндрической формы (ТЭН):

$$r_T = R_m l_a \pi d_э, \quad (3.19)$$

где $d_э$ – диаметр эквивалентного цилиндрического стержня, теплоотдача которого равнозначна теплоотдаче спирали, м.

При выбранном диаметре оболочки $d_{o.B}$ и принятом усредненном соотношении $d_{c.H} / d_{o.B}$ значение $d_э$ определяют по выражению

$$d_3 = k_c d_{0,в} (0,33 \dots 0,835). \quad (3.20)$$

При тепловом расчете открытых нагревателей определяют коэффициент теплоотдачи, температуру поверхности и удельный поверхностный тепловой поток. Теплообмен открытых нагревателей с воздушно-газовой средой осуществляется преимущественно конвекцией и излучением.

В низкотемпературных электротермических установках преобладает конвективный теплообмен. Различают свободную и вынужденную конвекцию.

При вынужденной конвекции на интенсивность теплоотдачи влияют форма, размеры нагревателя, схема обтекания потоком и скорость течения воздуха. При поперечном обтекании спиральных проволочных и зигзагообразных ленточных нагревателей коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К), определяют по эмпирическим зависимостям:

при числе Рейнольдса $Re = \frac{vd}{\nu} \leq 1000$

$$\alpha = 10,79 \frac{\lambda_{в}^{0,62} c_{в}^{0,38} \rho_{в}^{0,47} \nu^{0,47}}{\mu_{д}^{0,09} d^{0,53}}; \quad (3.21)$$

при $Re > 1000$

$$\alpha = 2,73 \frac{\lambda_{в}^{0,62} c_{в}^{0,38} \rho_{в}^{0,62} \nu^{0,62}}{\mu_{д}^{0,24} d^{0,38}}, \quad (3.22)$$

где ν – скорость потока воздуха, м/с; d – размер обтекаемого воздухом тела (диаметр провода), м; ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с; $\lambda_{в}$ – теплопроводность воздуха, Вт/(м · К); $\rho_{в}$ – плотность воздуха, кг/м³; $c_{в}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К); $\mu_{д}$ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па · с.

Теплофизические параметры воздуха выбирают по его средней температуре.

Удельное термическое сопротивление, м² · К/Вт, потоку теплоты согласно уравнению (2.17):

$$r_T = 1/\alpha. \quad (3.23)$$

Чтобы найти температуру теплоотдающей поверхности обретенных ТЭН и снимаемый с них тепловой поток, необходимо также знать коэффициент теплоотдачи.

При поперечном обтекании шахматных пучков оребренных труб (ТЭН) коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К), определяется по формуле

$$\alpha = 0,213 \frac{\lambda_{\text{в}}}{l_{\text{ш.п}}^{0,35}} \text{Pr}^{0,35} \left(\frac{d_{\text{т.п}}}{l_{\text{ш.п}}} \right)^{-0,54} \left(\frac{h_{\text{р}}}{l_{\text{ш.п}}} \right)^{-0,14} \left(\frac{v}{v} \right)^{0,65}, \quad (3.24)$$

где $l_{\text{ш.п}}$ – шаг ребер, м; $\text{Pr} = \nu / a_{\text{т}}$ – число Прандтля [3]; $d_{\text{т.п}}$ – наружный диаметр несущей трубы ТЭН, м; $h_{\text{р}}$ – высота ребра, м; $a_{\text{т}}$ – коэффициент температуропроводности воздуха, м²/с.

В электротермических установках с рабочей температурой более 970 К (теплоаккумулирующие установки, электропечи) теплообмен осуществляется преимущественно излучением.

Для реального нагревателя допустимый удельный тепловой поток, Вт/м²:

$$\Phi_A = \Phi_{\text{Аид}} k_{\text{эф}}, \quad (3.25)$$

где $\Phi_{\text{Аид}}$ – удельный тепловой поток идеального «серого» нагревателя, Вт/м²; $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности излучения нагревателя.

Удельный тепловой поток, Вт/м², идеального «серого» нагревателя:

$$\Phi_{\text{Аид}} = \Phi_{\text{Аидс}} c_{1,2}, \quad (3.26)$$

где $\Phi_{\text{Аидс}}$ – удельный тепловой поток идеального абсолютно черного нагревателя, Вт/м²; $c_{1,2}$ – приведенная излучательная способность тел, участвующих при теплообмене:

$$c_{1,2} = 1 / \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{н}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{м}}} - 1 \right), \quad (3.27)$$

где $\varepsilon_{\text{н}}$, $\varepsilon_{\text{м}}$ – коэффициент теплового излучения нагревателя и материала (изделия).

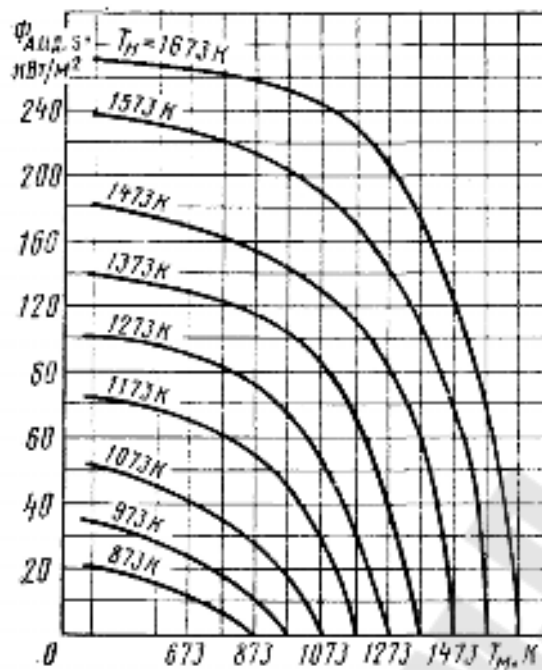


Рис. 3.6. Кривые удельного поверхностного теплового потока идеального абсолютно черного нагревателя в зависимости от температуры нагревателя (T_H) и материала (T_M)

Электрический расчет сводится к определению геометрических размеров нагревательного сопротивления, обеспечивающих необходимую мощность и температуру теплоотдающей поверхности нагревателя. В установившемся режиме электрическая мощность равна тепловому потоку, отдаваемому с поверхности нагревателя, т. е. $P = \Phi$. Используя зависимости (3.22) и (3.23), можно записать соотношение

$$\frac{P}{\Phi_{\text{appr}} \Pi} = \frac{U_{\phi}^2 \sigma_A}{R \rho_m}. \quad (3.28)$$

Для нагревателей круглого сечения $\Pi = \pi d$ и $\sigma_A = \pi d^2 / 4$. Подставляя эти значения в уравнение (3.28), получим формулу для расчета диаметра, м, нагревателя:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho_m P^2}{\pi^2 U_{\phi}^2 \Phi_{\text{appr}}}}. \quad (3.29)$$

Длину нагревательного сопротивления определяют по формуле (3.23) путем подстановки в нее выражения (3.29) с учетом, что $\sigma_A = \pi d^2 / 4$. Для нагревателя круглого сечения длина, м:

$$l = \sqrt[3]{\frac{PU_{\phi}^2}{4\pi\rho_m\Phi_{\text{Апр}}^2}}. \quad (3.30)$$

Расчетные значения диаметра округляют до ближайших больших по сортаменту размеров.

В ТЭН применяют проволоку диаметром от 0,25 до 1,6 мм. В электротермических установках средне- и высокотемпературного нагрева (970 К) по условиям надежности работы нагревателей открытого исполнения не рекомендуется использовать проволоку диаметром менее 5 мм. Диаметр проволочной спирали выбирают по условиям механической прочности. Для нихромов:

$$d_{\text{с.н}} = (7...10)d, \quad (3.31)$$

для железохромоалюминиевых сплавов (фехраль):

$$d_{\text{с.н}} = (5...7)d. \quad (3.32)$$

Шаг спирали (см. рис. 3.3, а):

$$l_{\text{ш}} = (2...6)d, \quad (3.33)$$

длина спирали:

$$l_{\text{с}} = n_{\text{в.с}} l_{\text{ш}}, \quad (3.34)$$

где $n_{\text{в.с}} = \frac{1}{\sqrt{(\pi d_{\text{с.н}})^2 + l_{\text{ш}}^2}}$ – число витков спирали.

Размеры зигзагообразных нагревателей выбирают по условиям механической прочности и технологических возможностей изготовления.

Высота зигзага проволочного нагревателя (см. рис. 3.3, б):

$$h_3 = (25...23)d. \quad (3.35)$$

Шаг волны проволочного нагревателя:

$$l_{\text{ш}} \geq 5d. \quad (3.36)$$

Длина «гармоники» зигзагообразного проволочного нагревателя:

$$l_{\text{Г}} = n_{\text{в.Г}} l_{\text{ш}} \approx \frac{l}{2h_3} l_{\text{ш}}, \quad (3.37)$$

где $n_{\text{в.Г}}$ – число волн в «гармонике».

3.11. Нагревательные провода и кабели

В низкотемпературных процессах сельскохозяйственного производства широко применяют нагревательные провода и кабели. Промышленность выпускает одножильные нагревательные провода марок ПОСХВ, ПОСХП и ПОСХВТ.

Токопроводящую жилу изготавливают из стальной оцинкованной низкоуглеродистой проволоки диаметром 1,1 мм для проводов марки ПОСХВ и ПОСХП и диаметром 1,4 мм для проводов марки ПОСХВТ. В качестве изоляции в проводах марки ПОСХВ и ПОСХВТ используют поливинилхлоридный пластикат, а для провода марки ПОСХП – полиэтилен.

Промышленность выпускает нагревательные кабели марки КНМСС, КНМСН и др. В отличие от проводов кабели могут иметь до четырех токопроводящих жил из стальной проволоки, никрома, никеля или константана. Токопроводящие жилы размещают в одной, двух или трех оболочках из нержавеющей стали. Промежутки между оболочкой и жилой заполняют периклазом марки ПЭ-1М или ПЭ-ВМ. Снаружи кабель имеет оболочку, предохраняющую его от воздействия агрессивных сред и механических повреждений.

Провода и кабели предназначены для фиксированного монтажа при напряжении 220 В.

4. ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

4.1. Особенности индукционного нагрева

Индукционный нагрев – нагрев токопроводящих тел в электромагнитном поле за счет индуктирования в них вихревых токов. При этом электрическая энергия преобразуется трижды. Сначала при помощи индуктора она преобразуется в энергию переменного магнитного поля, которая в теле, помещенном в индуктор, превращается в энергию электрического поля. И, наконец, под действием электрического поля в нагреваемом токопроводящем материале начинают двигаться заряды, которые при столкновении с нейтральными атомами и молекулами увеличивают их тепловое движение, т. е. энергия электрического поля превращается в тепловую.

Так как плотность тока по сечению нагреваемого проводящего тела неодинакова, то наибольшего значения она достигает на поверх-

ности проводника, а по мере приближения к его центру убывает. Это явление названо поверхностным эффектом. В слое толщиной $z = \Delta_2$ выделяется 87 % тепловой энергии. На расстоянии $z = \Delta_2$ от поверхности мощность снижается в 7,4 раза, а плотность тока – в 2,7 раза. На интенсивность и характер нагрева значительно влияют частота тока, напряженность электрического и магнитного полей. Изменяя частоту тока, можно получить необходимый по технологическим условиям характер нагрева и его интенсивность.

В зависимости от используемых частот установки индукционного нагрева подразделяются на: низкочастотные (50 Гц), среднечастотные (до 10 кГц) и высокочастотные (свыше 10 кГц).

4.2. Индукторы. Конструктивное исполнение и область применения

Установки индукционного нагрева применяют на ремонтных предприятиях АПК. Токи средней и высокой частоты используют для сквозного нагрева деталей перед горячей деформацией, при восстановлении их методами наплавки, металлизации и пайки, а также для поверхностной закалки деталей и других технологических операций. Для нагрева или поверхностной закалки на средней и высокой частоте применяют специальные индукционные нагреватели, основным элементом которых является индуктор.

В зависимости от назначения и формы нагреваемого изделия применяют цилиндрические, овальные, щелевые, стержневые, плоские и петлевые индукторы. Изделия прямоугольной формы нагревают в овальных, плоских и петлевых индукторах. Для цилиндрических изделий используют индукторы практически всех типов.

Цилиндрические индукторы (рис. 4.1) наиболее просты по конструкции и надежны в эксплуатации. Их общий КПД достаточно высокий. Индуктор имеет многовитковый индуктирующий провод из медной трубки, создающий магнитное поле, токопроводящие шины и контактные колодки для присоединения к источнику питания, а также устройство для подачи воды, охлаждающей индуктор. В индукторах для сквозного нагрева изделий использована тепловая изоляция.

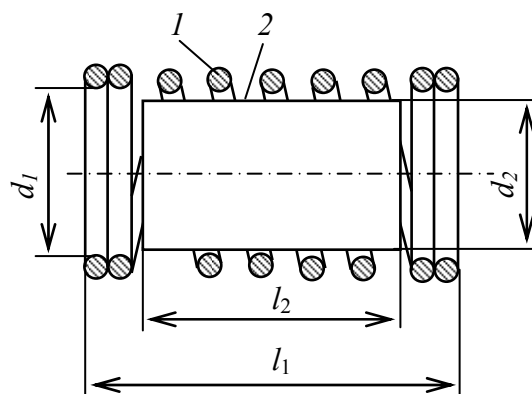


Рис. 4.1. Цилиндрический индуктор:
1 – индуктор; 2 – деталь

Перспективны индукционные устройства промышленной частоты, так как по своему техническому оснащению они самые простые, имеют невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные характеристики, надежны и безопасны в обслуживании. Для низкотемпературных электротермических процессов применяют индукционные нагреватели типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе», нагреватели с индуктором, охватывающим снаружи нагреваемое изделие, нагреватели трансформаторного типа и др.

Индукционные нагреватели типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе» могут использоваться в устройствах для обогрева полов, панелей и стен в животноводческих помещениях, для обогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах.

Нагреватель (рис. 4.2) представляет собой ферромагнитную трубу, внутри которой расположена индуктирующая одно- или многожильная обмотка, выполняемая из стержней, установочного провода или контрольного кабеля. Ферромагнитная труба является одновременно приемником энергии магнитного поля и генератором теплоты, служит несущей конструкцией и защищает обмотку индуктора от механических повреждений. Переменный магнитный поток Φ , создаваемый индуктирующей обмоткой нагревателя, наводит в ферромагнитной трубе вихревые токи, которые нагревают ее. В трубе выделяется 80...85 % всей тепловой энергии, в индукторе – 15...20 %. Благодаря последовательному соединению жил обмотки индуктора нагреватель может быть включен на сетевое напряжение. В зависимости от материала и диаметра труб, воздушного зазора между обмоткой индуктора и трубой коэффициент мощности нагревателя составляет 0,88...0,92.

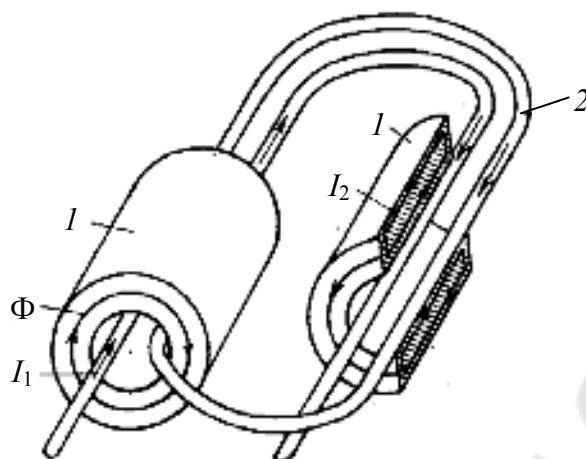


Рис. 4.2. Многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе:
1 – стальная труба; 2 – индуктирующий провод

Нагреватели с индуктором, охватывающим снаружи нагреваемое изделие, применяют для обогрева трубопроводов, нагрева воды и в других технологических процессах. Нагреватель (см. рис. 4.1) состоит из ферромагнитной трубы (или корпуса), на наружную поверхность которой наматывается индуктирующая одно- или многослойная обмотка, выполненная из провода с термостойкой изоляцией. Нагреватели изготавливают в однофазном и трехфазном исполнении. В зависимости от технологических требований нагреватель можно подключать на пониженное или сетевое напряжение.

Нагреватели трансформаторного типа применяют при тепло-снабжении и горячем водоснабжении животноводческих, производственных и бытовых помещений.

Водонагреватель-трансформатор (рис. 4.3) изготовлен на магнитной системе трехфазного трансформатора. Его первичная обмотка, выполненная медным проводом, рассчитана на сетевое напряжение. Вторичная обмотка – это стальные трубы в виде электрически замкнутых накоротко змеевиков, по которым пропускается нагреваемая вода. При протекании электрического тока по первичной обмотке создается переменное магнитное поле, силовые линии которого замыкаются по сердечнику-магнитопроводу, пересекают вторичную обмотку и наводят в ней ЭДС. Под действием ЭДС во вторичной обмотке, замкнутой накоротко, протекает ток. Обмотка нагревается и передает теплоту воде, используемой для ее охлаждения.

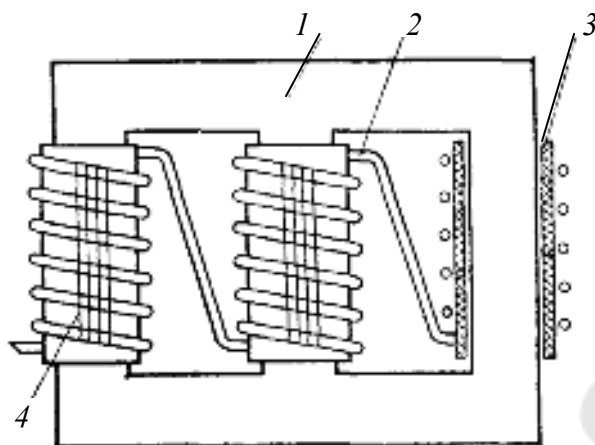


Рис. 4.3. Устройство с замкнутым магнитопроводом (водонагреватель-трансформатор): 1 – магнитопровод-сердечник; 2 – вторичная обмотка из стальных труб; 3 – первичная обмотка; 4 – закорачивающие шины

Трехфазные проточные индукционные водонагреватели трансформаторного типа 084ПВ-1 мощностью 30 кВт применяют в сельскохозяйственном производстве.

4.3. Расчет индукционных нагревателей на промышленной частоте

В инженерной практике для расчета нагревателей применяют графоаналитические методы, основанные на экспериментальных исследованиях определенного типа устройства.

Расчет нагревателей типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе» (см. рис. 4.2). Для расчета индукционных нагревателей этого типа можно использовать упрощенную методику. Методика основана на математической обработке экспериментальных данных, полученных для труб с внутренним диаметром $d_{тр} = 0,015; 0,02$ и $0,025$ м.

При температуре нагрева трубы до $T_{п} = 373$ К тепловой поток, Вт/м, приходящийся на 1 м длины нагревателя, определяют по выражению

$$\Phi_l = k_2 \Delta T - k_1, \quad (4.1)$$

где ΔT – перепад температур между окружающей средой и трубой, К.

Напряжение, которое необходимо приложить к отрезку нагревателя длиной в 1 м, В/м, находят по формуле

$$U_l = k_3 + 0,006\Delta T, \quad (4.2)$$

где k_1 , k_2 и k_3 – расчетные коэффициенты, зависящие от диаметра трубы (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения расчетных коэффициентов k_1 , k_2 и k_3

Диаметр трубы d , м	k_1	k_2	k_3
0,015	6	0,96	0,35
0,02	7,5	1,25	0,33
0,025	9	1,55	0,31

По расчетным значениям U_l и Φ_l определяют конструктивные параметры нагревателя.

Длина провода, м, индуктора на фазу:

$$l_{\text{пр}} = U_{\phi} / U_l. \quad (4.3)$$

Длину нагревателя, м, подключаемого на фазное напряжение U_{ϕ} питающей сети, определяют по выражению

$$l_{\phi} = P_{\phi} / \Phi_l, \quad (4.4)$$

где P_{ϕ} – мощность нагревателя на фазу, Вт.

Число проводов, прокладываемых в трубе:

$$n_{\text{пр}} = l_{\text{пр}} / l_{\phi}. \quad (4.5)$$

Ток, А, индуктора:

$$I = 1,09P_{\phi} / U_{\phi}. \quad (4.6)$$

По расчетному току индуктора I и температуре поверхности нагревателя $T_{\text{п}}$ выбирают марку и сечение провода.

5. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

5.1. Основы нагрева

Под диэлектрическим нагревом понимается нагрев диэлектриков и полупроводников в переменном электрическом поле, под действием которого нагреваемый материал поляризуется. Поляризация – это процесс смещения связанных зарядов, приводящий к появлению

электрического момента у любого макроскопического элемента объема. Поляризацию разделяют на упругую и релаксационную: упругая (безынерционная) обуславливает энергию электрического поля, а релаксационная (инерционная) – теплоту, выделяющуюся в нагреваемом материале. При релаксационной поляризации внешним электрическим полем совершается работа по преодолению сил внутренних связей («трения») атомов, молекул, заряженных комплексов. Половина этой работы превращается в теплоту.

Мощность, выделяющуюся в диэлектрике, обычно относят к единице объема и вычисляют по формуле

$$\dot{S}_V = \dot{\gamma} E_M^2, \quad (5.1)$$

где $\dot{\gamma}$ – комплексно-сопряженная проводимость материала; E_M – напряженность электрического поля в материале. Комплексная проводимость:

$$\dot{\gamma} = j\omega\dot{\epsilon}_0\dot{\epsilon}_r, \quad (5.2)$$

где $\dot{\epsilon}_r$ – полная комплексная диэлектрическая проницаемость:

$$\dot{\epsilon}_r = \epsilon' - j\epsilon''. \quad (5.3)$$

Действительная часть ϵ' , называемая диэлектрической проницаемостью, влияет на количество энергии, которая может быть запасена в материале. Мнимая часть ϵ'' , называемая фактором потерь, является мерой энергии (теплоты), рассеиваемой в материале.

Фактор потерь учитывает энергию, выделяющуюся в материале как за счет поляризации, так и за счет токов сквозной проводимости.

В практике расчетов используют величину, называемую тангенсом угла потерь:

$$\operatorname{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon'. \quad (5.4)$$

Тангенс угла потерь определяет отношение энергии, расходуемой на нагрев, к запасенной энергии электромагнитных колебаний.

С учетом изложенного, объемная удельная активная мощность, Вт/м³:

$$P_V = \omega\epsilon_0\epsilon''E_M^2 = 55,5 \cdot 10^{-12} f\epsilon''E_M^2$$

или

$$P_V = \omega\epsilon_0\epsilon'\operatorname{tg}\delta E_M^2 = 55,5 \cdot 10^{-12} \epsilon'f\operatorname{tg}\delta E_M^2. \quad (5.5)$$

Таким образом, удельная объемная мощность пропорциональна квадрату напряженности электрического поля в нагреваемом материале, частоте и фактору потерь.

Напряженность электрического поля в нагреваемом материале зависит от приложенного напряжения, диэлектрической проницаемости ϵ' , расположения и формы электродов, образующих поле. Для некоторых наиболее часто встречающихся в практике случаев расположения электродов напряженность электрического поля рассчитывают по формулам, приведенным на рис. 5.1.

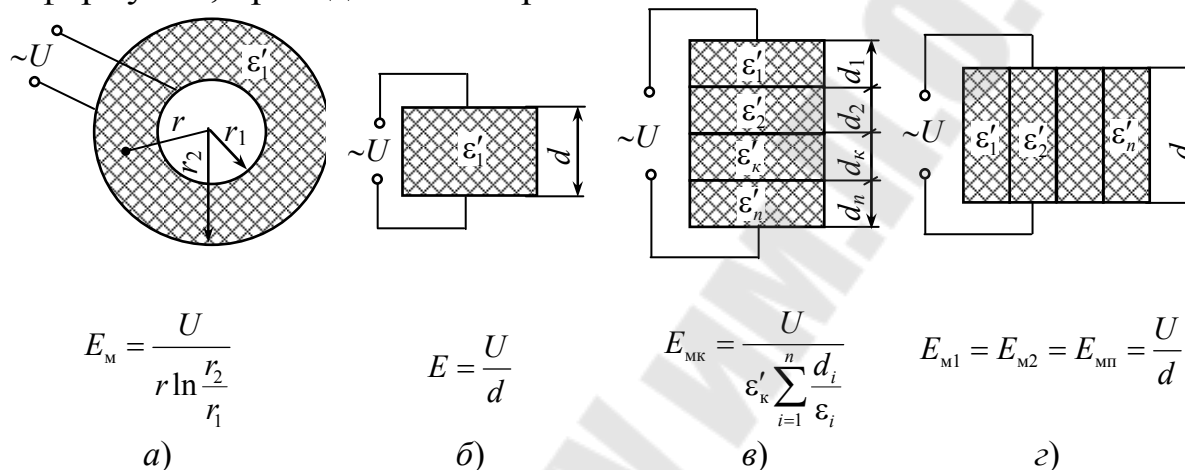


Рис. 5.1. К расчету напряженности электрического поля:

а – цилиндрический конденсатор; б – плоский однослойный конденсатор; в, г – плоский многослойный конденсатор с расположением слоев материала соответственно поперек и вдоль электрического поля

Следует отметить, что предельное максимальное значение E_M ограничивается электрической прочностью нагреваемого материала. Напряженность не должна превышать половины пробивной напряженности. E_M для семян зерновых и овощных культур принимается в пределах (5...10) 10^3 В/м, для дерева – (5...40) 10^3 В/м, поливинилхлорида – (1...10) 10^5 В/м.

Фактор потерь ϵ'' зависит от химического состава и структуры материала, его температуры и влагосодержания, от частоты и напряженности электрического поля в материале.

5.2. Особенности диэлектрического нагрева материалов

Диэлектрический нагрев применяют в различных отраслях народного хозяйства (рис. 5.2).

Основные особенности диэлектрического нагрева состоят в следующем:

1. Теплота выделяется в самом нагреваемом материале, что позволяет в десятки и сотни раз ускорить нагрев (по сравнению с конвективным). Это особенно заметно для материалов с малой теплопроводностью (дерева, зерна, пластмасс и др.).

2. Диэлектрический нагрев селективен: удельная объемная мощность, а следовательно, и температура каждого компонента неоднородного материала различна. Эту особенность в сельском хозяйстве используют, например, при дезинсекции зерна и замаривании шелкопряда.



Рис. 5.2. Применение диэлектрического нагрева

3. При диэлектрической сушке теплота выделяется внутри материала, а следовательно, температура в центре выше, чем на периферии. Влага внутри материала перемещается от влажного слоя к сухому и от горячего к холодному. Так, при конвективной сушке температура внутри материала ниже, чем на периферии, и поток влаги, обусловленный температурным градиентом, препятствует перемещению влаги к поверхности. Это значительно снижает КПД конвективной сушки. При диэлектрической же сушке потоки влаги, обусловленные разностью температур и влажностью, совпадают. Это – главное достоинство сушки с диэлектрическим нагревом.

4. При нагреве и сушке в электрическом поле высокой частоты уменьшается фактор потерь, а следовательно, и мощность теплового потока. Чтобы поддержать мощность на необходимом уровне следует изменять частоту или напряжение, подводимое к конденсатору.

5.3. Установки для диэлектрического нагрева

Промышленность выпускает как специализированные высоко-частотные установки, предназначенные для термообработки одного или нескольких видов изделий, так и установки общего применения. Несмотря на эти различия, все высокочастотные установки имеют одинаковую структурную схему (рис. 5.3).

Материал нагревают в рабочем конденсаторе высокочастотного устройства 1. Напряжение высокой частоты подводится к рабочему конденсатору через блок промежуточных колебательных контуров 2, предназначенных для регулирования мощности и настройки генератора 3. Ламповый генератор преобразует постоянное напряжение, получаемое от полупроводникового выпрямителя 4, в переменное высокой частоты. При этом в ламповом генераторе расходуется не менее 20...40 % всей энергии, получаемой от выпрямителя. Основная часть энергии теряется на аноде лампы, который приходится охлаждать водой. Анод лампы находится под напряжением относительно земли 5...15 кВ, поэтому система изолированного подвода охлаждающей воды очень сложная. Трансформатор 5 предназначен для повышения сетевого напряжения до 6...10 кВ и исключения кондуктивной связи генератора с питающей сетью. Блок 6 используют для включения и отключения установки, последовательного выполнения технологических операций, защиты от аварийных режимов.

Установки диэлектрического нагрева отличаются одна от другой мощностью и частотой генератора, конструкцией вспомогательного оборудования, предназначенного для перемещения и удержания обрабатываемого материала, а также для механического воздействия на него.

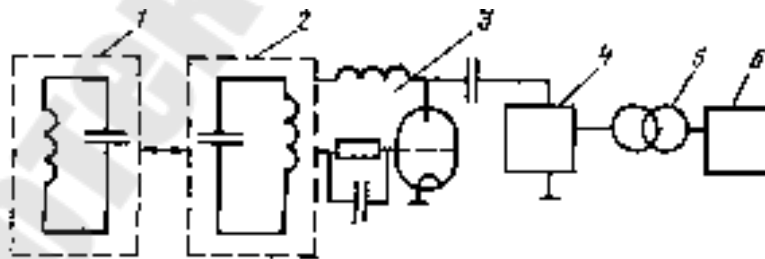


Рис. 5.3. Структурная схема высокочастотной установки:

- 1 – высокочастотное устройство с нагрузочным конденсатором;
- 2 – блок промежуточных колебательных контуров с регулятором мощности, подстроечными емкостями и индуктивностями; 3 – ламповый генератор с анодно-разделительными и сеточными цепями; 4 – полупроводниковый выпрямитель; 5 – повышающий трансформатор; 6 – блок защиты установки от ненормальных режимов работы

Промышленность выпускает большое число высокочастотных установок различного назначения. Для термообработки продукции используют серийные высокочастотные генераторы, к которым изготавливают специализированные приспособления. Технические характеристики некоторых высокочастотных генераторов приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Основные технические данные некоторых высокочастотных генераторов

Параметры	ВЧГЗ-10/13	ВЧГЗ-60/13	ВЧГ1-160/13	ВЧГ4-4/27	ВЧГ2-10/27	ВЧГ2-25/27
Номинальная мощность (колебательная), кВт	10	60	160	4	10	25
Рабочая частота, МГц	13,56	13,56	13,56	27,12	27,12	27,12
Номинальное напряжение (анодное), кВ	7,5	10	10,5	6	7,5	7,5
Мощность, потребляемая из сети, кВт	18,5	85	300	7	20	38

Выбор генератора для диэлектрического нагрева сводится к определению его мощности и частоты.

Колебательная мощность P_{Γ} высокочастотного генератора должна быть больше теплового потока Φ , необходимого для термической обработки материала, на значение потерь в рабочем конденсаторе и блоке промежуточных колебательных контуров:

$$P_{\Gamma} = \Phi / (\eta_{\kappa} \eta_{\varepsilon} \eta_{\Delta}), \quad (5.6)$$

где η_{κ} – КПД рабочего конденсатора, зависящий от площади теплоотдающей поверхности, коэффициента теплоотдачи и разности температур между материалом и средой ($\eta_{\kappa} = 0,8 \dots 0,9$); η_{ε} – электрический КПД колебательного контура ($\eta_{\varepsilon} = 0,65 \dots 0,7$); η_{Δ} – КПД, учитывающий потери в высокочастотных соединительных проводах ($\eta_{\Delta} = 0,9 \dots 0,95$).

Мощность, потребляемая генератором из сети:

$$P_{\text{с}} = P_{\Gamma} / \eta_{\Gamma} = \Phi / (\eta_{\kappa} \eta_{\varepsilon} \eta_{\Delta} \eta_{\Gamma}), \quad (5.7)$$

где η_{Γ} – КПД генератора ($\eta_{\Gamma} = 0,65 \dots 0,85$).

Общий КПД высокочастотной установки определяется произведением КПД всех ее блоков и равен $0,3 \dots 0,5$.

Столь малый КПД – существенный фактор, сдерживающий широкое применение диэлектрического нагрева в сельскохозяйственном производстве.

Улучшить энергетические показатели высокочастотных установок можно, используя теплоту, рассеиваемую генератором.

Частоту тока при нагреве диэлектриков и полупроводников выбирают, исходя из требуемого теплового потока Φ . При термообработке сельскохозяйственных продуктов удельный объемный поток ограничивается допустимой скоростью нагрева и сушки. Из баланса мощностей в рабочем конденсаторе имеем:

$$P_V V = \Phi / \eta_k, \quad (5.8)$$

где V – объем нагреваемого материала, м³.

Минимальную частоту, при которой технологический процесс протекает с заданной скоростью, получим, подставив значение P_V из выражения (5.5) в уравнение (5.8) и решив последнее относительно частоты:

$$f_{\min} = \frac{\Phi}{55,5 \cdot 10^{-12} \varepsilon'' E_{\max} \eta_k V}, \quad (5.9)$$

где E_{\max} – максимально допустимая напряженность электрического поля в материале, В/м.

При увеличении частоты уменьшается E_m , а следовательно, и увеличивается надежность технологического процесса. Вместе с тем существуют некоторые ограничения на увеличение частоты. Повышать частоту нецелесообразно, если при этом фактор потерь резко уменьшается. Кроме того, с повышением частоты усложняется согласование параметров нагрузки и генератора. Максимальная частота, Гц, при которой это согласование обеспечивается:

$$f'_{\max} = 1 / (2\pi\sqrt{LC}), \quad (5.10)$$

где L и C – минимально возможные эквивалентные значения индуктивности и емкости нагрузочного контура с рабочим конденсатором.

При больших линейных размерах рабочего конденсатора повышение частоты может привести к неравномерному распределению напряжения вдоль электрода, а следовательно, и неравномерному нагреву. Максимально допустимая частота, Гц, по этому условию:

$$f''_{\max} = 3 \cdot 10^7 / (l \sqrt{\varepsilon'}), \quad (5.11)$$

где l – наибольший размер обкладки рабочего конденсатора, м.

5.4. Нагрев диэлектриков на сверхвысоких частотах

Характер электромагнитных полей сверхвысоких частот – ярко выраженный волновой. Для нагрева тело облучают электромагнитной волной, свободнопадающей, бегущей либо стоячей. Нагревательными устройствами в данном случае являются уже не рабочие конденсаторы, а антенны, волноводы или объемные резонаторы. При использовании для нагрева диэлектриков сверхвысоких частот (СВЧ) получают достаточно высокие мощности P_V при сниженных значениях напряженности электрического поля. Это особенно важно для нагрева материалов высокой влажности.

Для генерирования энергии обычные ламповые генераторы непригодны из-за механической инерции электронов, которая уже проявляется при частотах более 100 мГц. Для этой цели используют специальные приборы-магнетроны, в которых колебания СВЧ генерируются модуляцией электронного потока по скорости. Установки СВЧ-нагрева используют для приготовления пищи, размораживания продуктов, нагрева листовых диэлектрических материалов.

Проводят исследования по использованию энергии СВЧ для стимуляции семян и борьбы с сорняками.

6. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ (ЭТО) ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ И ГЕНЕРАЦИИ ПАРА

6.1. Особенности снабжения сельскохозяйственных потребителей горячей водой и паром. Выбор электротермического оборудования

Горячую воду и пар используют в качестве теплоносителей в системах отопления, в процессах кормоприготовления, в защищенном грунте для полива, в мастерских, для удовлетворения санитарно-гигиенических нужд и др. Животноводческие фермы – наиболее крупные потребители горячей воды. На фермах горячую воду с температурой 353 К используют для мытья посуды, сепараторов, пастеризаторов, молокопроводов, автоцистерн, молочных танков и др. Для подмывания вымени коров применяют воду температурой 313 К, а для поения животных – температурой 285 К.

Обычно воду нагревают до 353...363 К, а затем путем добавления холодной (непосредственно у потребителя) доводят ее до нужной температуры. Массу горячей воды (или расход), необходимую для получения заданного количества воды (или расхода) $M_{см}$ температурой $T_{см}$, определяют по формуле

$$M_{г} = M_{см} \frac{T_{см} - T_{х}}{T_{г} - T_{х}}, \quad (6.1)$$

где $T_{х}$ – температура холодной воды; $T_{г}$ – температура горячей воды.

Расход теплоты на нагрев воды и получение пара зависят от климатического района, в котором находится ферма, вида животных и технологии их содержания.

Суточный график тепловых нагрузок строят на основе суточного графика расхода воды и пара по отдельным процессам. Расход горячей воды, а следовательно, и теплоты на животноводческих фермах резко меняется в течение суток (рис. 6.1). Переменные тепловые нагрузки значительно усложняют условия теплоснабжения. Оборудование для нагрева воды и генерации пара длительное время работает при минимальных нагрузках, что существенно ухудшает его технологические показатели.

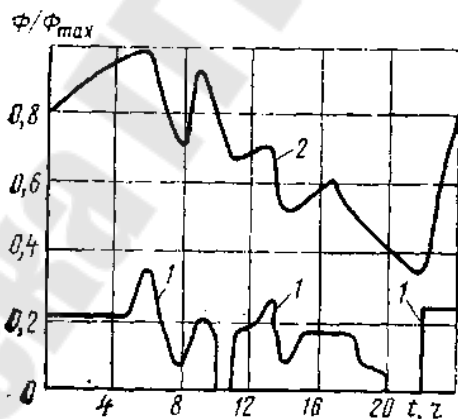


Рис. 6.1. Суточный график тепловой нагрузки фермы КРС Ставропольского края (зимний сезон): 1 – тепловой поток для нагрева воды и генерации пара; 2 – суммарная тепловая нагрузка фермы

В сельском хозяйстве горячую воду и пар получают в огневых и электрических водонагревателях и парогенераторах. Электрические водонагреватели и парогенераторы устанавливают непосредственно у потребителей, что позволяет отказаться от трубопроводов, используемых при централизованном теплоснабжении от котельных. Это

значительно уменьшает расход металла и потери теплоты, что особенно целесообразно на объектах с невысоким годовым числом часов использования оборудования.

Распространению электрических водонагревателей и парогенераторов способствуют простота устройства и обслуживания, постоянная готовность к работе, легкость автоматизации.

По принципу действия электрические водонагреватели делятся на элементные, электродные и индукционные.

Водонагреватели бывают проточного и непроточного (аккумуляционного) типа. Проточные аппараты позволяют получить горячую воду сразу после включения. Однако они имеют большую установленную мощность на единицу тепловой энергии. Непроточные аппараты имеют меньшие удельные установленные мощности и могут включаться в часы провалов в суточных графиках нагрузки подстанций.

Мощность проточного водонагревателя или парогенератора:

$$P_{\text{пр}} = \frac{k_3 \Phi_{\text{м}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{с}}}, \quad (6.2)$$

где k_3 – коэффициент запаса; $\Phi_{\text{м}}$ – максимальный тепловой поток в течение суток, Вт; $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{с}}$ – КПД нагревателя и системы труб.

Мощность водонагревателя аккумуляционного типа:

$$P_{\text{ак}} = \frac{k_3 Q_{\text{сут}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{с}} t_{\text{р}}}, \quad (6.3)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточное количество теплоты, Дж (находят интегрированием суточного графика тепловых нагрузок); $t_{\text{р}}$ – суммарное время нагрева в течение суток, с.

Водонагреватели (парогенераторы) выбирают по мощности, температуре, расходу воды (пара) и назначению. Электродные водонагреватели по сравнению с элементными проще по конструкции, дешевле, надежнее (не выходят из строя при включении без воды), имеют более высокий КПД, могут быть выполнены на значительно большие мощности и др. Их недостатки: зависимость мощности от состава и температуры воды; вода загрязняется продуктами электрохимических реакций, происходящих на электродах; обладают повышенной электроопасностью.

Индукционные водонагреватели просты, надежны и не загрязняют воду. К их недостаткам следует отнести пониженные $\cos\phi$ и КПД, а также повышенную материалоемкость.

6.2. Электродные водонагреватели и парогенераторы

В сельском хозяйстве наиболее распространены низковольтные водонагреватели типа ЭПЗ, КЭВЗ, КЭВ и парогенераторы типа КЗП и КЭПР.

Электродные водонагреватели. Электродные водонагреватели типа ЭПЗ предназначены для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения помещений сельскохозяйственного назначения, а также жилых и общественных зданий. Водонагреватели для горячего водоснабжения можно использовать лишь при наличии теплообменника, в первичный замкнутый контур которого включается водонагреватель, а из вторичного контура отбирается горячая вода.

При таком режиме работы существенно проще поддерживать требуемое значение удельного электрического сопротивления воды, легче бороться с коррозией и накипеобразованием.

Принципиальная электрическая схема управления водонагревателем ЭПЗ-100 показана на рис. 6.2. Схема предусматривает: ручной и автоматический режимы работы (переключатель *SA* соответственно в положении 1 или 2), поддержание заданной температуры воды (датчик *SK1*), защиту установки, если температура воды превышает допустимую (датчик *SK2*), отключение водонагревателя при появлении в нулевом проводе тока утечки, равного 25 % фазного тока (реле *KA*), защиту силовых и вспомогательных цепей от токов короткого замыкания (предохранители *FU*).

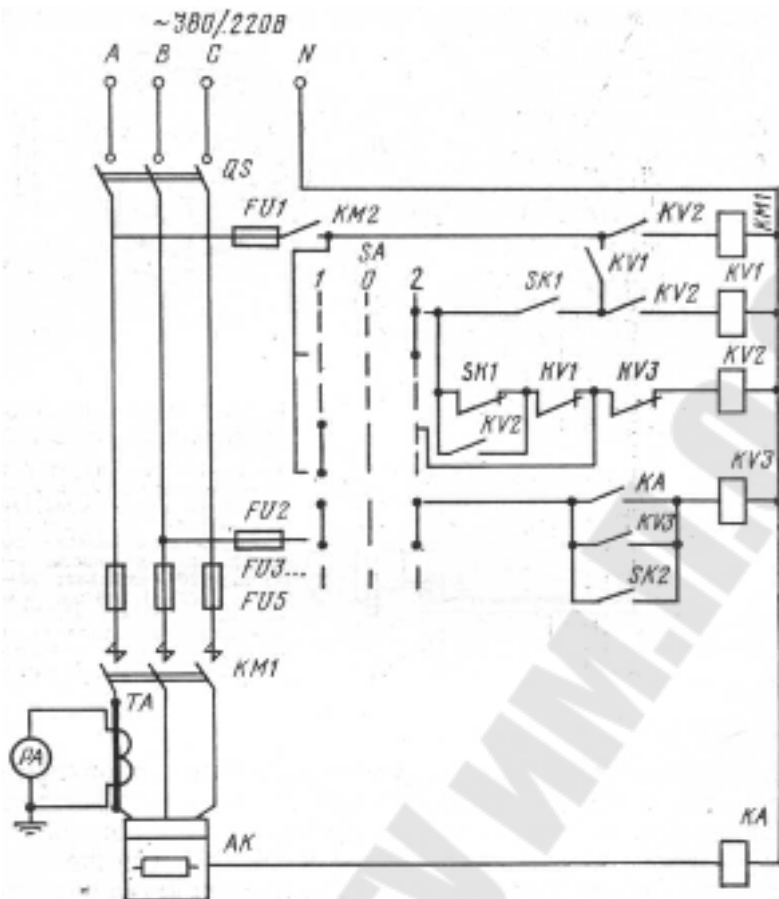


Рис. 6.2. Принципиальная электрическая схема управления работой водонагревателя ЭПЗ-100: *QS* – рубильник; *FU1...FU5* – предохранители; *SA* – универсальный переключатель; *KM1* – линейный контактор; *KV1...KV3* – промежуточные реле; *KA* – реле максимального тока; *TA* – трансформатор тока; *PA* – амперметр; *SK1* – манометрический регулирующий термометр; *SK2* – манометрический аварийный термометр; *KM2* – блок-контакты магнитного пускателя двигателя насоса

Конструкция водонагревателя типа КЭВЗ отличается от описанной тем, что его днище и крышка имеют эллиптическую форму, а шесть токовводов выполнены в днище. На каждой паре токовводов укреплены стальные электроды, согнутые по дуге окружности. На верхней крышке водонагревателя установлен электропривод, приводящий во вращение ходовой винт, по которому перемещается в вертикальной плоскости траверса с приваренными к ней антиэлектродами. При опускании антиэлектродов мощность водонагревателя увеличивается, а при подъеме – уменьшается.

Электроводонагреватели типа КЗВ изготавливают в двух вариантах: с пластинчатыми (для воды с удельным сопротивлением $\rho > 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) и цилиндрическими (для воды с $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) электродами.

Электродные парогенераторы. Конструктивно электродные парогенераторы несколько отличаются от водонагревателей. Это обусловлено тем, что в парогенераторе вода испаряется, а соли, содержащиеся в ней, остаются, и в процессе работы проводимость котловой воды возрастает, что может привести к выходу из строя электродной системы. Поэтому во всех парогенераторах предусматривается непрерывная или периодическая продувка (удаление части котловой воды с повышенной концентрацией солей).

Во всех конструктивных схемах парогенераторов предусматривается автоматическое регулирование мощности (в зависимости от нагрузки) за счет изменения глубины погружения электродов в котловую воду (изменения уровня воды).

В сельскохозяйственном производстве используют парогенераторы типа КЭПР и КЭП (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Основные технические данные электродных парогенераторов

Тип	Мощность, кВт	Максимальная производительность, кг/ч	Максимальная температура, К	Допустимые пределы изменения удельного сопротивления воды, Ом · м
1КЭП-25	25	30	437,5	16...64
1 КЭП-160	160	215	437,5	16...64
1КЭП-250	250	334	437,5	16...64
1КЭП-400	400	550	437,5	16...64
1КЭП-600	600	809	437,5	16...64
КЭПР-160	160	200	437,5	20...70
КЭПР-250	250	350	437,5	20...70

На рис. 6.3 показано устройство котла КЭПР-250.

Электропарогенератор представляет собой сварную конструкцию, состоящую из двух цилиндров, которые образуют внутреннюю 5 (парогенерирующую) и внешнюю 4 (вытеснительную) камеры. Внутри парогенерирующей камеры расположена электродная группа 7 в виде пакета плоских пластин и тарельчатый сепаратор пара 10. Верхние части камер 5 и 4, не заполненные водой, образуют паровое пространство. Если давление пара не превышает допустимое, клапан регулятора температуры 1 открыт и вода в обеих камерах находится на одинаковом уровне, полностью закрывая электроды. При уменьшении разбора пара давление и температура его возрастают и, когда они превысят заданное значение, регулятор 1 перекрывает сообщение ме-

жду камерами 5 и 4. Под действием возрастающего давления пара воды вытесняется из парогенерирующей камеры 5 в камеру 4, электроды оголяются, а мощность уменьшается.

Подпитка котла осуществляется насосом через специальную поплавковую камеру. Котел продувают через патрубок 8.

Отличительная особенность котлов типа КЭП заключается в том, что используются чугунные пустотелые электроды, а мощность регулируется ступенчато: 25, 50, 75 и 100 % номинального значения. Более подробно с конструкцией паровых котлов можно ознакомиться в литературе [1].

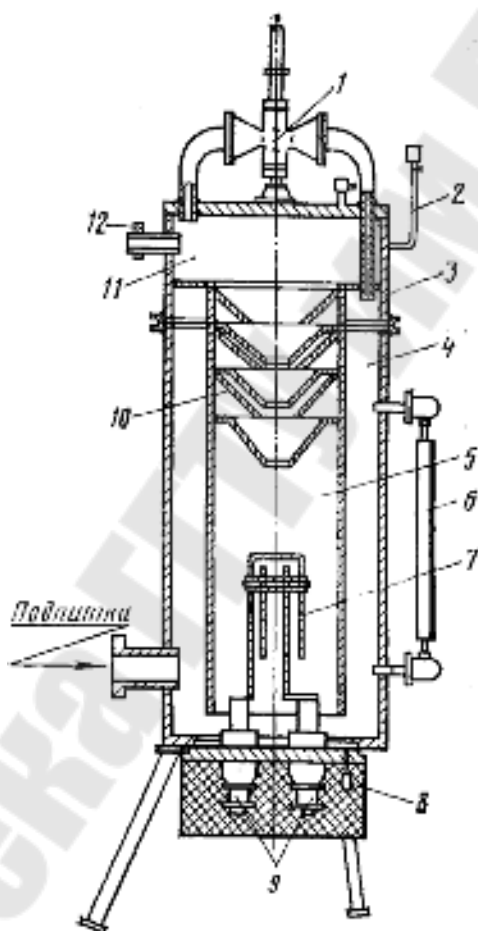


Рис. 6.3. Электрический паровой котел КЭПР-250:

- 1 – регулятор температуры; 2 – патрубок для манометра; 3 – корпус;
- 4 – вытеснительная камера; 5 – парогенерирующая камера; 6 – водомерное стекло; 7 – электроды; 8 – продувочный патрубок; 9 – проходной изолятор;
- 10 – механический сепаратор пара; 11 – паровое пространство;
- 12 – патрубок выхода пара

В заключение следует отметить, что многие термические сельскохозяйственные процессы (запаривание кормов, стерилизация и др.) экономичнее проводить при температуре насыщенного пара до 388 К

и избыточном давлении до 0,04...0,7 МПа. При использовании для генерирования пара с такими параметрами котлов КЭПР и КЭП увеличиваются эксплуатационные издержки.

6.3. Электротермические установки для подогрева питьевой воды

В зимнее время вода, подаваемая в животноводческие помещения, может иметь температуру 275...276 К, тогда как по зоотехническим требованиям оптимальная температура питьевой воды должна находиться в пределах 281...288 К. Помимо зоотехнических требований необходимость подогрева воды обуславливается опасностью замерзания водопровода. Способы подогрева воды зависят от вида животных, их содержания, типа помещения и др.

Для подогрева питьевой воды используют установки типа ВЭП-600, САЗС-400, групповую автопоилку АГК-4А (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Основные технические данные водонагревательных установок, используемых для поения животных

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, кВт	Вместимость бака, л	Максимальная температура нагрева проточной воды, К	Максимально допустимое избыточное давление в водопроводной сети, МПа
ВЭП-600	380/220	10,5	100	353	0,3
САЗС-400/90-И1	380/220	12	400	363	0,4
АГК-4А	220	1	60	277...287	–

Водонагревательная установка ВЭП-600 предназначена для подогрева питьевой воды в коровниках с поголовьем до 200 животных с привязным содержанием. Эту установку можно использовать и для подогрева воды до температуры 353 К (на технические нужды).

Установка ВЭП-600 (рис. 6.4) состоит из водонагревателя, шкафа управления, насоса с электродвигателем и автопоилок. Вода под давлением сети поступает в нагреватель 3. Подогретая вода через электроизоляционную вставку 1 направляется к автопоилкам. Температура воды в водонагревателе контролируется датчиком SK1, а в системе автопоилок – датчиком SK2.

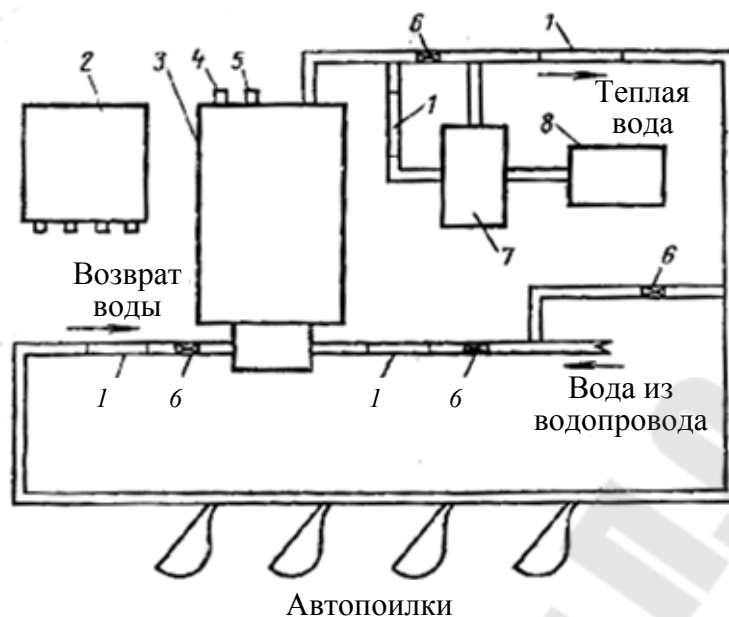


Рис. 6.4. Принципиальная технологическая схема системы автопоения с водонагревателем ВЭП-600: 1 – изолирующие вставки; 2 – шкаф управления; 3 – водонагреватель; 4 – предохранительный клапан; 5 – температурное реле; 6 – обратный клапан; 7 – насос; 8 – электродвигатель

Водонагреватель 3 представляет собой сварную цилиндрическую емкость, закрытую кожухом. Для уменьшения потерь теплоты между кожухом и емкостью уложена минеральная вата. Внутри емкости находится нагревательный блок, состоящий из трех ТЭН типа ТЭН-140 В 16/3,5 Т220.

Шкаф управления сварной. Для герметизации шкафа использованы резиновые уплотнители. В шкафу размещена аппаратура управления, защиты и сигнализации.

6.4. Электрокотельные

По назначению и степени централизации электрокотельные подразделяются на местные и центральные. Местные котельные снабжают теплотой ограниченный круг потребителей, обычно в пределах одного помещения, и чаще всего бывают специализированными (отопительными или для горячего водоснабжения). Как правило, в местных электрокотельных водонагреватели или парогенераторы работают независимо один от другого.

Центральные электрокотельные предназначены для комплексного теплоснабжения большого числа различных потребителей. Основное их отличие от огневых центральных котельных заключается в

том, что для нагрева воды или получения пара используют электродные водонагреватели или парогенераторы. Центральные электродкотельные располагают в отдельных зданиях. Тепломеханическая и электрическая части электродкотельных зависят от их мощности, числа котлов, режима работы и т. д. Чтобы повысить надежность снабжения теплом, в электродкотельных рекомендуется устанавливать не менее двух котлов. В схему управления котлами вводится электрическая блокировка с циркуляционными и подпиточными насосами. Подпиточная вода в электродкотельных не подвергается специальной очистке и химической обработке. Для уменьшения накипеобразования ограничиваются лишь магнитной обработкой подпиточной воды.

Теплоснабжение от центральных электродкотельных осуществляется при помощи промежуточных теплоносителей – горячей воды или пара, получаемых в электродкотлах и передаваемых к потребителям по трубопроводам. Наличие трубопроводов и связанные с ними трудности эксплуатации усугубляют недостатки, присущие только электродкотельным.

Использование электродкотельных, работающих по свободному графику электропотребления, требует реконструкции электрических сетей, что связано с большими капиталовложениями.

Электродкотельные обладают повышенной (по сравнению с огневыми котельными) электроопасностью.

Однако у электродкотельных есть и преимущества перед огневыми котельными, обусловленные применением электроэнергии в качестве энергоносителя.

Анализируя преимущества и недостатки электродкотельных, можно заключить, что они могут быть экономичными при следующих условиях: в энергосистеме имеются избыточные мощности, а сети обладают достаточной пропускной способностью; в графиках нагрузки энергосистемы имеются глубокие и длительные провалы; пики тепловой и электрической нагрузок не совпадают во времени; в данной местности наблюдается острый дефицит рабочей силы (электродкотельные могут работать без постоянного дежурства персонала).

6.5. Основные правила безопасной эксплуатации

Электротермическое оборудование для нагрева воды и генерации пара при нарушении соответствующих правил устройства и эксплуатации может представлять повышенную опасность с точки зрения по-

ражения людей и животных электрическим током, ударной волной при взрыве корпуса аппарата, а также может вызвать ожог горячей водой или паром. При эксплуатации оборудования для электронагрева воды и генерации пара следует руководствоваться действующими Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ); руководящими указаниями по обеспечению электробезопасности электротермических установок в сельскохозяйственном производстве; указаниями по электробезопасности устройства и эксплуатации электродных котлов; инструкциями заводов-изготовителей.

Наиболее общие правила безопасной эксплуатации электротермического оборудования для нагрева воды и генерации пара в сельском хозяйстве состоят в следующем.

1. Для эксплуатации допускается использовать только оборудование заводского изготовления, соответствующее ГОСТу или техническим условиям.

2. Оболочки и ограждения, закрывающие токоведущие части, выполняют таким образом, чтобы их можно было открывать только при помощи специального инструмента или ключа.

3. Оборудование должно иметь защиту от коротких замыканий, а части, подлежащие занулению, должны быть снабжены специальным болтом для присоединения нулевого защитного проводника.

4. Для установки оборудования на месте эксплуатации составляют проект.

5. Водонагреватели и парогенераторы электродного типа не допускается устанавливать в особо опасных помещениях (животноводческие, душевые и др.). Их, как правило, размещают в специально выделенных помещениях (электрокотельных).

6. К обслуживанию оборудования, питаемого напряжением до 1000 В, допускаются лица, имеющие квалификационную группу не ниже третьей.

7. Корпуса всех элементных водонагревателей присоединяют к нулевому проводу.

8. Корпуса электродных котлов присоединяют к нулевому проводу только при питании их от трансформаторов с глухозаземленной нейтралью при коэффициенте звездности котла

$$k = (P - P_{\text{из}}) / P \leq 25 / P, \quad (6.4)$$

где P – мощность котла в нормальном режиме; $P_{из}$ – мощность при покрытии внутренней поверхности корпуса котла электроизоляционным материалом.

Если электродный водонагреватель соединен с технологическим оборудованием, находящимся в особо опасном или с повышенной опасностью помещении, то в последних должно быть выполнено устройство для выравнивания потенциала, обеспечивающее напряжение прикосновения не более 12 В. При отсутствии выравнивания потенциала котел должен иметь защиту от неполнофазных режимов.

9. Если условия пункта 8 выполнить нельзя, то корпус нужно изолировать от земли, заземленных частей и зануленного оборудования. При этом корпус котла необходимо оградить зануленной сеткой (расстояние сетки от корпуса не менее 1 м, а высота – более 1,7 м).

10. Оборудование для нагрева воды соединяют с трубопроводами через изолирующие вставки (из резины, полиэтилена, фторопласта). Сопротивление столба воды во вставке должно быть таким, чтобы напряжение прикосновения за вставкой, даже в аварийном режиме, не превышало 12 В. Это обеспечивается, если длина вставки, м:

$$l = 14000d^2 / \rho, \quad (6.5)$$

где d – внутренний диаметр вставки, м; ρ – удельное сопротивление воды, Ом · м (при 293 К для трубопроводов с холодной водой и 373 К – с горячей).

Трубопроводы за вставкой присоединяют к нулевому проводу не менее чем в двух точках.

Перед пуском электродного котла определяют удельное сопротивление питающей воды. Если оно отличается от значений, оговоренных в паспорте котла, то необходимо добавить соль или дистиллированную воду. Количество добавленной соли или дистиллированной воды определяют по методике, изложенной в заводской инструкции по эксплуатации котла.

7. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

7.1. Электрические системы отопления

Современные животноводческие помещения оборудуют принудительной вентиляцией, которую подразделяют на вытяжную, приточную и приточно-вытяжную.

Для удаления загрязненного воздуха, особенно из зон наибольшего скопления вредностей, наиболее эффективна вытяжная вентиляция. Приточная вентиляция обеспечивает интенсивную подачу наружного свежего воздуха. В зимнее время приточный воздух подогревается. При расчете приточной и вытяжной систем вентиляции предусматривают превышение притока воздуха над вытяжкой примерно на 10...20 %. Создаваемый таким образом подпор воздуха предохраняет от проникновения в помещение инородных частиц и болезнетворных микроорганизмов. Такие меры особенно важны в помещениях для телят, свиноматок с поросятами, для поросят-отъемышей и в птичниках.

Мощность, Вт, отопительной системы рассчитывают на основании теплового баланса

$$\Phi_{от} = \Phi_o + \Phi_b + \Phi_{сл} + \Phi_{и} - \Phi_{ж}. \quad (7.1)$$

Потери тепла, Вт, через все наружные ограждения:

$$\Phi_o = \sum_{i=1}^n \Phi_{oi} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta T}{R_i}, \quad (7.2)$$

где Φ_{oi} – тепловой поток через отдельные ограждающие конструкции, Вт; ΔT – разность температур внутреннего и наружного воздуха.

Тепловой поток, Вт, идущий на нагрев приточного воздуха:

$$\Phi_b = V_t \cdot \rho_b \cdot c_b \cdot \Delta T, \quad (7.3)$$

где V_t – объемная подача воздуха, м³/с; ρ_b , c_b – плотность и удельная теплоемкость воздуха.

Тепловой поток $\Phi_{сл}$, обусловленный случайными потерями, составляет 10...15 % суммарных теплопотерь $\Phi_o + \Phi_b$.

$$\Phi_{и} = 2260 \cdot m_t \cdot 10^3,$$

где m_t – количество влаги, испаряющейся в помещении с мокрых поверхностей, кг/с.

Тепловой поток $\Phi_{ж}$, выделяемый животными:

$$\Phi_{ж} = \sum_{i=1}^k \Phi_i \cdot n_i, \quad (7.4)$$

где Φ_i – тепловой поток, выделяемый одним животным данного вида, Вт; n_i – число животных данного вида в помещении.

Ориентировочные значения мощности установки, необходимой для отопления некоторых сельскохозяйственных помещений (по данным ВИЭСХ), приведены на рис. 7.1.

Для отопления используют различные энергоносители: твердое и жидкое топливо, природный газ или электроэнергию.

Известны многие электрические системы отопления. Их классификация приведена на рис. 7.2.

Центральные системы электроотопления, основным элементом которых электродвигательные, в принципе не отличаются от обычных систем с топливными котельными. В большинстве животноводческих помещений оптимальный микроклимат создают, применяя индивидуальные электрические системы, т. е. теплогенерирующий источник находится в самом помещении или непосредственно в местах расположения животных.

Наиболее распространены системы прямого отопления, в которых отсутствуют устройства для рекуперации теплоты удаляемого воздуха, а дефицит теплоты помещения восполняется за счет электроэнергии. Они просты, надежны, но энергоемки (необходимы трансформаторы больших установленных мощностей).

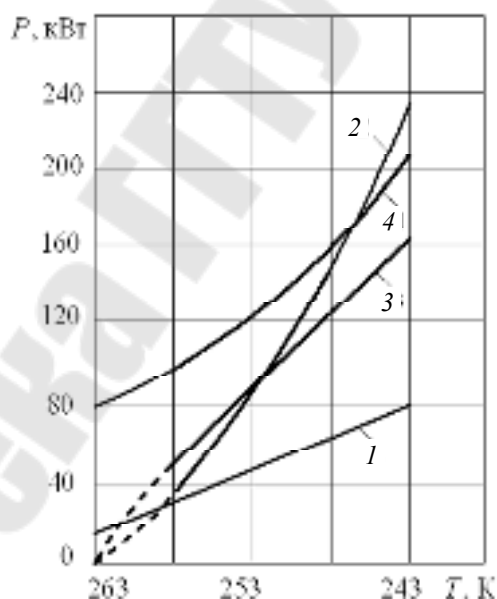


Рис. 7.1. Зависимость необходимой мощности отопительной установки от наружной температуры: 1 – свинарник-маточник на 100 голов; 2 – свинарник-откормочник на 100 голов; 3 – коровник на 200 голов; 4 – птичник на 10000 бройлеров

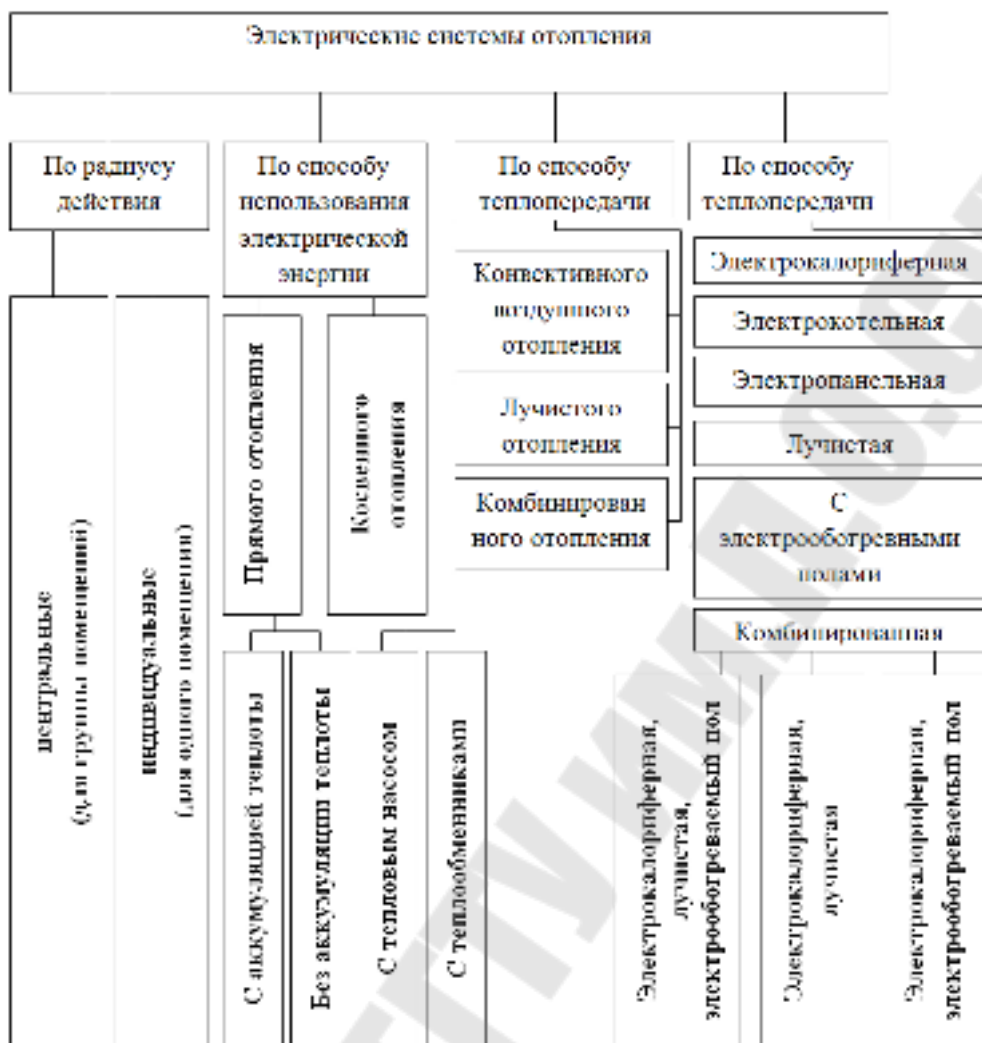


Рис. 7.2. Классификация электрических систем отопления

Исследуются системы косвенного отопления, основанные на утилизации теплоты, удаляемой из помещения. При использовании этих систем расход электроэнергии на отопление зданий снижается в несколько раз.

В сельскохозяйственном производстве наиболее распространены системы прямого конвективного воздушного отопления с использованием электрокалориферов и комбинированного отопления. При использовании последней системы температура во всем помещении поддерживается на минимальном уровне за счет электрокалорифера, а в местах пребывания животных повышается до оптимальной за счет установки электроконвекторов, ИК-облучателей, электрических панелей или обогреваемых полов.

7.2. Электротермическое оборудование для прямого отопления

По режимам работы электротермическое оборудование подразделяют на включаемое по свободному графику (электрокалориферные и приточно-вытяжные установки) и в определенные часы суток, совпадающие с провалом графика нагрузки подстанции (устройства аккумуляторного типа). Из названных установок в сельскохозяйственном производстве преимущественно используют электрокалориферные и приточно-вытяжные установки.

Электрокалориферные установки. Основные элементы электрокалориферной установки – электрический калорифер и вентилятор с электродвигателем.

Электрокалорифер представляет собой блок электронагревательных элементов, установленных в металлическом корпусе по шахматной или коридорной схеме. В качестве нагревательных элементов применяют оребренные ТЭН или открытые спирали, зигзаги, гофрированные ленты, выполненные из специальных сплавов. При использовании оребренных ТЭН повышаются надежность и срок службы калориферов, а также обеспечиваются безопасные условия их эксплуатации. Но ТЭН создают большое аэродинамическое сопротивление.

При использовании открытых нагревателей значительно снижается аэродинамическое сопротивление калорифера, уменьшается его масса и габариты. Но срок службы и электробезопасность калорифера могут быть доведены до приемлемых значений только лишь при покрытии элементов термостойкими эмалями, рабочая температура которых составляет 470...520 К.

Электрокалорифер устанавливают как на всасывающем, так и на нагнетательном патрубке вентилятора. Нагревательные элементы калорифера, размещенного на всасывающем патрубке, обтекаются воздухом более равномерно.

Для снижения вибрации вентилятор устанавливают на виброгасителях и соединяют с калорифером мягкой вставкой.

В вентиляционно-отопительных системах сельскохозяйственных помещений наиболее распространены установки типа СФОЦ. В этих установках электрокалорифер СФО и центробежный вентилятор Ц4-70 смонтированы на сварной раме, которую крепят к полу анкерными болтами. В унифицированных калориферах типа СФО в каче-

стве нагревателей применены ТЭН мощностью 2500 Вт при напряжении 220 В. Активная длина ТЭН составляет 480 мм, диаметр оребрения – 42 мм, а удельная поверхностная мощность – 3600 Вт/м². Технические данные калориферных установок приведены в табл. 7.1.

Электрокалориферная установка питается от сети переменного тока напряжением 380/220 В. Нагревательные элементы разделены на секции. Схема соединения элементов в каждой секции – звезда (одна или несколько параллельно включенных).

Схема управления калорифером (рис. 7.3) обеспечивает ручной и автоматический режим работы; световую сигнализацию о работе каждой секции и электродвигателя; аварийное отключение секций, если температура ребер достигнет 453 К; защиту электродвигателя и нагревательных элементов от короткого замыкания; включение и отключение секций в зависимости от температуры воздуха в помещении.

Терморегулятор *SK1* типа ТР-200 предназначен для защиты ТЭН от перегрева. Температура воздуха в помещении контролируется датчиками *SK2* и *SK3* типа ДТКБ. Датчик *SK2* размыкает свои контакты при нормальной температуре воздуха, а *SK3* – при увеличении ее до допустимого значения. В ручном и автоматическом режимах предусмотрена блокировка *QF2*, не позволяющая включать секции калорифера при отключенном вентиляторе. В противном случае охлаждение ТЭН ухудшится – они перегреются и выйдут из строя.

На базе оребренных ТЭН выпускают электрокалориферные установки типа СФОО-10/0,4Т и СФОО-16/0,4Т с осевыми вентиляторами. Мощность установок составляет соответственно 10 и 16 кВт.

Калорифер этих установок, состоящий из одного вертикального ряда ТЭН, смонтирован непосредственно на нагнетающем патрубке вентилятора. Установки питаются от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 380/220 В.

Подача воздуха калориферных установок типа СФОО – до 2 м³/с, давление воздуха – до 300 Па, перепад температуры нагреваемого воздуха – 8...10 К. Калориферы эксплуатируют без раздающих воздуховодов.

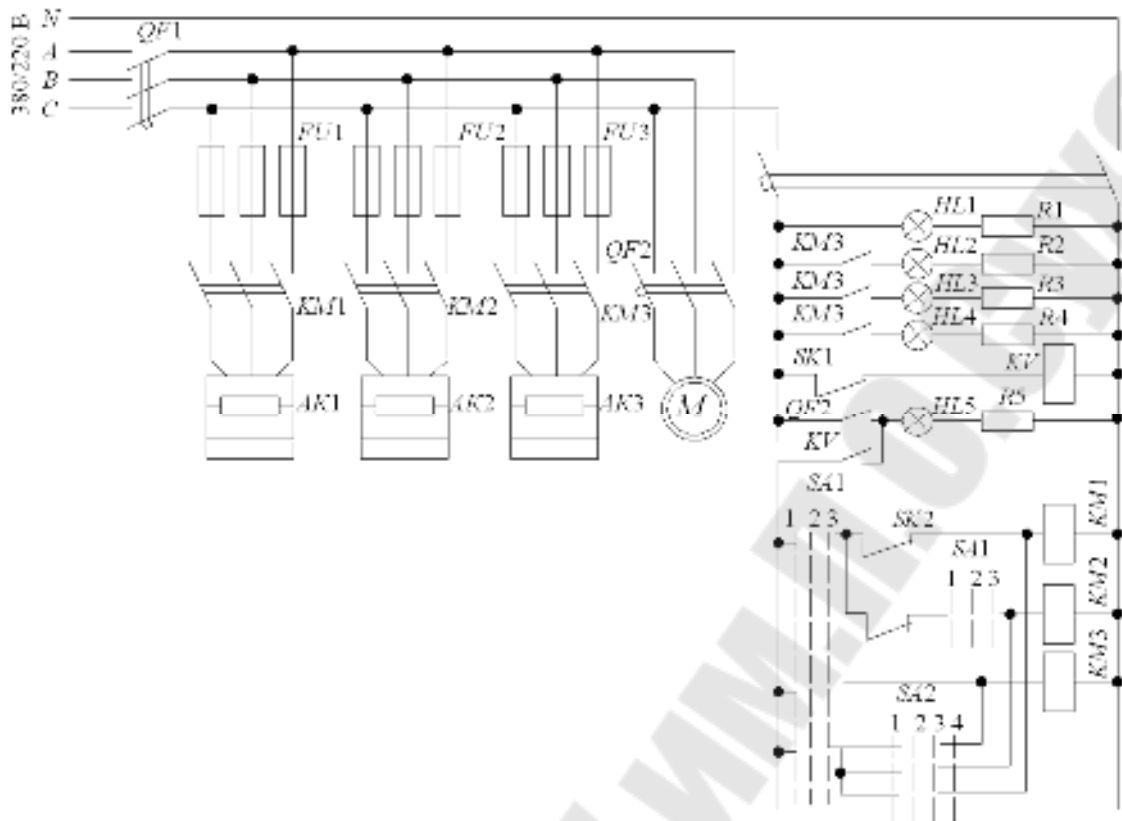


Рис. 7.3. Принципиальная электрическая схема управления работой электрокалориферной установки СФОЦ: $QF1$, $QF2$ и SF – автоматические воздушные выключатели; $FU1$, $FU2$ и $FU3$ – блоки предохранителей; $HL1 \dots HL5$ – сигнальные лампы; $R1 \dots R5$ – резисторы; $KM1 \dots KM3$ – магнитные пускатели; $SK1 \dots SK3$ – датчики температуры; $SA1$ и $SA2$ – переключатели; KV – промежуточное реле; M – электродвигатель вентилятора; $AK1 \dots AK3$ – секция калорифера

Таблица 7.1

Основные технические данные электрокалориферных установок

Наименование показателей	СФОЦ-5/0,5 Т*	СФОЦ-10/0,5 Т	СФОЦ-16/0,5 Т	СФОЦ-25/0,5 Т	СФОЦ-40/0,5 Т	СФОЦ-60/0,5 Т	СФОЦ-100/0,5 Т
Мощность, кВт	5,05	9,85	15,75	23,25	46,5	69	94
в том числе электрокалорифера	4,8	9,6	15	22,5	45	67,5	90
Число нагревательных секций	1	2	2	3	3	3	3
Мощность одной нагревательной секции, кВт	4,8	4,8	7,5	7,5	15	22,5	30
Подача воздуха, м ³ /с	0,22...0,33	0,22...0,33	0,44...0,77	0,44...0,77	0,66...1,2	0,9...1,6	1,25...2,5
Перепад температуры нагреваемого воздуха, К	32...22	45...30	30...20	45...30	50...30	56...32	51...30
Аэродинамическое сопротивление электрокалорифера, Па	70	80	250	250	250	250	250

*С – нагрев сопротивлением; Ф – калорифер; О – окислительная среда; Ц – вентилятор центробежного типа; 5...100 – мощность электрокалорифера (ориентировочно), кВт; 0,5Т – максимальная температура воздуха на выходе из калорифера 500 °С.

Подача воздуха электрокалориферных установок СФОЦ и СФОО не регулируется, что затрудняет их эксплуатацию в различные периоды отопительного сезона. Для устранения этого недостатка во ВНИИЭТО разработаны установки с регулируемой воздухоподачей, при этом используются осевые и центробежные вентиляторы.

Разработано устройство «Электротерм» ППУЗ, предназначенное для плавного регулирования мощности электрокалорифера в пределах 0...100 % [1].

Устройство состоит из ящика управления ЯОА 9201 и блоков управления БОА 3001. Разработаны четыре модификации блоков управления на токи 25, 40, 80 и 100 А.

Блок управления представляет собой тиристорный регулятор мощности, меняющий напряжение на нагрузке в зависимости от температуры в помещении. В состав блока входят: панель управления, силовая панель на гибридных модулях типа МДТО-2ПП, аппаратура сигнализации и защиты.

Электрокалориферные установки выбирают в такой последовательности: определяют тип установки; находят ее установленную мощность; проверяют установку по допустимой температуре выходящего воздуха ($T_{\text{вых}} \leq T_{\text{д.вых}}$) и по допустимой температуре поверхности нагревателя ($T_A \leq T_{\text{дА}}$).

Тип установки определяется назначением, характером окружающей среды, наличием воздухопроводов и подачей воздуха.

Установленная мощность электрокалорифера:

$$P_{\text{уст}} = k_3 \cdot \Phi_{\text{от}} / \eta_k, \quad (7.5)$$

где k_3 – коэффициент запаса, учитывающий старение нагревателя и возможное снижение напряжения сети ($k_3 = 1,2$); η_k – коэффициент полезного действия калорифера.

Температуру поверхности нагревателя по верхнему пределу ограничивают, чтобы исключить отрицательное воздействие на животных газообразных продуктов горения пыли. По существующим нормам этот предел составляет 453 К. Допускается снижение температуры нагревательных элементов по сравнению с предельной.

Температура воздуха на выходе из калорифера:

$$T_{\text{вых}} = \frac{P_{\text{уст}}}{V_t \cdot \rho_B \cdot c_B} + T_{\text{вх}}, \quad (7.6)$$

где $T_{\text{вх}}$ – температура входящего воздуха.

Температура поверхности нагревателя зависит от температуры $T_{\text{ВЫХ}}$ выходящего воздуха и условий охлаждения:

$$T_A = \frac{P_{\text{уст}}}{\alpha \cdot A_{\text{н}} \cdot n} + T_{\text{ВЫХ}}, \quad (7.7)$$

где $A_{\text{н}}$ – площадь поверхности нагревателя; n – число нагревателей в калорифере.

Если температура поверхности нагревателя больше допустимого значения, то необходимо увеличить скорость воздуха.

Чтобы упростить расчеты температур T_A и $T_{\text{ВЫХ}}$, в литературе [3] приведены номограммы.

Комплексы приточно-вытяжных установок ПВУ предназначены для вентиляции и отопления животноводческих помещений. Выпускают две модификации: ПВУ-6 и ПВУ-9. В каждый комплекс входит по шесть установок и пульт управления. Комплексы отличаются один от другого установленной мощностью, размерами и производительностью установок (табл. 7.2), которые представляют собой вентиляционные устройства. В вентиляционных устройствах совмещены приток и вытяжка воздуха. Каждая установка содержит два стальных цилиндра, вставленных один в другой (рис. 7.4). Внутренний цилиндр предназначен для вытяжки воздуха из помещения. Наружный воздух поступает через кольцевой канал, образуемый наружным и внутренним цилиндрами.

Установка состоит из четырех секций.

Таблица 7.2

Основные технические данные приточно-вытяжных установок

Наименование показателей	ПВУ-6	ПВУ-9
Подача воздуха, м ³ /с	1,66	2,50
Тепловая мощность, кВт	15	19,2
Число электронагревателей	6	6
Число установок в комплексе	6	6
Общая тепловая мощность, кВт	90	115,2
Высота, мм	6460	6850
Наибольший диаметр, мм	1150	1250

Секция вентилятора предназначена для транспортировки загрязненного и свежего воздуха; подогрева распределения в пространстве приточного воздуха. Секция содержит электродвигатель, на вал которого насажено рабочее колесо, и шесть трубчатых электрических на-

гревателей для подогрева приточного воздуха. На рабочем колесе установлено два ряда лопаток, наклоненных в разные стороны. Внутренний ряд лопаток обеспечивает вытяжку, а наружный – приток воздуха. В нижней части секции по окружности кольцевого канала размещены воздухораспределительные сопла.

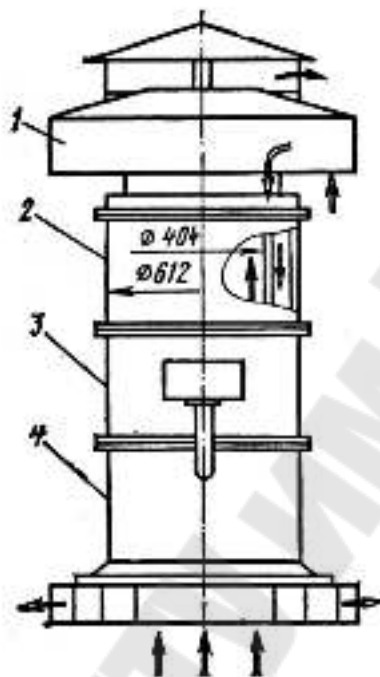


Рис. 7.4. Приточно-вытяжная установка ПВУ: 1 – зонт; 2 – промежуточная секция; 3 – секция смесительных заслонок; 4 – секция вентилятора

Секция смесительных заслонок предназначена для регулирования степени циркуляции воздуха. Внутренний цилиндр секции имеет разрыв, в который вставлены регулирующие заслонки. Если заслонки открыты, то в помещение поступает только наружный воздух, а если закрыты, то часть удаляемого воздуха смешивается с наружным и снова поступает в помещение. Для управления положением заслонок используют синхронный электродвигатель.

Промежуточная секция, предназначенная для соединения секции смесительных заслонок с зонтом, состоит из внутреннего и наружного цилиндров.

Зонт применяют для защиты установки от попадания атмосферных осадков, забора свежего и выброса загрязненного воздуха. Его сборочные единицы: приточный кожух, вытяжной диффузор и основание.

Каждая приточно-вытяжная установка комплектуется силовым блоком, содержащим пусковую, защитную, сигнальную аппаратуру и пост ручного управления. Пульт централизованного управления с

комплексом термосистем предназначен для централизованного автоматического и ручного управления комплексом установок. К пульту подключают не более шести установок.

Установки аккумуляционного типа. В электронагревательных приборах аккумуляционного типа различают два этапа работы: зарядка – нагрев аккумулирующего сердечника и разрядка – отдача тепловой энергии от сердечника потребителю. Материал сердечника выбирают, исходя из того, чтобы он был дешевым, обладал большой рабочей температурой и теплоемкостью, а также не терял бы своих свойств при многократном использовании. Магнезит или бетон наиболее распространенные материалы для изготовления сердечников.

Массу или объем теплоаккумулирующего материала выбирают, исходя из равенства теплоты Q при круглосуточной работе ЭТУ и при периодической ее работе Q' :

$$Q = Q'. \quad (7.8)$$

Заменим Q и Q' через соответствующие мощности установок P и P' и время их работы в течение суток – t и t_p :

$$Pt = P't_p. \quad (7.9)$$

Аккумулятор должен запасти следующее количество тепловой энергии:

$$Q_{\text{ак}} = Pt - P't_p = P(t - t_p), \quad (7.10)$$

где t_p – время паузы (время, когда ЭТУ не получает электрической энергии).

В общем случае количество тепловой энергии, запасенной в массе теплоаккумулятора, определяется известной формулой

$$Q_{\text{ак}} = c_m M \Delta T = P t_{\text{п}}, \quad (7.11)$$

где c_m – удельная теплоемкость аккумулирующего материала, Дж/(кг · К); M – масса материала, кг; ΔT – перепад температуры теплоаккумулирующего материала, К.

Приравняв правые части выражений (7.10) и (7.11), запишем

$$c_m M \Delta T = P t_{\text{п}}. \quad (7.12)$$

Из этого выражения

$$M = \frac{P t_{\text{п}}}{c_m \Delta T}. \quad (7.13)$$

При транспортировке теплоты к аккумулятору и при ее хранении неизбежны потери, которые можно учесть, если в правую часть уравнения (7.13) внести коэффициент полезного действия η . С учетом η масса аккумулирующего материала:

$$M = \frac{Pt_{\text{п}}}{c_{\text{м}}\Delta T\eta}. \quad (7.14)$$

Мощность установки аккумуляционного типа:

$$P' = \frac{Pt}{t_{\text{р}}}. \quad (7.15)$$

Разработана аккумуляционная установка типа ЭОКС-150/0.4-И1, предназначенная для подогрева воздуха в животноводческих помещениях. Установленная мощность установки – 155 кВт, в том числе мощность нагревателей аккумулятора 105 кВт. Напряжение питания 380/220 В, время зарядки 8 ч.

Аккумуляционная насадка состоит из 30 бетонных блоков, изготовленных на основе магнезитового наполнителя. Каждый блок содержит две нихромовые спирали, соединенные последовательно. Все нагреватели соединены в пять «звезд» параллельно.

Все блоки помещены в металлический кожух, футерованный керамическими плитами и минеральной ватой. На кожухе расположены патрубки для подсоединения вентиляционных систем. Подача вентилятора 0,83...1,66 м³/с. Смеситель (заслонка) установки обеспечивает необходимое соотношение холодного и горячего воздуха.

В период зарядки аккумулятора помещение отапливается калорифером СФО-40/1Т (прямое отопление). Схема управления установкой обеспечивает своевременное ее включение и отключение, необходимую температуру выходящего воздуха и защиту оборудования от ненормальных режимов работы. Масса установки 6770 кг, высота 2285 мм, длина 3920 мм, ширина 2315 мм.

При устройстве аккумуляционных установок необходимы определенные затраты, а отсутствие льготного ночного тарифа не стимулирует потребителей к их применению. Установленная мощность аккумуляционной установки в 3 раза больше (при восьмичасовой зарядке) мощности, необходимой для прямого отопления. Это может обусловить необходимость реконструкции распределительных сетей. Кроме того, установка занимает значительную производственную площадь.

7.3. Электротермическое оборудование для косвенного отопления

Установленную мощность калорифера можно снизить, если утилизировать теплоту, удаляемую с загрязненным воздухом. Для утилизации теплоты используют теплообменные аппараты и тепловые насосы.

Теплообменные аппараты бывают рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных теплообменниках теплота передается от удаляемого «горячего» воздуха к приточному холодному через разделяющую их стенку (листовая сталь, фольга, стекло, пластмасса, лавсановая пленка). В регенеративных теплообменных аппаратах теплопереносащий материал – насадка (алюминиевые пластины, щебенка и др.), поочередно находясь в контакте то с удаляемым «горячим» воздухом, то с приточным холодным, передает теплоту от первого ко второму.

Основная причина, сдерживающая применение теплообменных аппаратов в системе отопления животноводческих ферм, – обмерзание теплопередающих поверхностей при низких температурах наружного воздуха.

Из всех конструкций рекуперативных теплообменников наиболее удачна конструкция аппарата типа ТСН, представляющего собой пакет (секцию) теплообменных металлических пластин, разделенных перегородками на каналы. Через одни каналы прогоняется холодный приточный воздух, через другие удаляется теплый воздух. Площадь всех пластин секций 38 м². Одна секция теплообменника рассчитана на подачу 1 м³ воздуха в секунду. В зависимости от подачи приточной вентиляции теплообменник выполняется одно- или многосекционным.

Основным условием успешной работы (без обмерзания) теплообменника является неравенство

$$|(\alpha_1 + \alpha_{\text{п}}) \cdot (T_1 - 273)| \geq |(\alpha_2) \cdot (T_2 - 273)|, \quad (7.16)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи при теплообмене удаляемого и приточного воздуха без конденсации водяного пара, Вт/(м²·К); $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара удаляемого воздуха, Вт/(м²·К); T_1 , T_2 – температура удаляемого и приточного воздуха, К.

Разработана электрокалориферная установка сельскохозяйственного назначения с регенеративным теплообменником (рис. 7.5). Воздух из помещения подогревается в калорифере 2 до 303...308 К и через узел 3 переключения заслонки подается в одну из секций теплообменника. Проходя через насадку теплообменника (алюминиевые чередующиеся гофрированные и гладкие пластины), воздух нагревает ее и охлажденный выбрасывается наружу. Одновременно другой вентилятор подает свежий воздух во вторую секцию, где он нагревается от насадки и через узел переключения 3 подается в помещение. Заслонка через 2...5 мин переключается, что обеспечивает периодическое изменение направления движения воздуха в секциях.

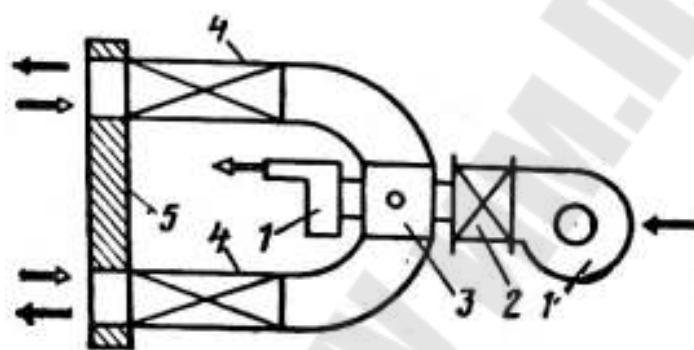


Рис. 7.5. Схема электрокалориферной установки с утилизацией теплоты: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – узел переключения заслонки; 4 – секция регенеративного теплообменника; 5 – стена помещения

Тепловая мощность установки составляет 40 кВт при установленной мощности 16 кВт, подача воздуха 1 м³/с.

Помещения могут обогреваться при помощи тепловых насосов как за счет теплоты удаляемого воздуха, так и за счет других источников теплоты (земля, солнце, вода). Насосы бывают компрессионного, абсорбционного и полупроводникового типов. В основе работы полупроводниковых тепловых насосов лежит эффект Пельтье, заключающийся в том, что если через разнородные материалы, спаянные на концах, пропустить постоянный ток, то один спай нагреется, а другой охладится.

Если электрическую цепь, состоящую из большого числа спаев, расположить так, чтобы спаи, где происходит выделение теплоты (нагрев), находились в приточном воздуховоде, а спаи, где поглощается теплота, в вытяжном, то при пропускании электрического тока можно подогреть холодный чистый воздух в приточном воздуховоде.

В летнее время достаточно сменить направление тока в цепи и приточный воздух будет охлаждаться.

Эффективность работы тепловых насосов оценивается отопительным k_o и холодильным k_x коэффициентами:

$$k_o = Q_T / Q_э; k_x = Q_x / Q_э; k_o = 1 + k_x, \quad (7.17)$$

где Q_T – теплота, полученная в горячем канале; Q_x – теплота, извлеченная в холодном канале; $Q_э$ – электрическая энергия, затраченная на создание разности температур между спаями.

Теоретически предельно достижимый $k_o = 30$, а практически его значение не превышает 4...5.

Считается, что тепловые насосы можно эффективно применить для отопления помещений: зимой – в режиме отопления, а летом – в режиме охлаждения.

7.4. Электрические средства для локального обогрева

При использовании электрических средств местного обогрева уменьшается расход энергии на отопление помещений, улучшается температурно-влажностный режим в зоне пребывания животных и птицы, благодаря чему снижаются простудные заболевания, повышаются привесы, уменьшаются себестоимость продукции (примерно на 25 %) и расход кормов.

К средствам местного обогрева относятся электрообогреваемые полы, панели, электроковрики, электрогрелки для ягнят, инфракрасные облучатели и брудеры, установки совместного инфракрасного и ультрафиолетового облучения «ИКУФ» и «Луч».

Электрообогреваемые полы, применяемые для общего и местного обогрева, можно сооружать как в существующем, так и строящемся животноводческом помещении. Поперечный разрез обогреваемого пола показан на рис. 7.6.

Работы по монтажу электрообогреваемого пола выполняют на месте в такой последовательности.

На выделенных участках пола выкапывают углубление (0,3...0,6 м), дно которого уплотняют. Затем послойно укладывают щебень 2, бетонную стяжку 3, гидроизоляцию 4 из рубероида, поверхность которого покрывают битумом. Для сокращения потерь теплоты через грунт насыпают слой тепловой изоляции 5 (котельный шлак, керамзит и др.) и заливают ее бетоном 6, на который уклады-

вают нагревательный элемент 7. Нагреватель также заливают бетоном, поверх которого укладывают защитную стальную сетку 8 с ячейкой 250 x 150 мм, диаметром провода сетки 3...4 мм. Сетка соединяется с нулевым проводом сети. Монтаж заканчивают заливкой бетонной стяжки 9.

Ширина обогреваемой полосы зависит от вида животных. В коровнике обогревают полосу шириной 0,5...0,6 м, в свинарнике-маточнике – шириной 1,3 м. В птичнике с напольным содержанием обогревают полосу шириной 0,2...0,3 от ширины помещения.

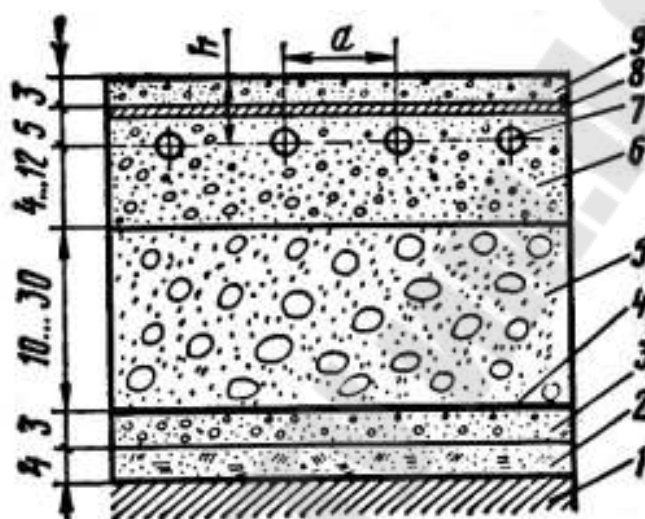


Рис. 7.6. Устройство электрообогреваемого пола (размеры в сантиметрах): 1 – грунт; 2 – щебень; 3, 6 и 9 – бетон; 4 – гидроизоляция; 5 – теплоизоляция (котельный шлак); 7 – нагревательный элемент; 8 – защитная сетка

Обогреваемые полосы могут быть с торцевым или центральным подключением. Торцевое подключение удобнее, так как шинный канал располагается в малодоступном для животных месте. Длина одной обогреваемой полосы не должна превышать 30...35 м, в противном случае возникнут трудности с укладкой нагревательного элемента.

При расчете электрообогреваемого пола необходимо выбрать материал нагревательного элемента, определить длину, сечение и способ его размещения (выполнить компоновку). Материал элемента должен отвечать ряду требований, к которым относятся температура нагревателя, линейная мощность, длина, механическая прочность, работоспособность при температуре, обусловленной технологией.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что рекомен-

дуемая температура поверхности не должна превышать 313 К. Температура поверхности пола ограничивает допустимую температуру нагревателя (373 К) и линейную мощность (7...40 Вт/м).

Длина отрезка провода, подключаемого на фазное напряжение, достигает 200 м, поэтому при монтаже нагревательный элемент испытывает значительные механические усилия.

Перечисленным технологическим требованиям отвечают нагреватели из стали и специальных сплавов (нихром, константан и др.). В сооружаемых полах используют только стальные нагреватели, так как они дешевле элементов, выполненных из сплавов. Вместе с тем стальные нагреватели имеют большое индуктивное сопротивление, большие температурный коэффициент сопротивления и коэффициент линейного расширения.

Перспективны тонкослойные поверхностно-распределенные резистивные электронагревательные элементы (ПЭН).

Электрообогреваемые коврики, электрогрелки, электрообогреватели. Разработано несколько типов электрических ковриков, предназначенных для обогрева поросят. Коврики выполняют из двух слоев резины, между которыми закладывают стальной нагревательный провод. Верхний и нижний слои резины подвергают вулканизации. Для прочности некоторые типы ковриков по торцам армированы стальными уголками или имеют деревянный каркас. Все коврики выполняются переносными. Мощность ковриков находится в пределах 200...650 Вт. Размеры ковриков изменяются в небольших пределах: длина 1,2...1,5 м, ширина 0,5...0,75 м. Температура на поверхности ковриков 297...309 К. Напряжение питания ковриков не должно превышать 36 В из-за повышенной электроопасности устройства.

Недостатки электроковриков: низкая тепловая аккумуляционная способность, малая механическая прочность и сложность индивидуального регулирования температуры.

Для ягнят разработаны электрогрелки. Конструктивно электрогрелка представляет деревянный ящик, на дне которого находится резиновый вкладыш. Внутри вкладыша уложена спираль из стальной оцинкованной проволоки. Мощность нагревателя 70 Вт, напряжение питания 36 В. Грелка предназначена для сохранения ягнят в первые часы жизни.

Комбинированная система местного обогрева. При данной системе животных обогревают снизу и сверху (рис. 7.7). Для обогрева снизу используют электрообогреваемые полы, а для обогрева сверху –

инфракрасные облучатели. При этом создаются наиболее благоприятные условия для роста и развития молодняка и появляется возможность уменьшить температуру воздуха $T_{\text{в}}$ вне зоны нахождения животных, за счет чего снижаются затраты на отопление помещения.

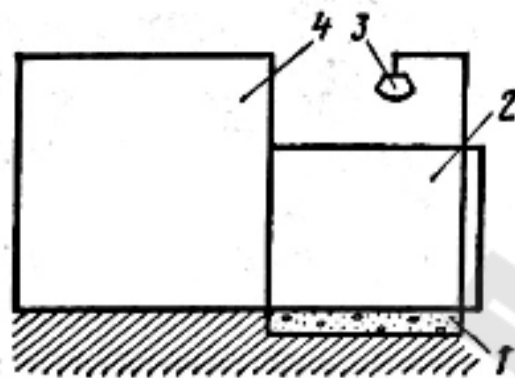


Рис. 7.7. Схема комбинированного электрообогрева поросят:
 1 – электрообогреваемый пол; 2 – логово для поросят;
 3 – ИК-облучатель; 4 – логово для свиноматки

Расчет местной комбинированной системы начинают с расчета электрообогреваемого пола (площадки).

Затем определяют температуру воздуха в зоне нахождения животных (для поросят на уровне 5 см от пола):

$$T_3 = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{в}}}{2}. \quad (7.18)$$

Затем находят температуру помещения (ощущаемую животными) в микроне (логове), обусловленную температурой пола $T_{\text{п}}$ и воздуха $T_{\text{в}}$:

$$T_{\text{пм}} = 0,42T_{\text{п}} + 0,58T_3. \quad (7.19)$$

Температура, которую нужно обеспечить ИК-облучателем:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{о}} - T_{\text{пм}}. \quad (7.20)$$

Учитывая, что $T_{\text{п}}$ пропорциональна инфракрасной облученности, находим, что

$$E_{\text{и}} = \frac{T_{\text{п}}}{kk_1}. \quad (7.21)$$

Зная $E_{\text{и}}$, определяем, как и в предыдущем разделе, параметры инфракрасной облучательной установки.

Для обогрева поросят-сосунов разработана установка «Комби», рассчитанная на 30 станко-мест. Она состоит из 30 одинаковых комплектов. В каждом комплекте имеется электрообогреваемая панель мощностью 120 Вт и инфракрасный облучатель «Ирис» мощностью 250 Вт. Управляют установкой с пульта, в котором имеются регулятор температуры, реле времени, реле утечки тока, сигнальная и коммутационная аппаратура.

8. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ, СУШКИ, ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

8.1. Тепловая обработка кормов

Корма подвергают термообработке (варке и запариванию) для улучшения их поедаемости и усвояемости животными.

При термообработке кормов, основанной на принципе внешнего энергоподвода, теплота внутри материала распространяется за счет его теплопроводности. Так как теплопроводность сельскохозяйственных продуктов мала, процесс обработки длителен. Кроме того, из-за малой теплопроводности продукты нагреваются неравномерно, что приводит к перегреву части корма. Из-за длительности и неравномерности нагрева теряются питательные вещества и повышается расход энергии на обработку.

Поэтому более перспективны электротехнологические методы обработки корма.

Для термообработки влажных кормов (картофель, корнеплоды, смоченная солома, меласса и др.) целесообразнее применять электродный нагрев. Исследованиями установлено, что при введении энергии непосредственно в материал процесс обработки интенсифицируется, уменьшаются потери теплоты в окружающую среду, снижается температура нагрева и за счет этого сокращаются затраты энергии на обработку (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Длительность и удельный расход энергии при различных способах тепловой обработки кормов

Процессы	Электродная обработка		Обработка паром	
	длительность обработки, мин	удельный расход энергии, МДж/кг	длительность обработки, мин	удельный расход энергии, МДж/кг
Запаривание картофеля	5...8	0,32	40...60	0,4...0,44
Термохимическая обработка соломы	15...25	0,5...0,8	120...180	1,0...2,3
Подогрев мелассы	1,5...2	0,09...0,1	35	0,165

Электродная обработка кормов возможна лишь в том случае, если электрическое поле в обрабатываемом материале равномерное, между электродами и обрабатываемым материалом надежный контакт, эрозионная устойчивость электродов высокая и они не вступают в реакцию с обрабатываемым материалом.

Электрическое и температурное поля в обрабатываемом материале зависят от его теплопроводности, времени обработки и формы электродов. Равномерное распределение температуры, а значит, и энергии по объему материала обеспечивается плоскопараллельной системой электродов.

Для надежного контакта с электродами обрабатываемый материал измельчают, увлажняют или уплотняют.

В качестве материалов для электродов используют нержавеющую сталь, графит, титан. Графитовые электроды целесообразно использовать при обработке картофеля и корнеплодов; электроды из нержавеющей стали – для обработки грубых кормов и фуражного зерна, электроды из титана – для обработки мелассы.

Электродные электротермические установки для обработки кормов рассчитывают так же, как и электродные водонагреватели. При этом следует учитывать, что физические свойства кормов зависят от температуры, степени измельчения, напряженности электрического поля и влажности обрабатываемого корма. Для большинства практических расчетов бывает достаточно учитывать только изменение удельной проводимости от температуры материала T , К. Удельная проводимость, См/м:

для измельченного сырого картофеля и корнеплодов:

$$\gamma = 0,43(1 + 0,21\Delta T); \quad (8.1)$$

для измельченной, увлажненной и уплотненной соломы:

$$\gamma = 0,42(1 + 0,06\Delta T); \quad (8.1a)$$

для мелассы:

$$\gamma = 0,025e^{0,053\Delta T}, \quad (8.16)$$

где $\Delta T = T - 293$.

Особенность расчета электротермических установок заключается в том, что температуропроводность корма низкая и поэтому температура в межэлектродном промежутке не выравнивается. Это приводит к еще большему, чем у электродных водонагревателей, изменению удельной объемной мощности по ходу движения продукта. Такое нежелательное явление частично устраняют путем изменения расстояния между электродами или путем изменения направления движения продукта.

На рис. 8.1 показан подогреватель мелассы, в котором реализованы оба эти способа. Холодная меласса поступает в камеру 4, огибает промежуточные секционированные электроды 3 и поступает в камеру 2. Межэлектродное расстояние в камере 4 меньше, чем в камере 2. Электрический ток последовательно проходит по объему холодной мелассы в камере 4 и нагретой в камере 2. Благодаря этому удается стабилизировать по высоте сопротивление межэлектродного промежутка, а следовательно, и удельную объемную мощность.

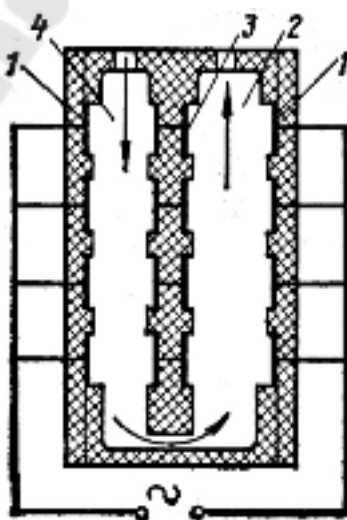


Рис. 8.1. Электроподогреватель мелассы: 1 – электроды; 2 и 4 – камера нагрева; 3 – промежуточные электроды

Установки с плоскопараллельными электродами рассчитываются в такой последовательности:

1. Определяют расчетную мощность P_p исходя из заданного времени нагрева, массы обрабатываемого материала, его теплоемкости, начальной и конечной температур.

2. Рассчитывают мощность на одну фазу:

$$P_{\phi} = P_p / m. \quad (8.2)$$

3. Выбирают напряженность электрического поля, для корнеплодов и грубых кормов $E = 700 \dots 1000$ В/м; для мелассы $E = 5000 \dots 6000$ В/м.

4. Находят межэлектродное расстояние по формуле

$$l = U_{\phi} / E, \quad (8.3)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В.

5. Задаются шириной электродов b (из конструктивных соображений).

6. Рассчитывают длину электродов, м:

$$h = \frac{l \cdot P_{\phi}}{U_{\phi} \cdot b \cdot \gamma_{\text{ср}}}, \quad (8.4)$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – удельная электрическая проводимость нагреваемого материала, См/м, соответствующая среднему значению температуры.

7. Определяют плотность тока при конечной температуре материала по соответствующему значению удельной проводимости γ_2

$$J_2 = \gamma_2 \cdot E \quad (8.5)$$

и сравнивают эту плотность с допустимой.

Допустимая плотность тока зависит от вида обрабатываемого корма, материала электродов, напряжения сети, принципа работы (периодического или непрерывного действия). При обработке соломы, грубых кормов и корнеплодов допустимая плотность тока $J_{\text{доп}} = 1000 \dots 1500$ А/м², а при обработке мелассы $J_{\text{доп}} = 500 \dots 1000$ А/м².

Стремление сократить продолжительность термической обработки жидких кормов и продуктов привело к созданию электропастеризационных установок, использующих ИК-излучение. Инфракрасные аппараты используют для нагрева воды, фруктовых, ягодных и овощных соков, минеральных и фруктовых вод, вин, пива; органических

жидкостей; сока зеленых растений для коагуляции белка; молока и других сред с целью пастеризации. Наиболее перспективны установки, в которых обрабатываемый материал тонким слоем протекает по поверхности твердого тела. Данные аппараты могут быть выполнены по различным схемам. Наиболее удобна установка, в которой обрабатываемый материал стекает по внутренней поверхности цилиндра. На рис. 8.2 показана технологическая схема аппарата, предназначенного для электротермической обработки жидких сред. Жидкость поступает на обработку в приемный бак 1. Из него насосом 3 жидкость подается в теплообменник 4, где она предварительно подогревается через стенку встречным потоком обработанного продукта. После этого обрабатываемый материал подается в верхнюю часть рабочего цилиндра 6. Стекая вниз по стенке цилиндра, жидкость нагревается ИК-излучателем 7. Затем материал насосом 5 направляется в теплообменник, в котором частично охлаждается. Регулятор 2 в зависимости от качества обработки жидкости направляет ее в линию готовой продукции или возвращает на повторную обработку.

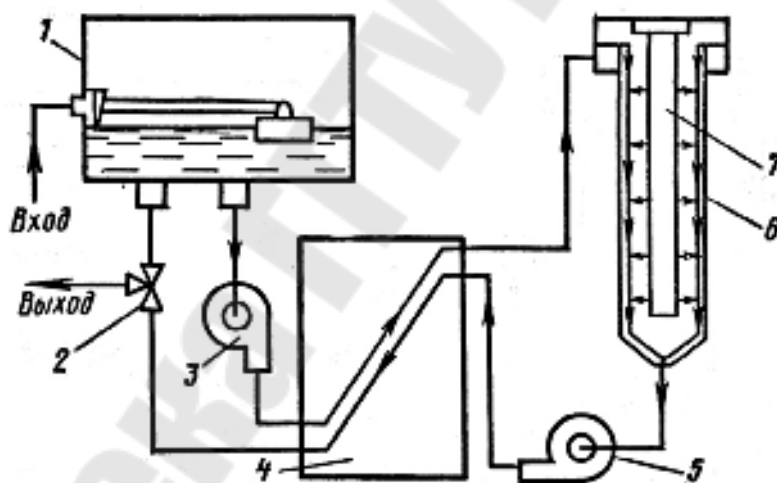


Рис. 8.2. Технологическая схема установки, предназначенной для электротермической обработки жидких сред: 1 – бак; 2 – клапан для выпуска обработанной жидкости; 3 и 5 – насосы для подачи необработанной и пастеризованной жидкости; 4 – теплообменник; 6 – рабочий цилиндр; 7 – источник ИК-лучей

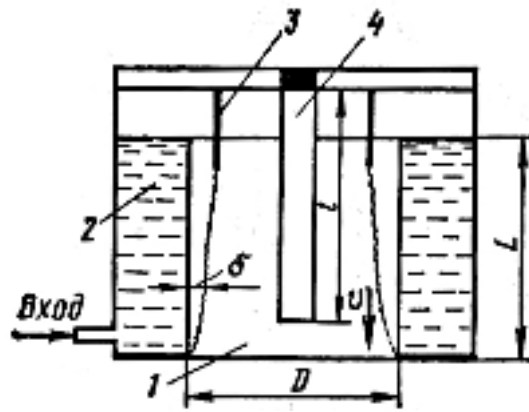


Рис. 8.3. Рабочий цилиндр установки, предназначенной для электротермической обработки жидких сред: 1 – рабочее пространство; 2 – приемно-распределительная камера; 3 – вращающиеся лопасти; 4 – источник ИК-лучей

Параметры ИК-излучателя для термообработки жидких сред рассчитывают в такой последовательности:

1. Определяют температуру источника инфракрасных лучей. Вода, являющаяся одним из компонентов жидких продуктов, поглощает почти всю энергию с длиной волны $\lambda > 1,5$ мкм. Исходя из закона смещения Вина, температура ИК-источника, соответствующая этой длине волны, должна быть меньше 1900 К. В практике расчетов принимают, что температура источника $T_{и} = 1000...1100$ К.

2. Выбирают толщину слоя жидкости в рабочем органе (рис. 8.3) с учетом проникающей способности ИК-лучей. Для пастеризационных установок толщина слоя $\delta = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

3. Находят скорость, м/с, течения жидкости по внутренней поверхности:

$$v = 9 \cdot 10^3 \frac{\nu}{\delta}, \quad (8.6)$$

где ν – кинематическая вязкость, м²/с.

4. Определяют длину, м, рабочей части цилиндра, исходя из заданной экспозиции обработки t , с:

$$L = vt. \quad (8.7)$$

5. Рассчитывают мощность, Вт, источника инфракрасных лучей по выражению

$$P = \frac{M_t c_m (T_k - T_n)}{\eta}, \quad (8.8)$$

где M_t – массовый расход материала, кг/с; $\eta = 0,95$ коэффициент полезного действия установки; T_k, T_n – температура жидкости до и после рабочего цилиндра, К.

6. Определяют площадь, m^2 , поверхности источника ИК-лучей:

$$A_{и} = \frac{P}{\varepsilon_{и} \sigma T_{и}^4}, \quad (8.9)$$

где σ – постоянная, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/($m^2 \cdot K^4$); $\varepsilon_{и} = 0,9$ – интегральный коэффициент излучения источника.

7. Находят диаметр излучателя:

$$d_{и} = \frac{A_{и}}{\pi \cdot l_{и}}, \quad (8.10)$$

где $l_{и}$ – длина излучателя, м, ($l_{и} = L$).

8. Подбирают тип источника излучения по мощности, температуре и размерам, пользуясь каталогами. В качестве источника применяют ТЭН, лампы накаливания с галогенным циклом или керамические трубки с нихромовым нагревательным элементом.

8.2. Электротермическое оборудование овощехранилищ

Картофель, овощи и фрукты при хранении выделяют углекислый газ, водяные пары и теплоту, поэтому в хранилище стремятся затормозить жизненные процессы и удалить избыток влаги и теплоты. Продукцию хранят как при естественной, так и при вынужденной конвекции. Хранение при естественной конвекции применяют в небольших хранилищах. Значительно расширяются возможности хранения при вынужденной конвекции в условиях активного вентилирования, под которым понимают принудительную периодическую подачу в продукцию воздуха с определенной температурой, влажностью и скоростью.

Весь процесс хранения овощей и картофеля состоит из трех периодов.

Подготовительный (лечебный) период начинается сразу после заполнения хранилища и длится 10...18 суток. Двое-трие суток продукцию подсушивают, а потом для интенсификации раневых реакций вентилируют периодически 4...6 раз в сутки по 20...30 мин. Скорость воздуха в насыпи продукции должна быть в пределах 0,12...0,5 м/с, что соответствует подаче воздуха 0,014...0,06 m^3/c на 1 т.

При хранении лука подготовительный период сводится к его сушке и термической обработке для уничтожения возбудителей шейковой гнили и ложной мучнистой росы. Сушат лук воздухом, подогретым до 303...308 К.

Период охлаждения начинается после окончания лечебного периода. За это время температура продукции снижается и устанавливается на таком уровне, при котором угнетается развитие микроорганизмов и в то же время в продукции не происходят нежелательные изменения, ведущие к снижению ее качества.

Период хранения является основным. В этот период при помощи активного вентилирования из массы продукции удаляют выделяемую ею теплоту и продукты обмена. Температура – основной фактор, влияющий на успех хранения. Она зависит от сорта, вида и назначения продукции.

Системы вентилирования рассчитывают для каждого периода хранения отдельно. Методика расчета данных систем изложена в литературе [3].

В период хранения температура ограждающих конструкций меньше температуры воздуха в продукции. Влажный воздух, выходящий из насыпи, соприкасается с холодными стенами и потолком. В результате этого на ограждающих конструкциях выпадает конденсат влаги. По мере накопления конденсат падает на верхние слои продукции и увлажняет ее. Во избежание этого в верхнюю зону хранилища подают воздух, подогретый в электрокалорифере. Для подогрева воздуха в верхней зоне используют отопительно-рециркуляционные агрегаты, разработанные на базе электрокалорифера СФО мощностью 10 и 16 кВт. Из расчета теплового баланса овощехранилищ видно, что теплоты, выделяющейся в продукции, достаточно для покрытия потерь через ограждения. Поэтому в овощехранилищах не используют отопительные установки, кроме электрокалориферов для подогрева воздуха в верхней зоне.

Для поддержания оптимальной температуры и влажности в овощехранилищах выпускается комплект оборудования ОРТХ (оборудование регулирования температуры хранилищ) со шкафом автоматики ШАУ-АВ. Оборудование предназначено для хранилищ небольшой емкости с одной вентиляционной установкой. Система автоматики обеспечивает определенную температуру продукции, подачу воздуха в хранилище в зависимости от наружной температуры, включение и отключение электрокалорифера для подогрева воздуха в верхней зо-

не, визуальный контроль температуры в различных точках хранилища. Принципиальная схема шкафа ШАУ-АВ и ее описание приведены в литературе [1].

Для хранилищ большой емкости, оборудованных несколькими вентиляционными установками, промышленность выпускает устройства «Среда-1», «Среда-2» (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Основные технические данные систем автоматики

Наименование показателей	ШАУ-АВ	«Среда-1»	«Среда-2»
Продукция	Картофель и овощи	Картофель и овощи	Лук
Число обслуживаемых вентиляционных камер	1	до 8	до 4
Диапазон регулирования температуры, К	263...288	253...293	253...333
Точность регулирования температуры, К	±1	±1	±1
Напряжение питания, В	220	220	220
Потребляемая мощность, Вт	До 500	До 500	До 500

Система «Среда» обеспечивает:

- подачу в продукцию наружного воздуха с температурой, более низкой, чем температура продукции, для ее охлаждения;

- периодическое вентилирование продукции по заданной программе рециркуляционным воздухом с целью интенсификации раневых реакций, для удаления избытка теплоты, снятия температурных и влажностных градиентов;

- подогрев верхней зоны хранилищ при помощи электрокалориферов;

- подачу воздуха определенной температуры в массу продукции;

- аварийную защиту продукции от переохлаждения и перегрева вентиляционным воздухом;

- подачу команды на включение холодильных установок;

- подогрев смесительной заслонки шкафа управления;

- визуальный контроль (при помощи логометра) температуры в 39 точках хранилища.

Система «Среда-2», кроме перечисленных функций, подает в массу лука воздух с заданной температурой при сушке и термической обработке. Устройство «Среда-1» можно использовать для хранилищ как с однородной продукцией, так и с комбинированной. На рис. 8.4 показана структурная схема системы «Среда-1».

Сигнал об отклонении температуры от нормы формируется в блоках измерения и задания БИЗ. Этот сигнал коммутируется распределителем БРД и поступает на электронное реле РЭ. Здесь аналоговый сигнал с блока БИЗ преобразуется в релейный и подается на блок реле БР. Таким образом, блоки БИЗ, РЭ и БР образуют регуляторы температуры с двухпозиционным и пропорциональным законом регулирования. Сигналы с блоков реле БР коммутируются распределителем БРД и подаются на блоки управления. В блоках БУ формируется команда управления исполнительными устройствами хранилища, обеспечивающими заданную температуру. Кроме этого, блоки управления предусматривают световую сигнализацию при отклонении температуры от нормы в различных зонах хранилища и при работе соответствующих исполнительных устройств, а также переключение исполнительных устройств на ручное управление.

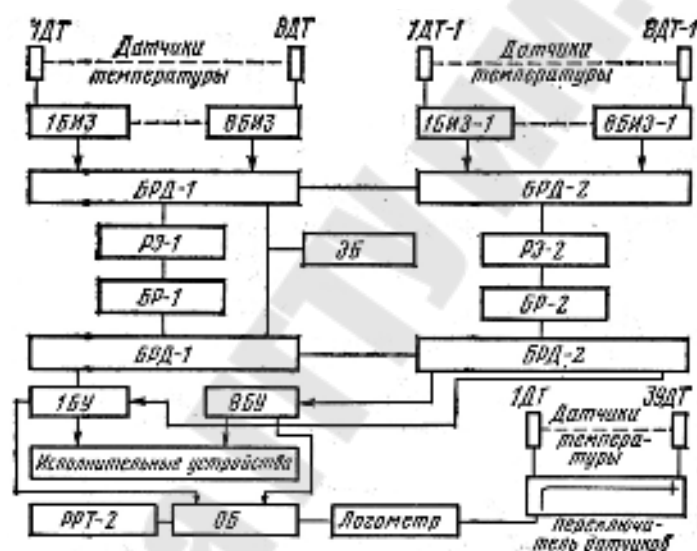


Рис. 8.4. Структурная схема устройства «Среда-1»:
 1БИЗ...8БИЗ, 1БИЗ-1...8БИЗ-1 – блоки измерений и заданий; БРД-1 и БРД-2 –
 блоки двухпозиционного и пропорционального регуляторов; РЭ-1 и РЭ-2 –
 электронное реле; ЭБ – электронный блок; БР-1 и БР-2 – блоки реле;
 1БУ...8БУ – блоки управления; РРТ-2 – регулятор разности температур;
 ОБ – общий блок

Электронный блок предназначен для управления распределителем. В общем блоке установлены следующие приборы и устройства: двухпрограммные реле времени; два однопрограммных реле времени; источники питания элементов схемы устройства.

Регулятор разности температур РРТ-2 используют для сравнения температуры наружного и внутреннего воздуха и при температуре наружного воздуха ниже температуры внутреннего дает разрешение на охлаждение приточным воздухом.

9. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

9.1. Способы электрического обогрева сооружений защищенного грунта

Для обогрева сооружений защищенного грунта можно использовать различные электронагревательные установки (рис. 9.1).

В современных сооружениях защищенного грунта наиболее распространен элементный способ обогрева. В зависимости от типа нагревателя и способа его монтажа элементный обогрев разделяют на несколько видов.

При обогреве парников проводом без изоляции для снижения опасности поражения обслуживающего персонала электрическим током провод укладывают в специальных трубах (асбоцементных, керамических и др.) или над проводом протягивают экранную сетку, а также для питания нагревателя используют пониженное напряжение.

В трубчатых обогревателях нагревательным элементом служит стальной оцинкованный провод диаметром 2,5...4 мм. Трубы (диаметр 50...150 мм) укладывают (рис. 9.2) в слое песка, насыпанном на теплоизолирующий слой шлака, с уклоном для стока влаги.

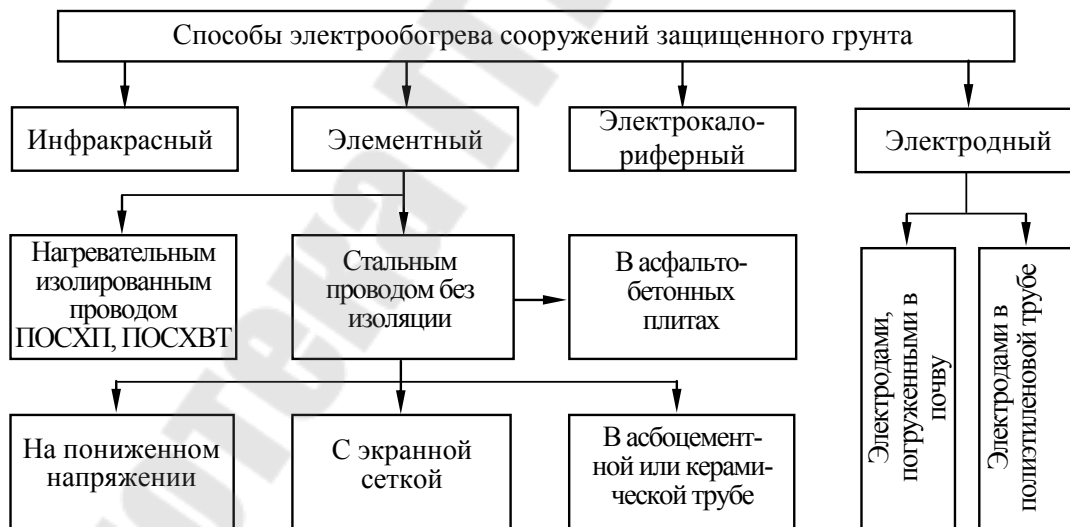


Рис. 9.1. Классификация наиболее распространенных способов электрообогрева сооружений защищенного грунта

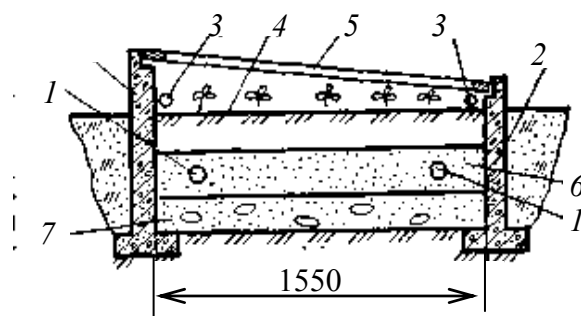


Рис. 9.2. Поперечный разрез парника с электрообогревом трубчатыми нагревательными элементами: 1 – элементы почвенного обогрева; 2 – парубки; 3 – элементы воздушного обогрева; 4 – культурный слой почвы; 5 – рама; 6 – песок; 7 – шлак

Стенки труб соединяют муфтами на цементном растворе. Чтобы провод не касался стенок трубы, его прокладывают на изолирующих опорных дисках.

При обогреве парников неизолированным проводом с экранной сеткой нагревательным элементом является стальная проволока, которую укладывают зигзагообразно вдоль сооружения в слое песка. Напряжение питания 380/220 В. Поверх провода насыпают слой почвы 15...20 см и укладывают экранирующую стальную сетку, которую присоединяют к нулевому проводу сети. Поверх сетки насыпают культурный слой почвы. При данном способе обогрева теплота выделяется как в самом нагревателе, так и в почве за счет тока, протекающего между проводом и экранной сеткой. Недостаток этого способа – большая металлоемкость.

При обогреве парников неизолированными проводами на пониженном напряжении используют специальную понизительную трансформаторную подстанцию 380/12...42 В. В качестве нагревательного элемента применяют стальной провод диаметром 4...8 мм, покрытый термостойким лаком. Провод в парнике укладывают так же, как и в предыдущем случае. Недостаток данного способа – большие капитальные затраты на устройство электрообогрева (подстанции).

Парники с обогревом асфальтобетонными плитами обладают большой аккумуляционной способностью, обеспечивают равномерность нагрева почвы и достаточную электробезопасность. Обогреватель выполняют в такой последовательности. На грунт насыпают слой шлака толщиной 0,2 м. Сверху шлак присыпают песком. На песок укладывают асфальтобетон (88 % песка, 12 % битума), а затем стальной неизолированный провод диаметром 2...3 мм, который заливают стяжкой из асфальтобетона. Асфальтобетон обеспечивает хо-

рошую электрическую изоляцию нагревателя, что позволяет использовать для питания парника напряжение 380/220 В. Иногда нагреватель парника набирают из отдельных асфальтобетонных или асфальтокерамзитобетонных плит. Это позволяет сократить сроки сооружения парников и улучшить качество нагревателя, так как плиты изготавливаются в заводских условиях. Однако при этом способе трудно заменять поврежденные провода и, кроме того, требуются сравнительно большие затраты на сооружение обогрева.

Обогрев закрытого грунта нагревательным проводом типа ПОСХВ, ПОСХП и ПОСХВТ аналогичен обогреву неизолированным проводом. При непосредственной укладке провода в песок его защищают от повреждений металлической сеткой, которую заземляют для обеспечения электробезопасности. При обогреве воздуха нагревательный провод подвешивают на строительных конструкциях или крепят к несущему тросу.

Обогрев почвы и воздуха сооружений защищенного грунта индукционными нагревателями выполняется так же, как и неизолированными проводами. Электробезопасность при питании нагревателя сетевым напряжением обеспечивается присоединением к нулевому проводу наружных металлических труб.

Недостаток описанных конструкций парников с почвенным обогревом заключается в том, что тепловой поток от нагревательных элементов, уложенных на дно парника, направлен не только в культурный слой почвы, но и в массу грунта под нагревателями. Чтобы уменьшить тепловой поток, уходящий в грунт, парник целесообразно приподнять над землей. При этом воздушный промежуток, образовавшийся между дном парника и поверхностью земли, играет роль тепловой изоляции.

Для снижения затрат электроэнергии на обогрев рассадных теплиц применяют зонный обогрев. При этом способе обогревают только рабочую зону (высотой 0,3 м), оградив ее от объема теплицы пленочным укрытием. В качестве нагревательного элемента используют провода типа ПОСХВ, ПОСХП и ПОСХВТ.

9.2. Электротермические способы борьбы с вредителями в почве

Оптимальный микроклимат и длительный период вегетации овощных культур в сооружениях защищенного грунта создают благоприятные условия для развития и размножения вредителей и возбудителей болезней этих растений. В защищенном грунте потери

урожая от болезней достигают до 50 %, поэтому почву необходимо периодически обеззараживать или заменять. Процесс замены почвы требует больших затрат, и поэтому чаще всего прибегают к ее стерилизации.

Нагрев почвы до температуры 363...373 К паром или электрическим током наиболее эффективный способ борьбы с вредителями.

Преимущество электронагрева заключается в том, что почву после стерилизации можно использовать сразу же, а процесс легко контролируется и автоматизируется. Для нагрева почвы применяют стерилизаторы с элементными или электродными нагревателями.

Элементный стерилизатор представляет собой ящик, в котором установлены пластинки из сплава на основе алюминия. На пластинках укреплены ТЭН. Тепловой поток от ТЭН передается пластинкам, а от них – почве. Такая конструкция обеспечивает равномерность нагрева почвы.

В электродный стерилизатор, выполненный в виде деревянного ящика, вставлены четыре металлических электрода, подключенные на напряжение 380 В. Для равномерного распределения нагрузки между фазами крайние электроды соединены между собой проводником. Электрический ток, проходя через почву, нагревает ее. Время обработки должно быть не менее часа. При меньших экспозициях возможна стимуляция некоторых видов вредителей растений.

10. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ БЫТОВЫЕ ПРИБОРЫ

10.1. Электротермические приборы для приготовления пищи

Электроприборы, используемые для приготовления пищи, разделяют на четыре большие группы: жарочные шкафы, электроплиты, электроплитки и специализированные приборы (электрошашлычницы, электросковороды, электровафельницы, электрокастрюли, электропароварки и др.).

Жарочные шкафы и электроплиты. Жарочные шкафы бывают встроенные и настольные. Встроенный жарочный шкаф представляет собой металлический корпус, имеющий теплоизоляцию. Слой теплоизоляции покрыт алюминиевой фольгой, выполняющей роль экрана. Корпус шкафа крепится к передней стенке плиты. Шкаф закрывается дверкой, в которую вмонтировано смотровое стекло. Продукт в шкафу нагревается трубчатыми нагревателями. В некоторых шкафах ус-

танавливают магнетроны и для нагрева используются токи сверхвысокой частоты.

Настольные шкафы устроены аналогично (за исключением более качественной отделки металлического корпуса).

Электроплита – универсальный прибор для приготовления пищи. Плиты бывают настольные, напольные и встроенные. Пищу готовят на конфорочной панели электроплиты или в жарочном шкафу. Основные элементы плиты: конфорочная панель с конфорками, панель управления, жарочный шкаф.

Конфорочную панель изготавливают с чугунными, трубчатыми или пирокерамическими конфорками. Конфорка выполняет функции нагревателя. Наиболее распространена круглая форма конфорки.

Чугунные конфорки имеют два или три спиральных паза, в которые укладывают электроизоляцию – периклаз – и нагревательные элементы, изготавливаемые в виде спирали из нихрома (Х20Н80-Н). Наличие в конфорке нескольких спиралей позволяет наиболее просто изменять ее мощность. Трубчатые конфорки выполняют из одного, двух или трех ТЭН. Для повышения КПД конфорки под ТЭН устанавливают отражатель. В конфорках используют как одноконцовые двухспиральные, так и двухконцовые односпиральные ТЭНы. Трубчатые нагреватели работают при высоких температурах (800...1000 К), постоянно подвергаются механическим и химическим воздействиям, поэтому их оболочку выполняют из нержавеющей стали.

Пирокерамические конфорочные панели – это дальнейший шаг по пути совершенствования плит. Вся поверхность конфорочной панели покрыта стеклокерамикой, стойкой к тепловым и механическим воздействиям, с низким коэффициентом линейного расширения и малой теплопроводностью.

Инфракрасные нагреватели располагают под керамикой, а места их установки обозначают рисунком. При нагреве часть настила уже на расстоянии 2...5 см от конфорки-рисунка остается практически холодной. Для снижения потерь под инфракрасными нагревателями проложен слой теплоизоляции. Пирокерамические конфорочные панели выпускают с двумя или четырьмя нагревателями. Под каждой «конфоркой» располагается датчик терморегулятора. В качестве ИК-нагревателя используют: ленту из нихрома, намотанную на миканит; спираль в керамике; ТЭН; инфракрасные лампы. Основные технические характеристики конфорок приведены в табл. 10.1.

Основные технические данные конфорок

Тип	Диаметр, мм	Мощность, Вт	Коэффициент полезного действия, %	Время разогрева до рабочей температуры, мин
Чугунные	145	800, 1000, 1500	69...72	10(5)
	180	1200, 1500, 2000		
	220	1800, 2000, 2600		
Трубчатые	145	1000, 1200, 1600	75...79	3...4
	180	1500, 1800, 2100		
	200	2000		
Пирокерамические	145	1000, 1200, 1500	70	6
	180	1800, 2000		

Электроплитки и специализированные приборы. Основной элемент плиток – конфорочная панель и панель управления. В отличие от электроплит конфорочную панель плиток изготавливают в одно- и двухконфорочном варианте. Электроплитки выпускают мощностью 1...2 кВт на напряжение 220 В.

Специализированные приборы можно разделить на три группы. Первая группа включает приборы, в которых обработка продукта ведется инфракрасными лучами. К ним относятся электрогрили, электрошашлычницы и электротостеры. Вторая группа включает приборы контактного нагрева – электросковороды, электровафельницы, электрожаровни. К третьей группе относятся электрокастрюли, электропароварки, электрофритюрницы.

10.2. Электротермические приборы для нагрева воды

Данные приборы подразделяются на две группы: электроводонагреватели и переносные приборы для нагрева и кипячения небольшого количества воды.

Электроводонагреватели бывают непроточные (теплоаккумулирующие) и проточные. По принципу действия бытовые электроводонагреватели не отличаются от элементных электроводонагревателей сельскохозяйственного назначения.

К переносным приборам для нагрева и кипячения небольшого количества воды относятся погружные электрокипяtilьники, электрокувшины, электрочайники и электросамовары.

Электрокипяильники – вспомогательные приборы для нагрева воды в любой посуде. Конструктивно они представляют собой трубчатый нагреватель ТЭН, снабженный шнуром питания. Мощные электрокипяильники комплектуют термовыключателями. Промышленность выпускает электрокипяильники типа ЭПМ, ЭПО, ЭПОТ мощностью 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,2; 1,6 и 2 кВт. Кипяильники рассчитаны на напряжение 220 В.

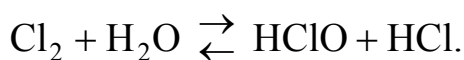
Электрокувшины, электрочайники, электросамовары предназначены для быстрого кипячения небольшого количества воды. Кипятить воду в этих приборах более экономично и удобно, чем на электроплитках. Конструкция всех этих приборов примерно одинакова. Различия заключаются лишь во внешнем оформлении.

11. ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

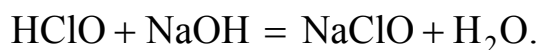
11.1. Использование физико-химического действия электрического тока

Получение дезинфицирующего раствора. На животноводческих фермах и комплексах воду, молочную посуду, доильное и другое технологическое оборудование для обеззараживания обрабатывают хлорсодержащими растворами, которые могут быть получены путем электролиза водного раствора поваренной соли. Для этого используют установку ЭДР-0,1, содержащую емкость, в которую помещен электролизный аппарат.

Перед началом работы в емкость установки заливают 20 л 5%-ного раствора поваренной соли (1 кг соли на 20 л воды). Затем на электроды электролизного аппарата подают постоянное напряжение 24 В от выпрямителя ВСА-6К (первичное напряжение переменного тока 220 В). Через водный раствор поваренной соли NaCl проходит ток, обусловленный перемещением ионов Na^+ и H^+ к катоду, а ионов Cl^- и OH^- к аноду. На катоде в результате восстановления ионов H^+ выделяется газообразный водород, а на аноде в результате окисления ионов Cl^- – газообразный хлор. Ионы Na^+ , соединяясь с ионами OH^- , образуют едкий натр NaOH; хлор, растворяясь в воде, образует хлорноватистую и соляную кислоты:



Хлорноватистая кислота взаимодействует с едким натром и образуется гипохлорит натрия NaOCl:



Хлорноватистая кислота и гипохлорит натрия, будучи сильными окислителями, обуславливают дезинфицирующее действие раствора.

Дезинфицирующий раствор готовят 1,5...2 ч. На получение 1 кг активного хлора расходуется 8...10 кг поваренной соли и 5,5...7 кВт · ч электроэнергии. Мощность, потребляемая установкой, составляет 350...600 Вт (по постоянному току).

По сравнению с использованием готовых реагентов (жидкого хлора, хлорной извести, гипохлорита кальция) обеззараживание при помощи электролитического гипохлорита натрия, получаемого на месте, позволяет избежать трудностей и затрат, связанных с транспортировкой и хранением токсических веществ.

Комплексная очистка и обеззараживание питьевой воды на пастбищах, фермах и в поселках при суточном потреблении около 10 м³ может осуществляться в электрохимической установке УВ-0,5. Установка включает в себя фильтр-электролизер для электрокоагуляции тонкодисперсных, в том числе бактериальных, загрязнений; гипохлоритный электролизер для обеззараживания воды; серебряный электролизер для консервирования воды. Вода после обработки ионами серебра сохраняет свои свойства больше месяца. Потребляемая мощность установки 2,5 кВт.

Опреснение воды. В условиях сельскохозяйственного производства, особенно на пастбищах, для опреснения воды применяют электродиализные установки (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Основные технико-экономические данные некоторых электродиализных установок сельскохозяйственного назначения

Тип установки	Производительность, м ³ /ч	Содержание солей в воде, г/л		Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/м ³
		исходной	опресненной	
ЭОУ-НИИПМ-12	0,5	4	0,85	1,5
СЭХО-2	0,15	10	1	7
ЭОСХ-2М	3,5	7	1	2,3

Нанесение гальванических покрытий в ремонтном производстве. Для восстановления изношенных деталей, а также для защиты от коррозии восстанавливаемых и вновь изготавливаемых предназначены гальванические покрытия.

Процесс нанесения гальванических покрытий основан на явлении электролиза и осуществляется в ванне, заполненной электролитом. Основным компонентом электролита – это соединение того металла, который должен быть осажден на деталь. В ванну погружают электроды (аноды) и восстанавливаемые детали (катоды). При подаче на электроды постоянного напряжения (2...48 В) положительно заряженные ионы металла осаждаются на поверхности детали.

Из гальванических процессов в ремонтном производстве наиболее распространено хромирование и железнение. Плотность тока при этих процессах составляет несколько тысяч ампер на квадратный метр.

Преимущества восстановления изношенных деталей гальваническими покрытиями перед наплавкой заключаются в следующем: получение покрытия заданной толщины и одновременное восстановление большого числа деталей; отсутствие термического или механического воздействия на восстанавливаемую деталь; хорошая управляемость процессом.

Рассоление почвогрунтов. При рассолении из верхнего слоя почвы удаляют избыток вредных солей, которые угнетают развитие культурных растений и снижают урожайность последних либо делают их произрастание вообще невозможным.

Распространенный метод рассоления почв – их промывка пресной водой. В зависимости от содержания токсичных солей капитальные промывки продолжаются 1–3 года и на 1 га требуется 5...30 тыс. м³ пресной воды.

Интенсивность рассоления почвы можно повысить, пропуская через нее постоянный электрический ток определенной плотности. При этом за счет электроосмоса повышается фильтрационная способность засоленной почвы, а в результате электролиза изменяется рН среды, что увеличивает растворимость солей. Кроме того, под действием электрического поля существенно повышается влагопроводность почвы. Эти и другие факторы усиливают вытеснение растворенных токсичных солей из верхнего почвенного слоя в нижележащие слои, откуда эти соли отводятся дренажной системой.

Многолетние эксперименты в лабораторных и полевых условиях показали, что при использовании для рассоления почв постоянного электрического тока существенно сокращается период мелиорации (в несколько раз), уменьшается расход пресной воды (примерно в 2 раза) и ускоряется хозяйственное освоение почв.

В полевых условиях электромелиорацию проводят следующим образом. Поле, подлежащее рассолению, предварительно готовят к промывке, используя обычную технологию. Затем на выделенных участках (чеках) монтируют электроды (аноды и катоды), в качестве которых чаще всего применяют металлические трубы или стержни диаметром 35...70 мм. Глубина заделки катодов (3...5 м) обычно больше, чем анодов (0,6...1,8 м). Это объясняется желанием хотя бы частично совместить направление электроосмотического потока воды, идущего к катоду, с вертикальным направлением гидравлической фильтрации, обусловленной действием силы тяжести. При вертикальном расположении электродов аноды и катоды часто размещают рядами. Расстояние между одноименными электродами в ряду составляет обычно 10...20 м, между рядом катодов и рядом анодов – 20...110 м.

После заполнения чеков водой линии одноименных электродов подключают к выпрямительному устройству. Необходимое напряжение постоянного тока составляет десятки вольт, плотность тока в почве – 1...10 А/м², расход электроэнергии – 5...20 тыс. кВт · ч на 1 га.

После того как рассоление закончено и поле подсохло, демонтируют электрическую схему, извлекают из почвы электроды и готовят поле к посеву.

11.2. Использование биологического действия электрического тока

Предпосевная обработка семян (ПОС). Способ ПОС основан на использовании электрического тока и поля высокого напряжения промышленной частоты. Семена обрабатывают в конденсаторе, между обкладками которого создается поле напряженностью 100...400 кВ/м. Длительность обработки семян различных культур 20...180 с. Производственные испытания данного метода ПОС подтвердили его эффективность на многих сельскохозяйственных культурах. В частности, урожайность зерновых культур повышается на 10...15 %, а зеленой массы кукурузы – до 25 %, качество получаемой продукции улучшается.

Воздействие электрического тока на растения. Установлено, что электризация почвы и корневой системы растений слабым электрическим током (плотностью 0,1...5 А/м²) может оказывать стимулирующее действие на растения (ускоряется созревание, повышается урожайность и др.).

При достаточно большой плотности тока его действие на растения становится угнетающим, что может быть использовано для борь-

бы с сорной растительностью. Общим для многих из предлагаемых технических решений является использование мобильных устройств на базе трактора, от вала отбора мощности которого приводится во вращение электрический генератор, подключенный к первичной обмотке повышающего трансформатора. Выводы вторичной обмотки последнего соединяют с электродами: навесными, перемещаемыми над поверхностью почвы и (или) заземленными, перемещаемыми в толще почвы или по ее поверхности. Электрический ток проходит через почву и корневую систему растений.

При использовании для борьбы с сорными растениями трехфазного переменного тока промышленной частоты в качестве навесных электродов применяли пластины и стержни с шириной захвата 50...55 см, заземленных – катки диаметром 10 см и массой 6,6 кг. Были выявлены оптимальные условия обработки с точки зрения затрат электроэнергии и эффективности истребления сорных растений: напряжение между электродами – 2...5 кВ, скорость перемещения электродной системы – 1...4 км/ч, срок обработки – до достижения сорными растениями фазы старения при иссушенном верхнем слое почвы (при этом удельное электрическое сопротивление растительной ткани минимально, а почвы – максимально). При удельных затратах электроэнергии 20...90 кВт · ч/га засоренность обрабатываемых участков снижается на 80...90 %.

Электроплазмолиз растительного сырья. Плазмолиз – отслоение протопласта клетки от ее оболочки, сопровождающееся сжатием протоплазмы. В некоторых пределах этот процесс является обратимым, однако при достаточно сильном воздействии первоначальные свойства протоплазмы не восстанавливаются, и клетка погибает. После гибели клетки жидкость, биологически связанная с ней, выходит в межклеточники.

Плазмолиз может быть достигнут механическими, термическими, электрическими и другими методами. Электроплазмолиз – создание в клетке плазмолиза путем воздействия на нее электрического тока.

Для электроплазмолиза используют переменный ток промышленной и повышенной частоты и импульсы тока постоянной полярности. Постоянный ток не находит практического применения из-за возможности разложения продукта.

Для электроплазмолиза растительного сырья служат специальные устройства – электроплазмоллизаторы. Наиболее распространенным конструктивным типом электроплазмоллизатора является валковый.

Он представляет собой два установленных с некоторым зазором между собой металлических валка-электрода, которые смонтированы горизонтально на станине и вращаются в подшипниках навстречу один другому. Подшипники и станина изолированы от валков. Электрический ток к валкам подводится через коллекторные кольца, укрепленные на них. Растительное сырье непрерывно проходит между валками и замыкает электрическую цепь.

Электроплазмолиз применяют в пищевой промышленности для увеличения выхода сока при прессовании растительного сырья (плодов, ягод и др.).

Перспективно применение электроплазмолиза как интенсифицирующего фактора при заготовке сухих кормов.

Известно, что сушка травы сопровождается потерей питательных веществ, содержащихся в ней. Например, при заготовке сена способом естественной сушки травы в поле теряется 25...50 % питательных веществ. Чтобы уменьшить эти потери, необходимо ускорять сушку.

Скорость сушки растений в большой степени определяется формой связи влаги с материалом. Живые клетки оказывают сопротивление высушиванию, так как у них значительная часть влаги биологически связана в протоплазме. Если каким-либо путем разрушить клетку, то биологически связанная в ней влага переходит в свободную влагу, которую в дальнейшем можно легко испарить. Было установлено, что скорость сушки «неживой» травы (увлажненного сена) в среднем на 30 % больше скорости сушки свежей травы той же начальной влажности. Следовательно, одним из путей ускорения сушки является прекращение жизнедеятельности растений до начала сушки, для чего может быть использован электроплазмолиз.

Для интенсификации естественной сушки травы в поле целесообразно совместить электроплазмолиз на переменном токе со скашиванием и плющением травы. Разработаны опытные образцы электроплазмолитора-косилки на базе косилки-плющилки КПВ-3,0. Источником питания валцов электроплазмолитора служит бензоэлектрический агрегат в комплекте с повышающим трансформатором. Напряженность электрического поля в зоне обработки составляет 60...75 кВ/м. Сравнительные испытания показали, что при использовании электроплазмолитора продолжительность естественной сушки травы уменьшается в 1,3...2 раза, а содержание каротина в ней при конечной влажности 18 % на 50 % выше, чем при использовании косилки КПВ-3,0.

Электроплазмолиз эффективно применять для интенсификации и искусственной сушки кормовых трав: общие затраты энергии на весь технологический процесс сушки снижаются на 10...40 %, производительность сушильного агрегата увеличивается на 16...50 %.

Расход электроэнергии при электроплазмолизе травы составляет 1,7...2,1 кВт · ч на 1 т исходной массы.

Электрические изгороди (ЭИ) применяют для загонной пастьбы и ограждения летних лагерей коров, телят, овец, свиней и других животных.

ЭИ включает в себя генератор электрических импульсов высокого напряжения и собственно изгородь, в состав которой входят опорные стойки с изоляторами и токоведущая линия (ТВЛ). Опорные стойки с натянутой на них токоведущей линией располагают на расстоянии 10...20 м одна от другой по периметру огораживаемого участка. Токоведущие линии выполняют из стальной оцинкованной проволоки диаметром 1,2...2 мм либо из токопроводящих шнуров на синтетической основе. В зависимости от вида животных ТВЛ может быть одно- или многопроволочной, высота подвеса проволок – 30...90 см.

Один полюс генератора импульсов заземляют, а другой – соединяют с ТВЛ изгороди. Прикоснувшись к ТВЛ, животное замыкает цепь тока. Электрический ток, проходя через организм и землю, действует на клетки и раздражает нервы и мышцы, вызывая неприятное ощущение электрического «удара». В результате животное испытывает испуг. После нескольких часов пастьбы за электроизгородью у животных вырабатывается условный рефлекс «боязни» прикосновения к ограждающей проволоке.

Преимущества электроизгороди перед постоянными ограждениями: снижаются затраты материалов (в 1,8...15 раз) и время на сооружение изгороди, а также затраты на ее эксплуатацию (в 2,5...4 раза) и ремонт. Кроме того, электрические изгороди можно легко переставить на другое место.

Электрические параметры изгороди должны обеспечивать достаточно сильное раздражающее действие на животных и вместе с тем быть безопасными для них и человека.

Напряжение на ТВЛ подается импульсами, частота которых обычно находится в пределах 1...2 Гц. В последнее время появились рекомендации, ограничивающие частоту импульсов максимальным значением 1,3 Гц. Поскольку длительность импульса не превышает обычно 60 мс, то перерыв между импульсами составляет около 1 с.

За это время животное успевает отойти от изгороди после электрического «удара».

Амплитудное значение напряжения импульсов составляет 2...12 кВ, а силы тока в импульсе – 0,15...10 А. Количество электричества, прошедшее при этом через тело животного, не должно превышать 2,5 мКл.

Важнейшим элементом современных генераторов импульсов для электроизгороди является накопитель энергии – конденсатор. Энергия в накопитель поступает в течение сравнительно большого времени, а ее отдача в нагрузку происходит на протяжении очень короткого времени. При этом в нагрузке получаются импульсы с большой мгновенной мощностью, а источник питания может быть рассчитан на относительно небольшую среднюю мощность генератора импульсов.

По характеру выхода различают генераторы с индуктивным и емкостным выходом.

В генераторах с индуктивным выходом накопительный конденсатор заряжается низким напряжением, а затем через коммутирующее устройство разряжается на первичную обмотку повышающего трансформатора. Ток разряда конденсатора индуцирует во вторичной обмотке трансформатора импульс высокого напряжения, который поступает в ТВЛ изгороди. К этому типу относятся генераторы электроизгородей ИЭ-200, ЭК-1М, ЛСХА и др.

В генераторах с емкостным выходом накопительный конденсатор заряжается высоким напряжением, а затем через коммутирующее устройство разряжается непосредственно на ТВЛ изгороди. Примером может служить генератор EZK10 «Cerberus».

Для электроизгородей применяют два режима работы генераторов импульсов: автоколебательный (импульсы поступают на ТВЛ непрерывно и независимо от прикосновения к ней животных) и ждущий (генератор вырабатывает импульсы только в случае прикосновения животных к ТВЛ). Ждущий режим работы позволяет существенно продлить срок службы автономного источника постоянного тока.

12. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

12.1. Характеристика ультразвука как физического фактора

Природа ультразвука. По своей физической природе ультразвук (УЗ), так же как и слышимый звук, представляет собой упругие колебания и волны, т. е. чередующиеся во времени процессы механического сжатия и разрежения, распространяющиеся в твердой, жидкой и газообразной средах.

От слышимого звука ультразвук отличается лишь частотой. Слышимый звук охватывает диапазон частот от 16 Гц до 15...20 кГц, а ультразвук – область неслышимых частот от 15...20 кГц до 109 Гц.

Основные параметры ультразвука. Частицы среды, в которой распространяется УЗ, периодически колеблются около положения равновесия. Приблизительно можно считать, что колебания частиц совершаются во времени по синусоидальному закону с амплитудой смещения A .

Сгущения и разрежения, которые образуются в среде при прохождении в ней упругой волны, добавочно изменяют давление по отношению к среднему (статическому). Эта добавочная переменная часть давления называется звуковым давлением. Его амплитуда, Па:

$$p_{\text{зм}} = 2\pi\rho c f A, \quad (12.1)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость распространения упругой волны (скорость звука), м/с; f – частота колебаний, Гц; A – амплитуда смещения, м.

Величина ρc – важнейшая акустическая характеристика среды. Ее называют волновым сопротивлением.

При распространении ультразвуковой волны в среде происходит перенос энергии. Энергию волны, проходящую в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную распространению волны, называют интенсивностью ультразвука, Вт/м²:

$$I = \rho_{\text{зм}}^2 / 2\rho c = 2\rho c \pi^2 f^2 A^2. \quad (12.2)$$

Закономерности распространения ультразвука. По мере распространения ультразвуковой волны в среде ультразвук поглощается, т. е. его энергия переходит в другие виды энергии, в частности в теплоту. Интенсивность плоской звуковой волны, распространяющейся вдоль оси x , убывает с расстоянием как $e^{-2\alpha x}$, где α – коэффициент поглощения звука, м⁻¹.

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 оставшаяся часть проходит во вторую среду. Отношение интенсивности отраженной волны к интенсивности падающей, называемое коэффициентом отражения k_0 , зависит от волновых сопротивлений сред:

$$k_0 = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2. \quad (12.3)$$

При переходе ультразвуковой волны из твердого тела в воздух коэффициент отражения близок к единице. Например, при движении УЗ волны из никеля в воздух $k_0 = 0,99996$, т. е. УЗ в воздух практически не проходит. Существенно меньшая часть энергии УЗ отражается от границы «твердое тело – жидкость». Например, при движении УЗ волны из никеля в воду $k_0 = 0,88613$. Поэтому ультразвуковая обработка проводится с использованием промежуточной рабочей жидкости, с которой контактируют как излучатель УЗ, так и обрабатываемый объект.

Основные эффекты ультразвука. Эффекты, которые может вызвать УЗ в среде, делятся на первичные и вторичные.

Первичные эффекты имеют механическую природу. К этим эффектам относятся уже упоминавшиеся ранее звуковое давление, поглощение УЗ, а также кавитация и другие явления.

Кавитация состоит в том, что в жидкости в фазе разрежения образуются разрывы или полости, которые захлопываются в фазе сжатия, вызывая мгновенные пики давления, достигающие десятков мегапаскалей.

Вторичные эффекты УЗ являются следствием первичных и имеют различную природу. Выделяют четыре группы вторичных эффектов:

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

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

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

4. Биологические эффекты – явления, возникающие в биологических тканях при прохождении через них УЗ волн. Ультразвуковые колебания частиц среды создают своего рода массаж тканей и там, где ультразвук поглощается, ткани нагреваются. Кроме того, в тканях происходят физико-химические превращения. При малых интенсивностях УЗ перечисленные явления способствуют жизнедеятельности биологического объекта за счет улучшения обмена веществ. При больших интенсивностях УЗ биологические ткани разрушаются под действием сильного нагревания и кавитации.

12.2. Генерирование ультразвука

На рис. 12.1 показана наиболее распространенная схема генерирования УЗ. Рассмотрим отдельные элементы этой схемы.

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 УЗ. Ультразвуковые генераторы (УЗГ) в зависимости от типа преобразовательного устройства делятся на машинные, ламповые и полупроводниковые (транзисторные и тиристорные). УЗГ в основном выполняют на полупроводниковых приборах, причем чаще всего на транзисторах (табл. 14.1). Принципиальные электрические схемы УЗГ сходны со схемами высокочастотных установок для диэлектрического нагрева.

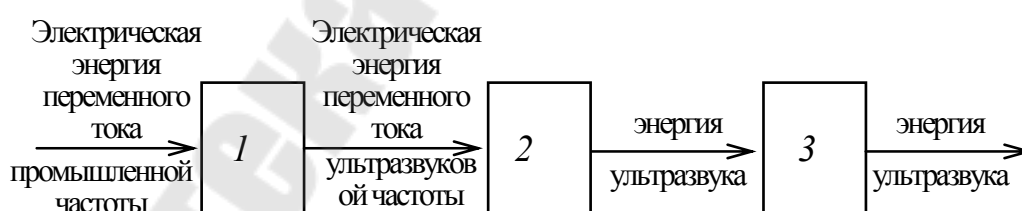


Рис. 12.1. Блок-схема генерирования ультразвука: 1 – генератор ультразвуковой частоты; 2 – электроакустический преобразователь; 3 – акустический трансформатор

Основные технические данные некоторых УЗГ

Марка генератора	Тип преобразовательного устройства	Мощность, потребляемая из сети, кВт	Выходная мощность (подводимая к электроакустическому преобразователю), кВт	Рабочая частота, кГц
УЗГ 1-0,04/22	Транзисторное	0,09	0,04	22
УЗГ 4-0,1	То же	0,15	0,1	18
УЗГ 1-0,25	»	0,4	0,25	18
УЗГ 3-0,4/22	»	0,8	0,4	22
УЗГ 5-0,63	»	1,2	0,63	18; 22
УЗГ 10-1,6	»	2	1,6	18
УЗГ 2-4	Тиристорное	5,7	4	18; 22
УЗГ 1-10/22	»	12	10	18; 22
УЗГ 2-25/22	»	34	25	18; 22

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. 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.

На рис. 12.2 показана схема двухстержневого магнитострикционного преобразователя, широко применяющегося в ультразвуковой технологической аппаратуре. По обмотке преобразователя пропускают переменный ток с частотой, равной частоте УЗ. Этот ток создает в сердечнике переменное магнитное поле. Под действием периодического намагничивания стержни сердечника периодически изменяют свою длину, и колеблющиеся торцы сердечника возбуждают в окружающей среде ультразвуковую волну.

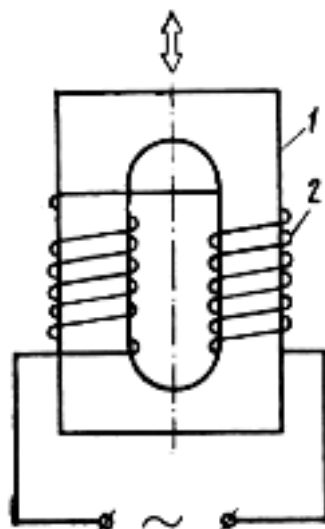


Рис. 12.2. Схема двухстержневого магнитоэлектрического преобразователя: 1 – сердечник (пакет из пластин магнитоэлектрического материала); 2 – обмотка; стрелка показывает направление деформации сердечника

Для изготовления сердечников преобразователей наиболее широко применяют никель и пермендюр (сплав, содержащий 49 % железа, 49 % кобальта и 2 % ванадия), обладающие высокой магнитоэлектричностью.

Магнитоэлектрические преобразователи работают при сравнительно небольших частотах (до 100...200 кГц), так как с увеличением частоты растут потери на гистерезис и вихревые токи.

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

Промышленность выпускает магнитоэлектрические преобразователи серий ПМС и ПМ. Их рабочая частота равна, как правило, одному из трех стандартных значений: 18, 22 и 44 кГц, потребляемая мощность составляет 0,4...4 кВт, напряжение питания – 220 и 440 В. Интенсивность ультразвука у магнитоэлектрических преобразователей может достигать 200 кВт/м^2 и более.

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

Пьезоэлектрические преобразователи часто выполняют в виде изготовленной из пьезоэлектрического материала пластинки с нанесенными на ее большие грани электродами. К электродам подводится переменное напряжение от генератора ультразвуковой частоты. При изменении приложенного электрического поля пластинка изменяет толщину и излучает УЗ в окружающую среду.

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) ввиду того, что пьезоэлектрический эффект является практически безынерционным и не связан с потерями на гистерезис. 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/м².

Пьезоэлектрические преобразователи применяют в основном в ультразвуковой информационно-измерительной технике.

Акустические трансформаторы предназначены для усиления колебаний магнитострикционного преобразователя (трансформаторы скорости) и для согласования механического сопротивления технологической нагрузки с сопротивлением пакета преобразователя (трансформаторы сопротивления). Трансформаторы скорости называются 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.

12.3. Использование силового и физико-химического действия ультразвука

Наиболее распространены технологические процессы, связанные с воздействием УЗ на жидкость. Поскольку в этих процессах основную роль играет ультразвуковая кавитация, то для них используют, как правило, низкие частоты (18...44 кГц), на которых кавитация наступает при относительно невысоких интенсивностях УЗ.

Рассмотрим примеры технологического использования УЗ в основных направлениях, представляющих интерес для сельскохозяйственного производства.

Применение УЗ в процессах, основанных на тепломассообмене. Ультразвук используют для очистки поверхностей твердых тел (деталей, сборочных единиц, изделий) от загрязнения. Предметы, подлежащие очистке, помещают в ванну, заполненную моющим раствором. Электроакустический преобразователь встраивают в дно или стенки ванны либо погружают в раствор. Параметры процесса: $f = 18..44$ кГц, $I = 2,5..100$ кВт/м², время очистки – от десятков секунд до десятков минут.

Кавитационные пузырьки, играющие основную роль в процессе УЗ очистки, проникают под пленку загрязнения, разрывают и отслаивают ее.

Применение ультразвука позволяет значительно ускорить процесс очистки; повысить ее качество (например, при прополаскивании деталей на их поверхности остается до 88 % загрязнения, при вибрационной очистке – около 55 %, при ручной – около 20 %, а при УЗ – не более 0,5 %); исключить вредный ручной труд; заменить дорогие токсичные либо пожароопасные растворители водой или дешевыми водными растворами.

Ультразвуковую очистку применяют перед ремонтом, сборкой, окраской, хромированием, никелированием и другими операциями. Особенно эффективно УЗ применять для очистки деталей, имеющих сложную форму и труднодоступные места (узкие щели, прорези, маленькие отверстия и т. д.). УЗ можно использовать и для мытья доильной аппаратуры и молочной посуды.

Промышленность выпускает большое число установок для ультразвуковой очистки, различающихся конструктивными особенностями, вместимостью ванн, мощностью УЗ (табл. 12.2).

Основные технические данные некоторых ультразвуковых очистных установок универсального назначения

Наименование показателей	УЗУ-0,1	УЗУ-0,25	УЗУ-0,4	УЗВ-15М	УЗВ-16М	УЗВ-17М	УЗВ-18М	УЗУ-13-25/16
Рабочая частота, кГц	18	18	18	22	22	22	22	16
Выходная мощность генератора, кВт	0,1	0,25	0,4	2,5	5,0	7,5	10	25
Вместимость ванны, л	1	5	5	42	82	128	163	350

Ультразвук можно использовать также и для интенсификации других процессов, связанных с тепломассообменом: сушки материалов, пропитки пористо-капиллярных материалов жидкостью (например, при пропитке электрической изоляции лаком, при ощелачивании соломы) и т. д.

Применение УЗ для размерной обработки твердых хрупких материалов. Сущность этой обработки состоит в том, что между инструментом 2 (рис. 12.3), 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.

Ультразвуковая размерная обработка в отличие от электроэрозионной пригодна для обработки как проводящих, так и диэлектрических материалов. Наиболее эффективна ультразвуковая обработка при изготовлении деталей и отверстий сложной формы в изделиях из твердых хрупких материалов (стекло, керамика, алмаз, германий, кремний и др.), обработка которых другими методами затруднена.

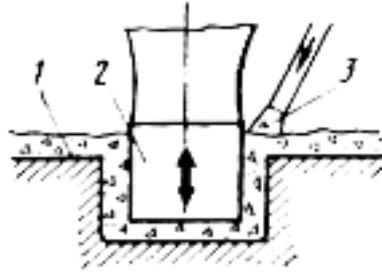


Рис. 12.3. Схема ультразвуковой размерной обработки материалов:
1 – обрабатываемая поверхность заготовки; 2 – инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой; 3 – зерна абразива, взвешенные в воде

Применение УЗ для соединения материалов. Ультразвук можно успешно применять для пайки и сварки металлов.

Ультразвуковая пайка отличается от обычной тем, что жало паяльника жестко связано через концентратор с электроакустическим преобразователем и совершает колебания с частотой 18...44 кГц и амплитудой 3...20 мкм. Ультразвуковые колебания вызывают в расплавленном припое кавитацию, которая способствует разрушению окисной пленки на поверхности металла. Чистый металл, обнажившийся при этом, обслуживается. Ультразвук позволяет проводить пайку легкоокисляющихся металлов (например, алюминия) без специальных флюсов и повышает качество соединений. Для ультразвуковой пайки применяют устройства различной мощности (от 0,01 до 0,6 кВт): УП-21, УЗУП-2, УЗП 2-0,025 и др.

Ультразвуковая сварка. При ультразвуковой сварке металлов соединяемые детали прижимаются одна к другой под действием относительно небольшой силы, направленной нормально к поверхности их соприкосновения. По касательной к этой поверхности направлены ультразвуковые колебания, которые разрушают пленку окиси на поверхности деталей и вызывают в зоне сварки состояние пластичности или текучести. При этом под действием нормальной силы детали соединяются.

Сварка происходит без заметного нагрева металла, вследствие чего его структура в зоне сварки изменяется мало. Ультразвук можно использовать для сварки листов очень малой толщины (доли миллиметра), при этом требования к чистоте поверхности снижены. Эксплуатируются различные типы ультразвукового оборудования для сварки металлов мощностью 0,1...4 кВт; машины МТУ и сварочные клещи К.ТУ для точечной сварки, машины МШУ для шовной сварки и т. д.

Применение УЗ для диспергирования и коагуляции. Используются следующие виды ультразвукового диспергирования: образование суспензий (измельчение твердых тел в жидкости), жидких аэрозолей (распыление жидкостей в воздухе) и эмульсий (получение мелких капелек одной из взаимно нерастворимых жидкостей в среде другой).

Для получения эмульсий выпускают смеситель-эмульгатор УГС-10 и другие аппараты. Ультразвуковое эмульгирование может быть использовано, например, при смешивании рыбьего жира с водой для выпаивания его животным и птицам.

Ультразвук применяют также для гомогенизации молока (раздробления жировых шариков в молоке с целью повышения его сохранности и усвояемости), борьбы с накипеобразованием и для других целей.

Применение УЗ при восстановлении изношенных деталей. Работы, проведенные под научным руководством И. Е. Ульмана и М. В. Авдеева, а также в ряде сельскохозяйственных вузов и НИИ, показали возможность применения ультразвука для повышения качества восстановления деталей методами вибродуговой наплавки и наплавки под слоем флюса. Ультразвуковые колебания в расплавленный металл могут вводиться как через дополнительный присадочный материал, так и через основной материал детали. Воздействие ультразвука вызывает дегазацию жидкого металла, в результате чего значительно (в 3...5 раз) снижается такой характерный для наплавки дефект, как пористость наплавленного металлического слоя. Под действием ультразвука снижается степень технологического коробления наплавливаемых удлиненных деталей, например коленчатых валов. Ультразвуковое воздействие оказалось эффективным и для упрочнения рабочей поверхности восстанавливаемых деталей после их наплавки. Упрочнение достигается за счет пластического деформирования поверхности инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой.

12.4. Использование биологического действия ультразвука

Ультразвук используют для пастеризации молока, предпосевной обработки семян с целью ускорения их прорастания и повышения урожайности, стерилизации молока и других жидких пищевых продуктов, лечения животных, отпугивания грызунов от сельскохозяйственных помещений и т. д.

Установлено, что ультразвук интенсивностью 1...12 кВт/м² и частотой от сотен килогерц до нескольких мегагерц можно эффективно использовать для профилактики и терапии болезней глаз, суставов, костей, маститов, раневых инфекций, фурункулеза и других болезней. В ветеринарной практике применяют ультразвуковые аппараты УРСК-7Н, УТС-1, ВУТ-1 и др.

12.5. Использование ультразвука для получения информации

Применение ультразвука для получения информации основано на анализе ультразвукового сигнала, прошедшего через исследуемый объект или отраженного от него. В качестве приемника ультразвука чаще всего применяют пьезоэлектрические преобразователи. Методы получения информации при помощи ультразвука можно разделить на две группы.

Методы, основанные на измерении затухания и скорости распространения ультразвуковых волн в среде. Коэффициент поглощения a и скорость звука c зависят от состава и свойств среды. Эта зависимость может быть использована, например, при построении влагомеров для различных сельскохозяйственных материалов; для определения содержания белка и жира в молоке; для контроля концентрации моющих растворов, применяемых при ремонте сельскохозяйственной техники и т. д.

Методы, основанные на отражении ультразвуковых волн от границы раздела двух сред, применяют в таких областях, как гидролокация (определение положения подводных объектов), дефектоскопия, медицинская и ветеринарная диагностика и др.

В качестве примера использования ультразвука в ветеринарной диагностике можно привести прибор «Супор-БМ», предназначенный для раннего определения супоросности у свиней. Принцип действия прибора основан на следующем. Головка излучателя УЗ через слой контактной смазки соприкасается с поверхностью кожи животного. Ультразвуковые волны проникают внутрь тела и распространяются в нем узким пучком. Если свинья супоросная, то в ее матке накапливается жидкость, что сказывается на отражении ультразвукового луча. Прибор работает на частоте 2 мГц. Ценность такого прибора для практики заключается в том, что раннее определение супоросности позволяет экономить корм и снижать затраты рабочего времени на содержание животных.

Аналогичные приборы можно использовать и для прижизненного определения толщины жирового слоя и мышц у свиней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнология / А. М. Басов [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1985. – 256 с.
2. Дайнеко, В. А. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий : учеб. пособие / В. А. Дайнеко, А. И. Ковалинский. – Минск : Новое знание, 2008. – 320 с.
3. Электротехнология : учеб. пособие / В. А. Карасенко [и др.]. – М. : Колос, 1992. – 304 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Общие вопросы электротехнологии.	4
2. Тепловой расчет электротермических установок.....	10
3. Электронагрев сопротивлением.....	18
4. Индукционный нагрев.	40
5. Диэлектрический нагрев.....	45
6. Электротермическое оборудование (ЭТО) для нагрева воды и генерации пара.....	52
7. Электротермическое оборудование для создания микроклимата в сельскохозяйственных помещениях.....	63
8. Электротермическое оборудование для тепловой обработки, сушки, хранения сельскохозяйственных продуктов.....	82
9. Электротермическое оборудование защищенного грунта.....	92
10. Электротермические бытовые приборы.....	95
11. Обработка электрическим током.	98
12. Ультразвуковая обработка.....	106
Литература	117

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Алферова Тамара Викторовна
Пухальская Ольга Юрьевна**

**ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

**Курс лекций
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение», специализации 1-43 01 03 05
«Электроснабжение предприятий агропромышленного
комплекса» дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 22.03.12.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 6,3

Изд. № 51.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48