МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АЛАГОВ А.С.

ЭЛЕКТРОНАГРЕВ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ
для студентов бакалавриата по направлению
подготовки 35.03.06 – «Агроинженерия»

Владикавказ, 2022

УДК 621.34

Составитель: **Алагов А.С.**

Рецензент: **Есенов И.Х.,** к.т.н. доцент, зав. каф. Энергетики

Алагов А.С. Электронагрев и электротехнологии: учебно – методическое пособие по лабораторным работам / А.С. Алагов /– Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет». 2022. – 88 с.

Рассматриваемое учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов бакалавриата по направлению подготовки «Агроинженерия» включает следующие разделы: 1. Правила выполнения лабораторной работы и организация работы студента в лаборатории; 2. Техника безопасности при выполнении лабораторных работ; 3.Тексты лабораторных работ 1…13; 4. Литература.

Обозначенные в пособии методические установки позволяют систематизировать знания по дисциплине «Электронагрев и электротехнологии». Каждая тема снабжена конкретными заданиями для самостоятельной работы, даны методические указания и рекомендации, соответствующие каждой лабораторной работе, теоретический материал, формулы, схемы, таблицы. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 – «Агроинженерия» (профилю подготовки «Электрооборудование и электротехнологии»), его можно рекомендовать и специалистам, самостоятельно изучающим данную дисциплину. Данное издание подготовлено по дисциплине «Электронагрев и электротехнологии» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования.

Рекомендовано Центральным учебно-методическим советом ФГБОУ ВО Горский ГАУ в качестве учебно-методического пособия для лабораторных занятий 30 декабря 2022 г. протокол № 4.

© Алагов А.С., 2022
© Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Цель проведения лабораторных занятий:
ознакомиться с принципом работы и конструкцией электронагревательных установок, измерительной аппаратурой этих установок, схемами автоматизации, режимами работы, характеристиками оборудования.

Задачи проведения лабораторных работ

1. Способствовать углублению теоретических знаний студентов.
2. Практически познакомить их с устройством элетротехнологических машин, аппаратурой управления, приборов и другого электрооборудования.
3. Дать практические навыки студентам по исследованию и наладке элетротехнологических установок, по составлению и монтажу электрических схем и применению электроизмерительных приборов.
4. Научить студентов управлять электротехнологическими устройствами, обслуживать их и устранять простейшие неисправности в них.
5. Развивать умение, теоретически объяснять и анализировать результаты опытов и повышать интерес к постановке самостоятельных исследований.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТУДЕНТА В ЛАБОРАТОРИИ

На лабораторных занятиях студенты приобретают практические навыки по исследованию и наладке элетротехнологических установок, а также пополняют, углубляют и закрепляют теоретические знания. Каждое занятие включает в себя три основных этапа: воспроизведение изучаемого процесса; измерение величин, характеризующих его протекание; анализ и обобщение полученных результатов. Для выполнения каждого этапа требуется серьезная подготовка с использованием настоящего руководства и рекомендованной литературой. Готовиться к выполнению каждой лабораторной работы

студент должен заблаговременно, изучая соответствующие разделы учебных пособий и методические указания, приведенные в настоящем практикуме. При этом он обязан подготовить план и схему проведения опытов, формы таблиц для записи результатов наблюдения, выполнить необходимые расчеты. В начале лабораторного занятия студент знакомится с оборудованием рабочего места и после проверки преподавателем степени готовности допускается к проведению лабораторной работы. Работы по электротехнологии выполняют бригады из 2...3 человек.

Поскольку лабораторные занятия по электротехнологии проводятся на четвертом-пятом курсах, то при их выполнении студентам должны быть предоставлено максимум самостоятельности. Они должны сами собирать и включать по разрешению преподавателя схемы в сеть. Проверив работу схемы (установки) в различных режимах, приступают к исследованиям.

Во время опыта фиксируют все характеристики исследуемого процесса и в первую очередь те параметры, которые изменяются наиболее быстро.

После выполнения опыта и требуемых расчетов по каждой лабораторной работе составляют отчет, в котором указывают цель работы, характеристику исследуемой установки и средств измерения, приводят электрические схемы, таблицы опытных данных, расчетные формулы и результаты расчетов, графики, анализ результатов исследования и выводы. Электрические схемы вычерчивают карандашом при помощи чертежных инструментов с соблюдением действующих ГОСТов.

При проведении лабораторных работ необходимо строго выполнять правила техники безопасности. В ГОСТ 12.4.113-82 перечислены основные требования безопасности к учебным лабораториям. Так, оборудование лабораторий должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91 и ГОСТ 12.2.049-80. Температура поверхностей оборудования, к которым возможны прикосновения людей, не должна превышать 45°С. Предельно допустимые напряженность электрической и магнитной составляющих, и плотность потока энергии электромагнитного поля на рабочих местах должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.006-84. Необходимо, чтобы защитные системы (зануление, заземление, выравнивание потенциалов и др.) обеспечивали напряжение прикосновения не более 42В в помещениях без

повышенной опасности и с повышенной опасностью. Лабораторное оборудование получает питание от сети напряжением не более 380В через разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство. Сопротивление изоляции токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной защиты должно быть не менее 0,5МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью оборудования, которая может оказаться под напряжением, не более 0,1 Ом. Оборудование в учебной лаборатории должно быть размещено так, чтобы обеспечивались удобство и безопасность выполнения работ всех видов. В учебной лаборатории должны быть утвержденная инструкция по технике безопасности, журнал учета инструктажа, а также средства оказания первой медицинской помощи.

При сборке электрических схем необходимо следить за тем, чтобы контактные соединения были плотными, провода не пересекали проходов и не падали на подвижные части машин и аппаратов.

Перед включением схемы под напряжение нужно предупредить товарищей, чтобы никто не прикасался к токоведущим и вращающимся частям.

Запрещается что-либо изменять в электрических цепях, если исследуемая установка находится под напряжением.

При появлении каких-либо признаков ненормальной работы установки (повышенный шум, дым, запах гари и т. п.) следует немедленно отключить питание и доложить преподавателю. Без разрешения повторное включение установки не допускается.

После окончания опытов результаты необходимо показать преподавателю и только с его разрешения разбирать схему.

Студент должен бережно относиться к лабораторному оборудованию и в конце занятий приводить в порядок рабочее место.

К каждому следующему занятию студент представляет отчет по предыдущей работе и защищает его. Отчет выполняется в общей тетради **каждым студентом отдельно** в соответствии с требованиями, приведенными в описании. Отчет должен содержать: а) цель работы; б) электрические схемы испытаний; в) эскизный чертеж испытуемого объекта; г) программу работы; д) экспериментальные исследования; е) основные расчетные формулы, ж) таблицы опытных и расчетных данных; з) графики и краткие пояснения к ним.

Все отчеты должны сопровождаться краткими пояснениями, свидетельствующими о сознательном применении расчетных зависимостей и методов построения характеристик оборудования. Графики и схемы вычерчивают тщательно. Лабораторная работа считается защищенной, если отчет выполнен аккуратно с правильными результатами, а студент хорошо ответил на поставленные ему вопросы, обнаружив знание конструкции электрической машины, физических процессов, происходящих в ней, и методики испытания.

Студент не допускается к лабораторной работе, если он не имеет дневника, не защитил отчет по предыдущей работе или не подготовился к новой.

Перед началом работ в лаборатории все студенты обязаны ознакомиться с правилами техники безопасности при работе с электротехническими установками и расписаться в журнале, хранящемся у заведующего лабораторией.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ по электротехнологии студент должен помнить, что испытания проводятся при напряжениях до 380 В. При неблагоприятных условиях опасные поражения электðè÷åñêèì òîêîì îáòïðîèçîéòè äàæåïðèíàïðÿæåíèè 50 Â. Поэтому во время работы студенты должны быть внимательны, аккуратны и строго соблюдать правила безопасности при работе в электротехнических установках.

Лабораторные работы по исследованию характеристик электротехнологического оборудования проводятся в соответствии с требованиями по технике безопасности, регламентированными ГОСТ 12.4.113-82.

К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, который проводит преподаватель на первом занятии. В начале каждого занятия студенты должны изучить основные теоретические положения и описание экспериментальной установки, на которой выполняется работа, обратив внимание на предупреждения и запреты, сформулированные в методических указаниях к данной работе. Во избежание несчастных случаев и выхода из строя приборов и оборудования, каждый

студент обязан соблюдать следующие правила и не допускать нарушения их со стороны своих товарищей:

1. Категорически воспрещается касаться руками неизолированных проводов, закреплять зажимы, менять проводники или приборы, когда цепь находится под напряжением.

2. Во избежание аварий, возможных при неправильной сборке схем, напряжение подается только по разрешению преподавателя (лаборанта).

3. Всякие изменения в схеме должны выполняться при полном снятии напряжения (примечание: стенд считается обесточенным тогда, когда напряжение его питания выключено, а электромашины стенда не вращаются);

4. При работе с электрическими машинами ни в коем случае нельзя прикасаться к вращающимся частям. Следует помнить, что свободные части одежды могут быть захвачены машиной.

5. Категорически запрещается тормозить рукой или ногой вал машины даже в том случае, если она отключена и еще вращается по инерции.

6. По окончании работы необходимо снять напряжение со схемы, строго придерживаясь соответствующих указаний по данной работе, схема разбирается, провода, приборы, инструменты, литература сдаются лаборанту, рабочее место приводится в надлежащий вид.

7. При попадании человека под напряжение необходимо немедленно отключить питающее напряжение, нажав соответствующий выключатель, а затем освободить человека от контакта с проводами и другими токоведущими элементами. При потере сознания, остановке дыхания немедленно начать делать пострадавшему искусственное дыхание способом «рот в рот» или «рот в нос» и одновременно вызвать врача скорой помощи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

Цель работы: Познакомить студентов с методами и правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных; осветительных; нагревательных и других приборов; технических средств обучения). Правильно использовать средства индивидуальной защиты персоналом обслуживающим, эксплуатирующим и производящим ремонтные работы в элетротехнологических установках.

Основные теоретические положения

На лабораторных занятиях студенты приобретают практические навыки по исследованию и наладке элетротехнологических установок, а также пополняют, углубляют и закрепляют теоретические знания. Каждое занятие включает в себя три основных этапа: воспроизведение изучаемого процесса; измерение величин, характеризующих его протекание; анализ и обобщение полученных результатов. Для выполнения каждого этапа требуются серьезная подготовка и сознательное отношение к работе.

Готовиться к выполнению каждой лабораторной работы студент должен заблаговременно, изучая соответствующие разделы учебных пособий и методические указания, приведенные в настоящем практикуме. При этом он обязан подготовить план и схему проведения опытов, формы таблиц для записи результатов наблюдения, выполнить необходимые расчеты. В начале лабораторного занятия студент знакомится с оборудованием рабочего места и после проверки преподавателем степени готовности допускается к проведению лабораторной работы. Работы выполняют бригады из 2...3 человек.

Поскольку лабораторные занятия проводятся на четвертом курсе, то при их выполнении студентам должны быть предоставлено максимум самостоятельности. Они должны сами собирать и включать по разрешению преподавателя схемы в сеть. Проверив работу схемы (установки) в различных режимах, при ступают к исследованиям.

Во время опыта фиксируют все характеристики исследуемого процесса и, в первую очередь, те параметры, которые изменяются наиболее быстро.

После выполнения опыта и требуемых расчетов по каждой лабораторной работе составляют отчет, в котором указывают цель работы, характеристику исследуемой установки и средств измерения, приводят электрические схемы, таблицы опытных данных, расчетные формулы и результаты расчетов, графики, анализ результатов исследования и выводы. Электрические схемы вычерчивают карандашом при помощи чертежных инструментов с соблюдением действующих ГОСТов.

При проведении лабораторных работ необходимо строго выполнять правила техники безопасности. В ГОСТ 12.4.113-82 перечислены основные требования безопасности к учебным лабораториям. Так, оборудование лабораторий должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91 и ГОСТ 12.2.049-80. Температура поверхностей оборудования, к которым возможны прикосновения людей, не должна превышать 45°С. Предельно Допустимые напряженность электрической и магнитной составляющих и плотность потока энергии электромагнитного поля на рабочих местах должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.006-84. Необходимо, чтобы защитные системы (зануление, заземление, выравнивание потенциалов и др.) обеспечивали напряжение прикосновения не более 42В в помещениях без повышенной опасности и с повышенной опасностью. Лабораторное оборудование получает питание от сети напряжением не более 380В через разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство. Сопротивление изоляции токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной защиты должно быть не менее 0,5МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью оборудования, которая может оказаться под напряжением, не более 0,1 Ом. Оборудование в учебной лаборатории должно быть размещено так, чтобы обеспечивались удобство и безопасность выполнения работ всех видов. В учебной лаборатории должны быть утвержденная инструкция по технике безопасности, журнал учета инструктажа, а также средства оказания первой медицинской помощи.

При сборке электрических схем необходимо следить за тем, чтобы контактные соединения были плотными, провода не пересекали

проходов и не падали на подвижные части машин и аппаратов.

Перед включением схемы под напряжение нужно предупредить товарищей, чтобы никто не прикасался к токоведущим и вращающимся частям.

Запрещается что-либо изменять в электрических цепях, если исследуемая установка находится под напряжением.

При появлении каких-либо при знаков ненормальной работы установки (повышенный шум, дым, запах гари и т. п.) следует немедленно отключить питание и доложить преподавателю. Без разрешения повторное включение установки не допускается.

После окончания опытов результаты необходимо показать преподавателю и только с его разрешения разбирать схему.

Студент должен бережно относиться к лабораторному оборудованию и в конце занятий приводить в порядок рабочее место.

Литература

1. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А. П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина, В.А. Каргин. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2018. – 141 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/137488

2. Демин, В. И. Электробезопасность : учебное пособие / В.И. Демин. – Краснодар : КубГТУ, 2018. – 219 с. – ISBN 978-5-8333-0809-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/151173

3. «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» (приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6).

4. ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током» (утв.приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. N 672-ст).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ

Цель работы: опытным путем исследовать зависимость удельного сопротивления воды от температуры $\rho = f(\theta)$. Эту же зависимость рассчитать по эмпирической формуле и построить кривые $\rho = f(\theta)$ по опытным и расчетным данным.

По опытным данным найти коэффициент увеличения удельного сопротивления воды при кипении.

Основные теоретические положения

В электродных установках вода нагревается в результате прохождения через нее электрического тока.

В процессе нагрева воды мощность, потребляемая водонагревателем, увеличивается в результате уменьшения удельного электрического сопротивления воды. Последнее объясняется увеличением концентрации и подвижности ионов при повышении температуры воды.

Как правило, в установки электродного нагрева вода подается из естественных источников. Пригодность воды для того или иного технологического процесса определяется ее физико-химическими показателями. Применительно к установкам электродного нагрева важнейшими физическими показателями качества воды являются солесодержание и ее удельное электрическое сопротивление, зависящее от концентрации растворенных в ней солей, кислот и щелочей, температуры и паросодержания.

Режим работы электродных аппаратов в основном зависит от **удельного электрического сопротивления воды**, которое в любой момент времени определяет ток и мощность аппарата. Для разных времен года и географических зон удельное электрическое сопротивление воды различно и колеблется от 5 до 300 Омм. В специальных лабораториях данное сопротивление определяют при температуре воды 293 К, используя кондуктометр (ММ 34-04). Если этого прибора нет, используют ванночку (рис. 2.1) прямоугольного сечения небольших размеров (например, 100 х 200 х 50 мм) из органического стекла. Возле торцовых стенок ванночки располагают прямоугольные электроды 3, а на некотором расстоянии от них – два проволочных зонда 2 диаметром 0,5…1 мм.

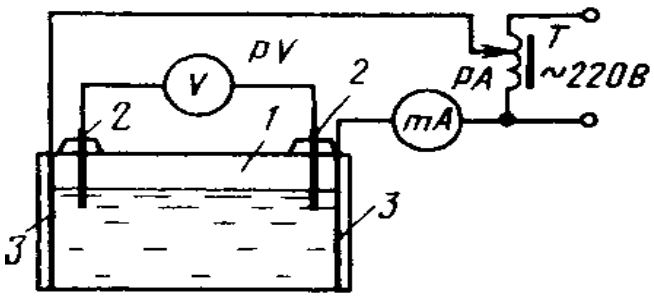

Рис. 2.1. Лабораторная установка дл измерения удельного электрического сопротивления воды Для уменьшения погрешности измерений применяют вольтметр с высоким внутренним сопротивлением.

Методика выполнения работы. Удельное электрическое сопротивление воды при различных температурах определяют при помощи установки, показанной на рисунке 2.1. Воду заливают в установку и нагревают до кипения, непрерывно перемешивая ее стеклянной палочкой. Показания миллиамперметра, вольтметра и термометра записывают через каждые 5 °С. Удельное сопротивление воды, Ом·м,

$$p = RA_э/h_3 = UA_э/Ih_3, \qquad (1)$$

где R - сопротивление воды между электродами, Ом;

$A_э$ - площадь сечения воды, перпендикулярного силовым линиям, м^2;

h_3 - расстояние между зондами, м;

U - напряжение между электродами, В;

I - сила тока в цепи установки, А.

Эту же зависимость $p = f(\theta)$ рассчивают по эмпирической формуле

$$p_\theta = 40\ p_{20}/20 + \theta \qquad (2)$$

Данные опыта и результаты расчета записывают в таблицу.

Таблица 2.1.

θ, °С	U, В	I, А	$A_Э$, м^2	h_3, м	p,Ом · м	
					по опытным данным	по эмпирической формуле

Коэффициент β увеличения удельного сопротивления воды при кипении в результате насыщения ее пузырьками пара находят по опытным данным

$$\beta = p_{кип/}\ p_{мин}, \qquad (3)$$

где $p_{кип/}\ p_{мин}$ - удельное сопротивление воды соответственно при кипении и перед началом кипения (при температуре 95°С).

Содержание отчета. Отчет должен включать в себя электрическую схему установки для исследования удельного сопротивления воды, расчетные формулы, таблицы расчетных данных, графики зависимостей $p = f(\theta)$ по опытным и расчетным данным.

Контрольные вопросы и задания

1. Как зависят удельное электрическое сопротивление воды электродного водонагревателя от температуры?
2. Как определяют коэффициент в и что он характеризует?
3. Как находят удельное сопротивление воды опытным путем?

Литература

1. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С.Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

2. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПРЯМОГО НАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ (*электродный нагрев*)

Цель работы. Ознакомление с физическими основами прямого электронагревателя методом сопротивления и принципами расчета электродных нагревателей, исследовать режимы работы и способы регулирования мощности электродных водонагревателей, методы измерения и коррекции удельного сопротивления воды.

Основные теоретические положения

Нагрев по методу сопротивления основан на наличии у твердых и жидких проводников определенного активного электрического сопротивления, вследствие чего, при прохождении по ним тока происходит преобразование электрической энергии в тепловую в соответствии с законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R\tau,$$

где Q – количество выделившейся теплоты, Дж;

I – ток, А;

R – сопротивление проводника, Ом;

τ – время прохождения электрического тока, с.

Выделяющаяся в проводнике тепловая энергия, является источником повышения температуры проводника.

При прямом нагреве по методу сопротивления проводником тока служит сам нагреваемый материал, поэтому здесь можно достигнуть высоких скоростей нагрева и уменьшение потерь теплоты в окружающую среду.

В том случае, когда нагреваемый материал является твердым (например, метал), электрическая энергия подводится к нему с помощью специальных контактных устройств. Такой электронагрев называется электроконтактным.

Однофазное подключение предусматривает самый простой способ подключить нагреватель к источнику питания: на один из двух проводов, идущих от сердечника нагревателя, подается фаза, на другой провод – нейтраль или, как принято говорить, «ноль» (рис. 3.1).

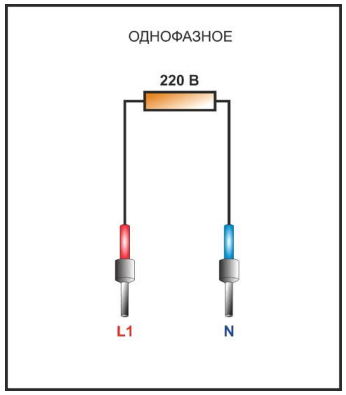

Рис. 3.1. Однофазное подключение.

Однофазный тип подключения широко применяется в типичной электросети, где напряжение составляет 220 – 240 Вольт, и в других сетях, которые имеют такие значения напряжения: 12, 24, 36, 48, 60 и 110 Вольт.

Трехфазное подключение может быть реализовано двумя способами. На рисунке 3.2 показаны две схемы исполнения трехфазного подключения: звезда и треугольник.

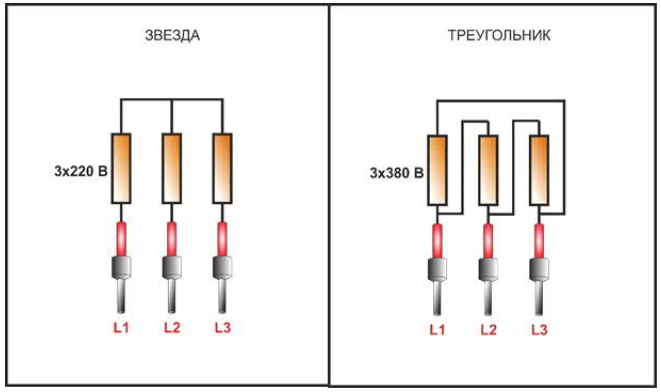

Рис. 3.2. Схемы исполнения трехфазного подключения.

Разница между этими схемами заключается только лишь в отличительном напряжении питания, которое будет подаваться нагревателю: либо фазные 220 вольт, либо линейные 380 вольт к источнику

питания. Фазы будут иметь одинаковый ток, какой бы не была выбрана схема.

Когда нагреваемый материал является жидким (например, вода и водные растворы), то подвод электрической энергии к нему осуществляется с помощью электродов, а электронагрев получил название электродного.

- **Нагрев сопротивлением** - электронагрев за счет электрического сопротивления электронагревателя или загрузки.

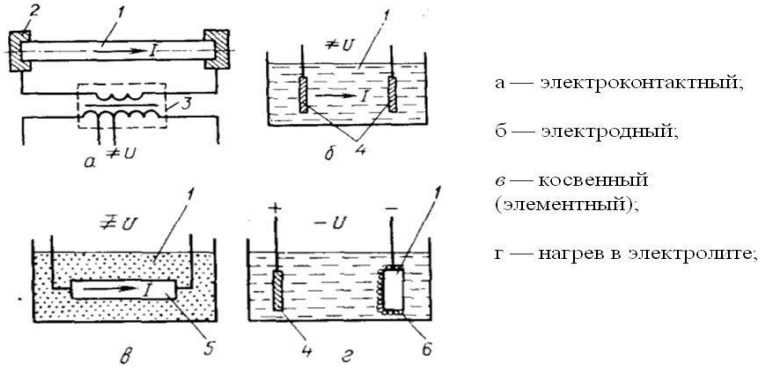

Рис. 3.3. Схемы электронагрева сопротивлением:
1 - нагреваемое тело; 2 - зажимы (контакты); 3 - нагревательный трансформатор; 4 - электроды; 5 - электронагреватель сопротивления; 6 - пузырьки газа.

В настоящей работе рассматривается электродный нагрев, получивший широкое распространение в сельскохозяйственном производстве при нагреве воды и других материалов.

Электродные водонагреватели имеют более высокий КПД и для них не опасен перегрев даже в отсутствие воды. В сельскохозяйственном производстве используют электродные водонагреватели типа ЭПЗ (электродный подогреватель с замкнутым контуром) и КЭВЗ (котел электродный водогрейный с замкнутым контуром).

Известны различные электродные системы, с помощью которых осуществляется подвод электрической энергии к воде. Наибольшее распространение получили, в основном, из-за их технологичности,

системы с плоскопараллельными и коаксиальными электродами (рис. 3.4). Нагреватели с такими электродами могут быть однофазными и трехфазными. В последнем случае для удобства расположения плоские электроды изгибают под углом 120^0 и размещают их как показано на рис. 3.4,а.

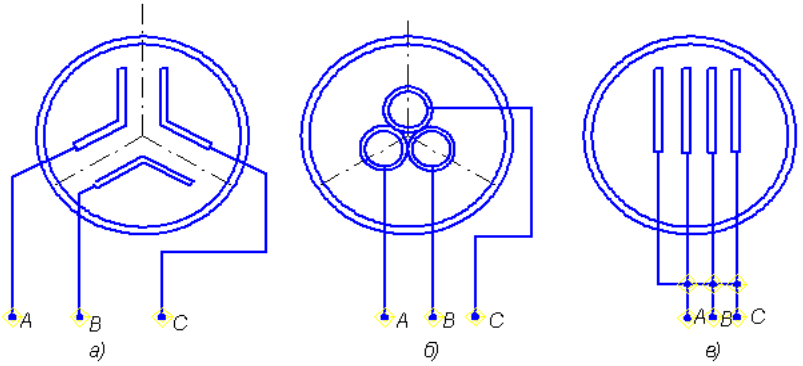

Рис. 3.4. Электродные системы:
а) из электродов, изогнутых под углом 120°; б) из коаксиальных цилиндрических электродов: в) из плоских электродов.

В качестве материала для электродов используется конструкционная и нержавеющая сталь, графит. Применение алюминия, меди, оцинкованной стали не допускается из-за быстрого их разрушения и токсичности образующихся окислов.

Мощность, преобразующаяся в тепло, для системы с плоскими электродами может быть определена по формуле (при условии, что расчет ведется на одну фазу)

$$P_t = \frac{U^2}{R_t} = \frac{U^2}{\frac{k}{h} P_t} = \frac{U^2 h(20+t)}{40 P_{20} K} \qquad (1)$$

где U – фазное напряжение, В;

h – высота или длина электрода, см;

P_{20} – удельное сопротивление воды при 20^0, Ом см;

К – геометрический коэффициент электродной системы;

t – расчетная температура.

Как видно формулы (1), мощность линейно возрастает с повышением температуры.

Это происходит в результате уменьшения удельного электрического сопротивления воды. Последнее объясняется увеличением концентрации и подвижности ионов при повышении температуры воды.

Площадь поверхности электродов и расстояние между ними ограничена максимально допустимыми значениями плотности тока на электродах и напряженности поля. При большой напряженности поля между электродами наблюдается пробой, а при большой плотности тока – электролитическое разложение воды с образованием взрывоопасного гремучего газа.

Расчет электродных нагревательных устройств сводится к определению их геометрических параметров.

Для установок периодического действия технологически необходимая мощность определяется по формуле:

$$P_{ср} = \frac{Mc(t_к - t_н)}{\tau \eta_{уст}} \qquad (2)$$

где $P_{ср}$ – средняя за период нагрева мощность нагрева, Вт;

$t_к$, $t_н$ – соответственно конечная и начальная температура нагрева, ^{0}С;

Мс – масса нагреваемого материала, кг;

С – удельная теплоемкость, Дж/кг град;

τ – время нагрева, с;

$\eta_{уст}$ – к.п.д. установки.

С учетом формулы (1).

$$\frac{P_{ср}}{P_к} = \frac{20 + t_{ср}}{20 + t_к} \qquad (3)$$

где $P_{ср}$, $P_к$ – средняя за период нагрева и конечная мощность нагрева, Вт;

$t_{ср}$, $t_к$ – соответственно средняя и конечная температура, град.

Из (3) конечная мощность

$$P_к = \frac{P_{ср}(20 + t_к)}{20 + t_{ср}} \qquad (4)$$

Значение для конечной мощности через электрические параметры

$$P_к = \frac{U^2}{R_k} \qquad (5)$$

где $R_к$ – сопротивление проводящего слоя, соответствующее конечной температуре нагрева, Ом.

Определим значение сопротивления $R_к$ из (5)

$$R_k = \frac{U^2}{P_k} \qquad (6)$$

Значение сопротивления $R_к$ через геометрические параметры электродной системы

$$R_k = \rho_k \frac{k}{h} = \frac{40\rho_{20}}{20 + t_k}\frac{R}{h} \qquad (7)$$

Лабораторная установка представляет собой однофазные электродный водонагреватель с плоскими элементами. Для этого случая значение геометрического коэффициента.

$$K = \frac{\ell}{в} \qquad (8)$$

где ℓ - расстояние между электродами, см;

в - высота электрода, см.

С учетом (8)

$$R_k = \frac{40\rho_{20} l}{(20 + t_k)вh} \qquad (9)$$

а высота электрода

$$в = \frac{40\rho_{20} l}{R_k(20 + t_k)h} \qquad (10)$$

Минимальное расстояние между электродами в выражении (10) можно определить по формуле:

$$l = \frac{U}{E_{доп}} \qquad (11)$$

где $E_{доп}$ – допустимая напряженность поля.

В проектной практике для водонагревателей и водогрейных котлов значение $E_{доп}$ принимают в пределах 125…250 В/см

$$l = \frac{U}{125 \div 250} \qquad (12)$$

где минимальное значение соответствует удельному сопротивлению $P_{20} \leq 2000$ Ом см, а максимальное - $P_{20} \geq 10000$ Ом см.

максимальный ток, стекающий с электродов

$$I_{max} = \frac{P_k}{U} \qquad (13)$$

Плотность тока на электродах

$$j_{max} = \frac{I_{max}}{S} \qquad (14)$$

где S – активная площадь электродов, см^2

$$S = h \cdot в \qquad (15)$$

Допустимая плотность тока на электродах составляет для плоских электродов не более 0,5 А/см^2, для цилиндрических – не более 2А/см^2.

Исследование электродного нагрева проводится на непроточном однофазном водонагревателе, схема включения которого представлена на рис. 3.2. Конструкция электродной системы дает возможность регулирования глубины погружения электродов.

Удельное электрическое сопротивление воды, зависящее от концентрации растворенных в ней солей, кислот и щелочей, температуры и паросодержания, измеряют кондуктометром. Если этого прибора нет, используют ёмкость (1) (рис. 3.5) небольших размеров из стекла. Возле стенок ёмкости располагают прямоугольные электроды (2).

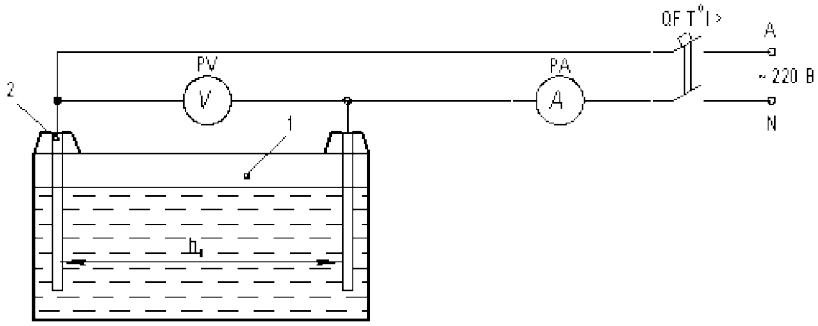

Рис. 3.5. Лабораторная установка для измерения удельного электрического сопротивления воды:
1 - стеклянная ёмкость; 2 - прямоугольные электроды.

В схемах автоматического управления электродными водонагревателями для регулирования температуры могут быть использованы термо-электросигнализаторы, например, типа ТСМ-100 (до 100ºС). ***Термосигнализатор*** работает на манометрическом принципе. Термобаллон заполнен жидкостью, имеющей большой коэффициент объёмного расширения. При изменении окружающей температуры давление внутри баллона изменяется, манометрическое устройство поворачивает стрелку, устанавливая её на делении шкалы, соответствующем значению температуры окружающей среды. Стрелка снабжена электрическим скользящим контактом, который замыкает или размыкает зафиксированные контакты, устанавливаемые на требуемом уровне температур и включает или выключает цепи управления или сигнализации.

Для регулирования мощности можно использовать следующие факторы:

- расстояние между электродами $h_э$;
- площадь электрода А;
- напряжение на электродной системе U.

Первые два фактора могут быть отнесены к механическим способам регулирования, а третий - к электрическим.

Для контроля температуры нагрева воды в лабораторной установке используется контактный термометр, показания с которого заносятся в таблицу 3.1 и используются в расчетах.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с конструкцией и схемой включения лабораторной установки.

2. В соответствии с технологическим заданием рассчитать по формуле (2) среднюю мощность нагрева.

3. Рассчитать с учетом (10-12) при известной ширине электродов h, необходимую высоту электродов в.

4. Определить по (13-15) плотность тока на электродах и если выполняется условие $j \le j_{доп}$, то расчет выполнен правильно. В противном случае пересчитать значение **в**.

5. Установить электроды таким образом, чтобы глубина их погружения в воду была равна рассчитанному в.

6. Включить установку и занести в таблицу 3.1 опытные данные.

Таблица 3.1

№/№	I, A	U,S	Температура воды, ^{0}C	Время нагрева, с

7. Рассчитать на основании данных таблицы 1 среднюю мощность нагревателя

$$P_{ср} \frac{P_к + P_н}{2} \qquad (16)$$

где Рн, Рк мощность, соответствующее начальной tн и конечной tк температурам нагрева.

Производительность нагревателя

$$П = \frac{3600V(t_k + t_н)}{\tau}, \frac{л^0 c}{ч}, \text{ л}^{o}\text{С/ч} \qquad (17)$$

где V – объем воды, л, t – время нагрева, с.

Удельный расход электроэнергии

$$W = \frac{P_{ср}\tau}{3600V}, \text{ кВтч/л} \qquad (18)$$

Содержание отчета

I. Расчет электродной системы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Опытные и расчетные данные.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

I. Нагрев по способу сопротивления.
Особенности электродного нагрева.
2. Основы расчета электродных нагревателей.
3. Достоинства и недостатки электродного нагрева.

Литература

1. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С.Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

2. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

3. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 104 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ КОСВЕННОГО НАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Цель работы. Ознакомление с физическими основами косвенного электронагрева методом сопротивления и принципами теплового расчета электронагревательных установок.

Основные теоретические положения

При косвенном нагреве по способу сопротивления электрическим током нагреваются специальные устройства – электрические нагреватели, а уже от них тепло путем теплопроводности, конвекции, излучения или их сочетания передается нагреваемой среде.

В электротепловых установках используются нагреватели самых различных конструкций, что объясняется разнообразием условий работы, назначения. В большинстве случаев нагреватели выполняют с электрической изоляцией и защитными устройствами, поэтому они безопасны в работе и могут применятся для нагрева любых сред. Герметизация нагревательных сопротивлений от воздуха и нагреваемых сред позволяет значительно удлинить срок их службы.

По исполнению различают открытые, закрытые и герметические нагреватели.

В открытых нагревателях - нагревательные сопротивления открыты для доступа воздуха или нагреваемой среды. Такие нагреватели применяются в электрических печах, электробрудерах, калориферах, обогревателях почвы в парниках и других установках, где это допускается технологией процесса, условиями безопасности, сроками службы. Для увеличения механической прочности проволочные нагреватели размещают на керамических трубках или стержнях.

В закрытых нагревателях нагревательные сопротивления размещены в защитном кожухе, предохраняющем их от механических воздействий и от нагреваемой среды, а в герметических и от доступа воздуха.

В закрытых и герметических нагревателях нагревательные сопротивления изолируются от защитного кожуха термостойкой электроизоляцией (фарфор, кварцевый песок, периклаз), которая одновременно служит для фиксации, а иногда и герметизации нагревательных сопротивлений.

В настоящее время широко распространены унифицированные герметические трубчатые электронагреватели (ТЭНы), которые удовлетворяют условиям большинства тепловых процессов сельскохозяйственного производства.

В зависимости от конструкции нагреватели подразделяются на «сухие» и «мокрые». Первые так называются из-за того, что не имеют контакта с водой – их корпус скрывает герметическая колба. Водонагреватели с *сухим тэном* используются для современных моделей. Производители считают такую конструкцию более долговечной, так как корпус нагревательного элемента не подвергается постоянному воздействию воды – отсутствие известковых отложений и накипи существенно продлевает срок эксплуатации ТЭН. Они не перегорят, если пользователь случайно включит бойлер без воды.

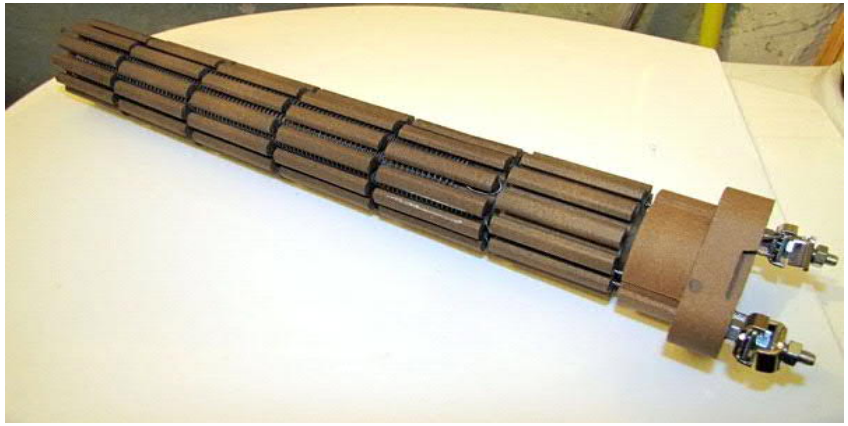

Рис. 4.1. Сухой ТЭН

Тем не менее, самой распространенной моделью считаются *мокрые или погруженные ТЭН*. Некоторые пользователи считают, что это уже устаревшая модель и совершенно напрасно – они продолжают повсеместно эксплуатироваться в различных водонагревателях. Основным недостатком такого нагревателя считается склонность к частым поломкам из-за накипи и отложений, но по сравнению с сухим собратом их проще найти в продаже, легче заменить и они, естественно, дешевле.

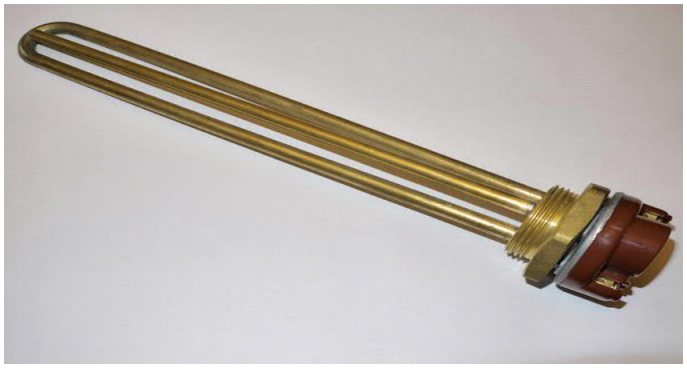

Рис. 4.2. Мокрый ТЭН

Тепловой расчет нагревательных устройств основан на уравнении теплового баланса

$$dQ_1 = dQ_2 + dQ_3 \qquad (1)$$

где dQ_1 - количество тепла, подводимого к телу за время dτ, Дж;
dQ_2 - количество тепла, идущее на изменение теплосодержание тела, Дж;
dQ_3 - теплопотери в окружающую среду, Дж.

Если к нагреваемому телу массой М подводится за время dτ мощность Р, то уравнение (1) предстанет в виде

$$Pd\tau = M \cdot c \cdot dt + k \cdot F \cdot \left(t_2 - t_1\right) d\tau \qquad (2)$$

где c - средняя за период нагрева удельная теплоемкость тела, кДж/кг °С;

dt - изменение температуры тела за время $d\tau$;
k - коэффициент теплопередачи от нагреваемого тела в окружающую среду, Вт/м^2 °С;
F - поверхность теплопередачи, м^2;
t_1, t_2 - температура нагреваемого тела и температура окружающей среды, °С.

Введем в уравнение (2) обозначения

$$T = \frac{Mc}{kF} \qquad (3)$$

$$t_y = t_o + \frac{P}{k \cdot F} \qquad (4)$$

где Т - постоянная времени нагрева, С;
t_y - установившаяся температура тела.

С учетом (3) и (4) уравнение (2) можно записать в виде дифференциального уравнения

$$T\frac{dt}{d\tau} + t + t_y = 0 \qquad (5)$$

Решение уравнения (5) имеет вид

$$t = t_H \cdot e^{-\tau/T} + t_y\left(1 - e^{-\tau/T}\right) \qquad (6)$$

t_H – начальная температура тела при τ = 0°С.

Из уравнения (6) время нагрева тела до любой температуры в промежутке от t_H до t_y

$$\tau = T \ln \frac{t_y - t_H}{t_y - t} \qquad (7)$$

Скорость нагрева

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{t_y - t_H}{T} e^{-\tau/T} \qquad (8)$$

Максимальная скорость нагрева при (τ = 0)

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{t_y - t_H}{T} \qquad (9)$$

Расчетная мощность нагревателя, рассчитанная на основании технологических параметров

$$P_{расч} = \frac{M \cdot c \cdot \left(t_2 - t_H\right)}{\tau \cdot \eta_{уст}} \qquad (10)$$

где t_H - начальная температура, °С;
$\eta_{уст}$ - КПД установки.

Лабораторная установка (рис. 4.3.) представляет собой элементный водонагреватель с трубчатым нагревательным элементом типа НВ мощностью 1,8 кВт, U = 220В.

Для визуального наблюдения за температурой воды в баке используется температурный датчик со стрелочным прибором.

Водонагреватель ЭВ-150 состоит из цилиндрического бака 1 емкостью 150 л (рис. 3) и кожуха 2. Между баком и кожухом помещена теплоизоляция 13. Нагревательное устройство 12 состоит из трех ТЭНов мощностью 2 кВт каждый и рассчитанных на напряжение 220 В.

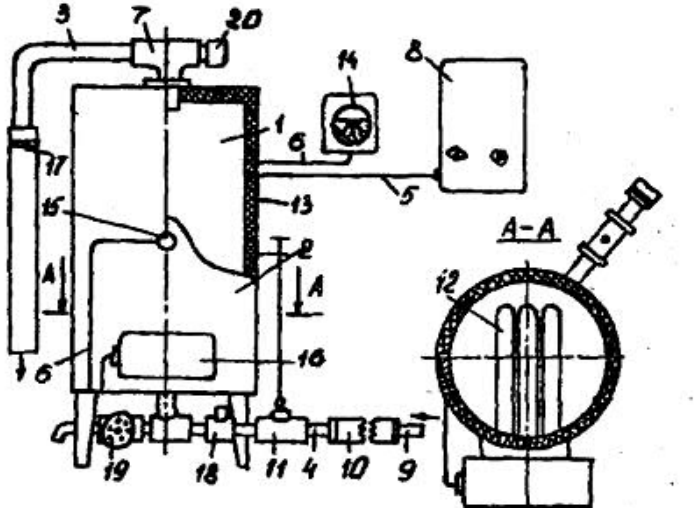

Рис. 4.3. Устройство электроводонагревателя ЭВ-150:
1 - бак; 2 - кожух; 3 - сливная труба; 4 - подающая труба; 5 - питающий кабель; 6 - капилляр манометрического термометра; 7 - тройник; 8 - щит управления; 9 - водопроводная сеть; 10, 17 - изолирующие вставки; 11 - подающий вентиль; 12 - нагревательное устройство; 13 - теплоизоляция; 14 - манометрический термометр; 15 - датчик манометрического термометра; 16 - клеммная коробка нагревательного устройства; 18 - обратный клапан; 19 - сливной кран; 20 - клапан избыточного давления.

Щит управления 8 изготовлен из листовой стали . В щите находится аппаратура управления и защиты. Для включения нагревательного устройства Е1 - Е3 (рис. 4.4) служит магнитный пускатель КМ1

и промежуточного реле KV1, управляемое манометрическим термометром SK. Для защиты от короткого замыкания имеются плавкие предохранители FU1 - FU3. Пакетный выключатель QS1 предназначен для включения цепей управления.

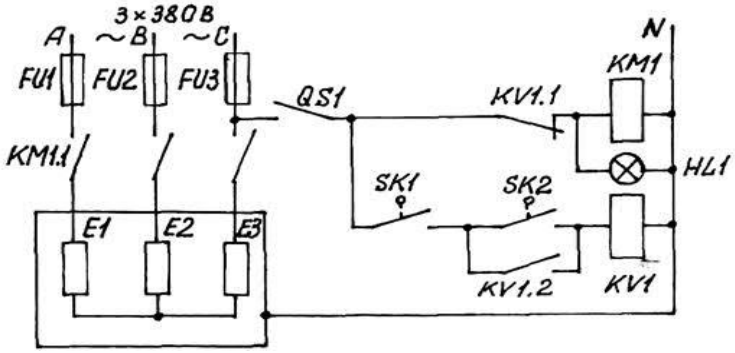

Рис. 4.4. Принципиальная электрическая схема включения электроводонагревателя ЭВ-150

Перед включением водонагревателя в сеть необходимо убедиться, что бак заполнен водой. Для этого открывают вентиль 11 на впускной трубе 4 и держат его открытым, пока вода не будет вытекать из сливной трубы 3. На манометрическом термометре задают пределы температуры воды путем установки двух указателей в виде красных стрелок на нужные деления шкалы. Затем включают водонагреватель в сеть, замыкая контакты QS1. Срабатывает магнитный пускатель КМ1, загорается сигнальная лампа HL1 на щите.

Контакты манометрического термометра SK1 замыкаются при достижении нижнего предела заданной температуры воды, но нагрев продолжается до замыкания контактов верхнего предела SK2. Срабатывает промежуточное реле KV1, отключая контактами KV1.1 катушку магнитного пускателя КМ1 и шунтируя с помощью KV1.2 контакты SK2. Если температура воды снизилась в результате ее расхода или охлаждения, повторное включение водонагревателя произойдет при размыкании контактов SK1.

Для обеспечения безопасной работы водонагревателя предусмотрен обратный клапан 18 (рис. 4.3) на подающей водопроводной трубе, исключающий возможность выпуска воды из бака при ее отсутствии в водопроводной сети.

Чтобы избежать взрыва бака в случае закипания воды при отказе автоматики регулирования температуры, на выходе водонагревателя установлен клапан избыточного давления 20. Запрещается устанавливать запорный вентиль на сливной трубе. В случае пробоя изоляции ТЭНов напряжение попадает на бак водонагревателя и соединенные с ним металлические трубопроводы. Для защиты людей и животных бак водонагревателя заземляют, а водопроводные трубы присоединяют через изолирующие вставки (резиновые шланги) длиной не менее 1 м. Сопротивление воды внутри вставки должно быть достаточно большим, чтобы ограничить ток, протекающий по телу человека или животного в аварийном режиме, до безопасной величины.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему лабораторной установки.
2. Исследовать процесс нагрева. Данные занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

№ п/п	Опытные данные				Расчетные данные		
	U, В	I, А	τ, с	t, °С	P, Вт	П, кг°С/ч	А, кВт ч/кг°С
1							
2							
3							
4							
5							

Рассчитаем производительность установки

$$П = \frac{M\left(t_2 - t_H\right)}{\tau}, \text{ кг°С/ч} \qquad (11)$$

Определить удельные затраты электроэнергии на процесс нагрева воды

$$A = \frac{P_{расч} \cdot \tau}{M \cdot \left(t_2 - t_H\right)}, \text{ кВт ч/кг°С} \qquad (12)$$

Построить кривую нагрева воды и графически определить постоянную времени нагрева Т.

3. По известной мощности нагревательного элемента, массе, теплоемкости, начальной температуре и КПД, на основании уравнения (10) построить теоретическую кривую нагрева. Сравнить теоретическую и экспериментальную кривые нагрева.

4. Рассчитать по формуле (7) время нагрева воды до температуры $t = 0{,}5\ t_y$ и сравнить его с экспериментальным.

Содержание отчета

1. Краткое описание установки.
2. Зависимости t = f (τ), построенные на основании экспериментальных данных и теоретической.
3. Значение производительности и удельного расхода электроэнергии.
4. Выводы из сравнения процессов нагрева воды в электродном и элементном водонагревателях.

Контрольные вопросы

I. Нагрев по способу сопротивления. Особенности косвенного нагрева.
2. Основы расчета нагревательных устройств.
3. Достоинства и недостатки косвенного нагрева.

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.
2. Электротехнический справочник, т.4. Использование электрической энергии М., издательство МЭИ, 2004 г.
3. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.
4. . Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г.
5. Гайдук В.Н., Щпигель В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат,1989 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Тема: ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТЭНОВ

Цель работы: 1. Изучить устройство, технические данные, правила монтажа и эксплуатации трубчатых электронагревателей, электрические схемы подключения.

2. Исследовать зависимость температуры ТЭНов от удельной поверхностной мощности.

Общие сведения

Трубчатые электронагреватели применяют в качестве комплектующих изделий в водонагревателях, калориферах, инфракрасных облучателях, бытовых и других нагревательных приборах.

Трубчатый электронагреватель (ТЭН) представляет собой расположенную внутри металлической оболочки (4) спираль (или несколько спиралей) (5) из сплава с высоким сопротивлением и контактными стержнями (1). От оболочки спираль изолирована спрессованным электроизоляционным наполнителем (6) с низкой поглощательной способностью теплового излучения нагревательного элемента. Для предохранения от попадания влаги торцы ТЭН герметизированы. Контактные стержни (1), к которым приварены концы спирали, изолируются от корпуса диэлектрическими изоляторами (3).

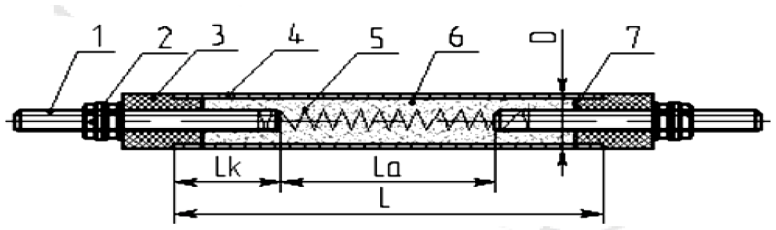

Рис. 5.1. Трубчатый электронагреватель (ТЭН):

1 - контактный стержень
2 - контактные гайки и шайбы
3 - изолятор
4 - трубчатая оболочка
5 - нагревательная спираль
6 - аполнитель
7 - герметик
D - диаметр оболочки
L - развернутая длина оболочки
Lk - заделка контактного стержня
La - активная длина ТЭН

Маркировка ТЭН

Пример обозначения ТЭН:

ТЭН 120 В 13 / 1,0 Т 220

120 - развернутая длина (L) в сантиметрах;
В - обозначение длины контактного стержня в заделке Lk;
13 - диаметр оболочки D в миллиметрах;
1,0 - номинальная мощность в киловаттах;
Т - обозначение нагреваемой среды и материала оболочки;
220 - номинальное напряжение в вольта.

По конфигурации, конструктивному исполнению и назначению ТЭНы отличаются большим многообразием. Отечественная промышленность выпускает более тысячи типоразмеров ТЭНов. Большое разнообразие таких нагревателей объясняется широким диапазоном их параметров: по рабочему напряжению - от 12 до 660 В (специальное исполнение - до нескольких тысяч вольт); по мощности - от десятков ватт до десятков киловатт; по длине - от нескольких сантиметров до 6,3 м.

Трубчатые нагреватели выпускают также в виде блоков, состоящих из двух и более ТЭНов, концы которых закреплены на общем фланце, а контактные выводы электрически соединены в одно нагревательное устройство мощностью до нескольких сотен киловатт.

В зависимости от рабочей температуры и рода нагреваемой среды трубки электронагревателей изготовляют из углеродистой или нержавеющей стали. Для увеличения поверхности теплоотдачи и снижения температуры поверхности ТЭНов, устанавливаемых в отопительных электрокалориферах, на трубку наматывают алюминиевую ленту, поскольку при температуре выше 190^0С происходит сухая возгонка пыли и воздух загрязняется продуктами сгорания. Наполнитель должен обладать высокими диэлектрическими свойствами при рабочей температуре спирали и хорошей теплопроводностью для передачи теплоты от спирали к трубке. Такими свойствами характеризуется периклаз (окись магния) и кварцевый песок.

При изготовлении ТЭНов после установки спирали и засыпки наполнителя, трубку под большим давлением опрессовывают, в результате чего наполнитель превращается в твердый монолит и надежно фиксирует спираль внутри трубки. Торцы трубки уплотняют огне-

упорным кремнийорганическим герметиком и изолирующими втулками. Поскольку опрессовка трубки и ее герметизация возможны только в заводских условиях, то при эксплуатации доработка ТЭН (разгибание, изгибания с новым радиусом, приварка и припайка крепежной арматуры) запрещается.

Преимущество ТЭНов перед нагревателями открытого типа заключается в их универсальности, надежности, долговечности и ударовибропрочности. Поскольку спираль изолирована от наружной трубки, от ТЭНов можно помещать непосредственно в нагреваемую среду (воду, молоко, обрат и др.). Благодаря герметизации спираль значительно меньше окисляется и срок службы ТЭНов достигает 11000 ч.

В соответствии с ГОСТ 13268 – 83 ТЭНы изготовляют мощностью от 10 Вт до 25 кВт, длиной от 0,25 до 6,3 м, наружным диаметром от 6,5 до 18,5 мм на нормальное напряжение 12, 24, 36, 48, 55, 60, 110, 127, 220, и 380 В.

Основной параметр, характеризующий работоспособность ТЭНов, - это удельная мощность, зависящая от условий работы (среды) и материала (табл.5.1).

Работа ТЭНа допускается только в той среде, для которой он предназначен.

Таблица 5.1 Основные характеристики ТЭНов (ГОСТ 13268 – 83)

Усл. обознач. нагреваемой среды и материала оболочки ТЭНа.	Нагреваемая среда	Характер нагрева	Удельная мощность, Вт/см^2, не более	Материал оболочки и температура на оболочке ТЭНа, ^{0}С	Ресурс ТЭНов, ч
1	2	3	4	5	6
Р	Вода, слабые растворы щелочей	Нагрев, кипячение	15,0	Сталь марок 10; 20	7000
С	Воздух, газы и смеси газов	Нагрев в спокойном и движущемся воздухе со скоростью до 1,5 м/с	2,2	Сталь марок 10 и 20; до 450^{0}С	11000
Т	То же	То же	5,0	Сталь мароки 12Х18Н10Т; свыше 450^{0}С	11000

Продолжение таблицы 5,1

1	2	3	4	5	6
О	То же	Нагрев в движущемся воздухе со скоростью не менее 6 м/с	5,5	Сталь марок 10 и 20; до 450^{0}С	11000
К	,, ,,	То же	6,5	Сталь марки 12Х18Н10Т; свыше 450^{0}С	11000
Н	,, ,,	Нагрев в движущемся воздухе со скоростью >6м/с	5,1	Сталь марки 12Х18Н10Т; свыше 450^{0}С	11000
И	Жиры, масла	Нагрев в ваннах и других емкостях	3,0	Сталь марок 10 и 20; до 300^{0}С	7000

Таблица 5.2

Условные обозначения и номинальные длины контактных стержней ТЭНа								
Условное обозначение длины контактного стержня	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
Длина контактного стержня в заделке,мм	40	65	100	125	160	250	400	630

Сопротивление изоляции ТЭНов в течение всего срока хранения и эксплуатации в холодном и горячем (при рабочей температуре) состояние должно быть менее 0,5 Мом. Если оно меньше 0,5 Мом, ТЭНы следует просушить при температуре 120…150^{0}С в течение 4…6 ч.

Порядок выполнения работы

1. Устройство, правила монтажа и эксплуатации ТЭНов изучают по методическим к лабораторной работе, ГОСТ 13268-83 и разрезу трубчатого нагревателя (рис. 5.1).

2. Сопротивление изоляции ТЭНа измеряют мегаомметром, а температуру поверхности трубки - термопарой.

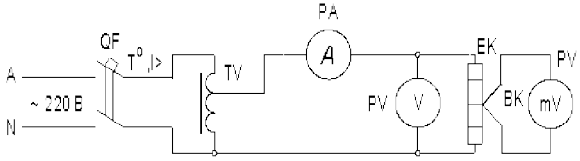

Рис. 5.2. Схема установки для исследования ТЭНов.

3. При исследовании зависимости $t_n = f(P_{уд})$ изменяют удельную мощность, регулируя при помощи автотрансформатора напряжение, подводимое к нагревателю (рис. 5.2). При этом предельная удельная мощность и температура оболочки в неподвижном воздухе не должна превышать значений, указных в таблице 5.1.

Удельная мощность ТЭНа, Вт/см^2,

$$P_{уд} = P/La\ \pi D_н,$$

где P – мощность, потребляемая ТЭНом, Вт;

L_a – активная длина ТЭНа, см;

$D_н$ – наружный диаметр оболочки ТЭНа;

см. (La = 45,5 см, d = 17 мм)

Во время опытов при каждом значении $P_{уд}$ ток поддерживают постоянным до тех пор, пока температура оболочки ТЭНа не достигнет установившегося значения. Заполнить таблицу 5.3.

Таблица 5.3

№№ п/п	Опытные данные			Расчетные данные	
	U, В	I, А	T, ^{0}C	P, Вт	$P_{уд}$ Вт/см^2
1					
2					
3					
4					
5					

Остудить ТЭН, включить вентилятор и исследовать динамику нагрева ТЭНа при номинальном напряжении 220В. заполнить таблицу 5.4.

Таблица 5.4

№№ п/п	Опытные данные				Расчетные данные	
	U, В	I, А	τ, мин.	t,^{0}C	P,Вт	$P_{уд}$, Вт/см^2
1						
2						
3						
4						
5						
6						

По полученным данным построить графики зависимости $t_n = f(P_{уд})$, $P = f(t_n)$.

Содержание отчета

1. Описание конструкции ТЭНа.
2. Схема лабораторных установки.
3. Опытные и расчетные данные, зависимость $t = \varphi(\tau)$ при U = 220В, $t_n = f(P_{уд})$.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о преимуществах ТЭНов, сравнивания их с открытыми нагревателями.
2. Расшифруйте условное обозначение ТЭНа.
3. По каким параметрам выбирают ТЭНы?
4. Какими свойствами должен обладать материал наполнителя? Какой материал используется в качестве наполнителя ТЭНов?
5. От чего зависит удельная мощность ТЭНа?
6. Для чего на трубку ТЭНов отопительных калориферов наносят оребрение?
7. При каком минимальном сопротивлении изоляции, ТЭН можно включать в сеть?
8. Почему при включении водонагревателя без воды ТЭНы выводят из строя?

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.
2. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии М., издательство МЭИ, 2004 г.
3. Колмаков Ю.В. Электротехнология. Лекции и лабораторный практикум. Красноярский государственный аграрный университет, 2006 г.
4. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология» М., Колос, 1992 г.
5. Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г.
6. Гайдук В.Н., Щмигель В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат,1989 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ СФОЦ-60/0,4 НА МАКЕТЕ УСТАНОВКИ

Цель работы:

1. Изучить устройство, электрическую схему и принципы автоматизации электрокалориферных установок типа СФОЦ.
2. Исследовать рабочие режимы и получить основные технические характеристики макета установки.

Теоретическое введение

Получение максимальной продуктивности в животноводстве и птицеводстве во многом зависит от создания оптимального микроклимата в помещениях. Температура воздуха, его влажность, запыленность, газовый состав, степень освещённости помещения должны постоянно находиться в заданных пределах. Отклонение любого параметра от нормы может привести к снижению продуктивности. Например, при недостаточном воздухообмене увеличивается содержание влаги, вредных газов, в летний период повышается температура в помещении. При большом воздухообмене скорость движения воздуха превышает нормы и возможны простудные заболевания. В зимний период при низких наружных температурах и отсутствии нормального отопления помещения температура резко снижается. Для создания и поддержания необходимых температурно-влажностных параметров микроклимата животноводческие помещения оборудуют устройствами отопления, вентиляции.

Электрокалориферные установки серии СФОЦ предназначены для подогрева воздуха в системах воздушной вентиляции, в установках для создания микроклимата на животноводческих и птицеводческих фермах, для подогрева воздуха в зерноочистительно-сушильных пунктах и бункерах активного вентилирования, а также для отопления бытовых помещений на фермах, где отсутствует центральная котельная.

Отсутствие продуктов сгорания, простота монтажа и малые капитальные затраты, незначительный расход металла на единицу мощности, постоянная готовность к работе, простое автоматическое управление тепловым режимом, высокий коэффициент полезного действия (так как вся электрическая энергия переходит в тепловую), выгодно отличают злектрокалориферные установки от огневых тепловых установок, работающих на твёрдом, жидком и газообразном топливе.

В отдельных случаях нагрев воздуха при помощи электрокалориферных установок, позволяет качественно изменить технологию производственного процесса, повысить качество продукции, сэкономить энергию и сократить потребность в обслуживающем персонале.

Электрокалориферные установки сельскохозяйственного назначения на центробежных вентиляторах представляют собой унифицированную серию, состоящую из семи типоразмеров мощностью 5, 10, 16, 25, 40, 60, 100 кВт.

Установки допускают нормальную работу при температуре окружающего воздуха от – 40є до + 40є, относительной влажности воздуха до 100%, с содержанием аммиака до 0,09 г/м^3 и сероводорода до 0,08 г/м3. Питание электрокалориферных установок осуществляется от сети трёхфазного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.

Электронагревательные элементы калориферов (Рис.61) секционированы и допускают ступенчатое изменение мощности на 100, 66,6 и 33,3% от полной мощности (для трехсекционных калориферов).

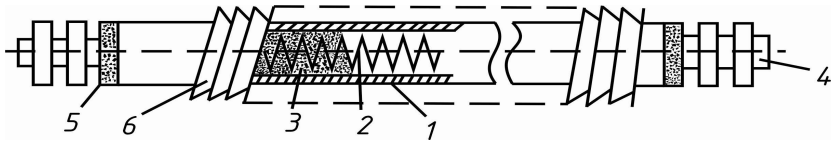

Рис. 6.1. Оребренный трубчатый нагреватель (ТЭН):
1. - стальная трубка; 2. - нагревательная спираль; 3. - наполнитель (периклаз); 4. - контактные выводы; 5. - втулки – изоляторы; 6. – оребрение.

Переключение ступеней может осуществляться автоматически и вручную в зависимости от температуры в обогреваемом помещении, для чего в комплекте установок имеются два выносных датчика температуры, по сигналу которых происходит переключение ступеней мощности в сторону уменьшения или увеличения.

Для более равномерного обдувания нагревателей потоком воздуха калорифер расположен со стороны всасывания вентилятора. Температуру воздуха на выходе калорифера можно регулировать, изменяя подачу вентилятора при помощи заслонки.

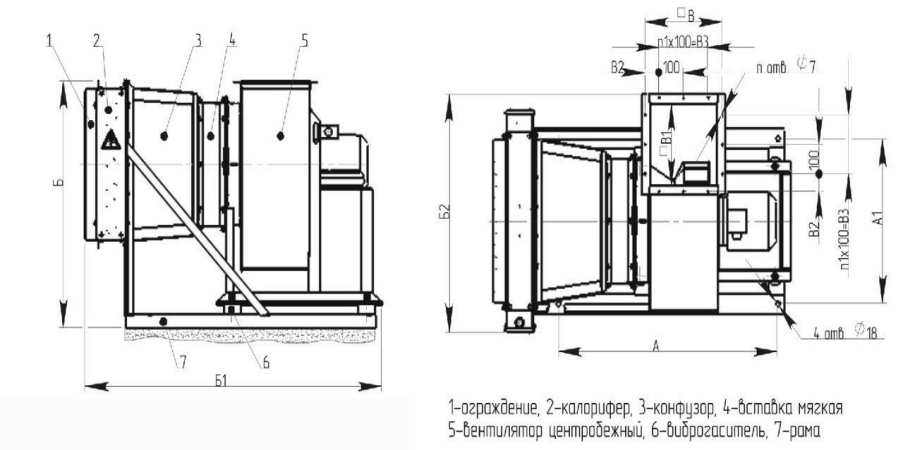

Рис. 6.2. Конструкция электрокалориферной установки СФОЦ.

Электрокалориферная установка (рис. 6.2.) состоит из электрокалорифера (2) с ограждением (1), патрубка переходного (3), мягкой вставки (4), центробежного вентилятора с электродвигателем (5), установленного на виброизоляторах, рамы (7).

Электрокалорифер состоит из кожуха и оребренных трубчатых электронагревательных элементов.

В комплект станции управления входят выносные датчики температуры типа ДТКБ-53Т.

Расчёт отопительных установок производится по количеству тепла, необходимого для компенсации теплопотерь помещения.

Это тепло определяется по формуле:

$$Q_{от} = \Sigma Q_{пот} - \Sigma Q_{выд} \qquad (1)$$

где $\Sigma Q_{пот}$ – суммарные потери тепла зданием, кДж/ч;

$\Sigma Q_{выд}$ – суммарные выделения тепла животными и птицей, кДж/ч.

При использовании электрических отопительных установок (при воздушном отоплении помещений) серии СФОА необходимо учитывать тот факт, что калориферная установка, состоящая из калорифера СФО и центробежного вентилятора серии Ц4, обеспечивают строго определенную воздухопроизводительность.

Калорифер, мощность которого рассчитывается по формуле

$$P_K = \frac{Q_{от}}{3600\eta_K} \qquad (2)$$

где η_K - КПД калорифера, η_K = 0,9 …1,0

$Q_{от}$ - количество тепла, необходимое для компенсации теплопотерь здания, обеспечит теплопроизводительность, необходимую для поддержания нормальной температуры, но агрегатируемый с данным калорифером вентилятор может, в отдельных случаях, не обеспечивать необходимую воздухопроизводительность, то есть тот объем воздуха, который необходимо удалять из помещения с целью снижения содержания CO_2 и влаги.

В этом случае следует учесть, что мощность калорифера СФО – составной части установки СФОЦ можно регулировать в пропорции 1/3 и 2/3.

По расчетной мощности с учетом коэффициента запаса из каталога выбирают необходимую электрокалориферную установку.

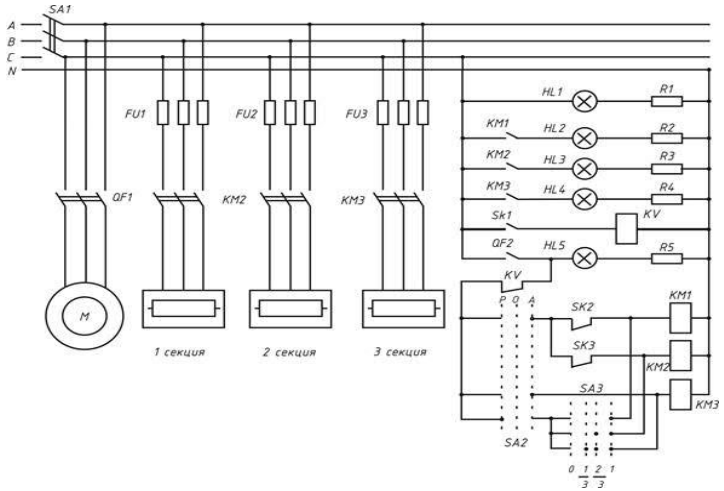

Рис. 6.3. Электрическая схема установки СФОЦ- 25/0,5

Электрическая схема установки СФОЦ- 25/0,5 приведена на рисунке 6.3. Установка включается под напряжение рубильником SA1. Нагреватели калорифера можно включить лишь после включения двигателя вентилятора автоматическим выключателем QF1, блок -

контакты которого находятся в цепи реле KV. При установке переключателя SA2 в положение А осуществляется автоматическое регулирование двух секций калорифера по температуре воздуха в помещении, которая контролируется датчиками температуры SK2 и SK3, установленными в помещении.

Один из датчиков размыкает свой контакт при нормальной температуре воздуха в помещении, а второй - при повышении температуры выше допустимой. Универсальный переключатель SA3 позволяет отключать отдельные секции калорифера и этим регулировать мощность нагрева при работе калорифера вручную (установив переключатель SA2 в положение Р).

Датчик температуры SK1 находится на оребрении нагревателей и срабатывает при температуре 180 °С и с помощью контактов промежуточного реле KV отключает нагреватели. В схеме предусмотрена световая сигнализация подачи напряжения на щит управления (HL1), работы секции нагрева (HL2, HL3, HL4) и вентилятора (HL5).

Кроме того возможен и ещё один вариант, когда отопительно-вентиляционная система дополняется ещё одним вентилятором, который в сумме с вентилятором калоиферной установки может обеспечить воздухообмен, определённый расчётом.

Расчетный воздухообмен для животноводческих помещений определяют как больший по величине воздухообмен, рассчитанный по условию удаления избыточной влаги и по условию поддержания в заданных пределах содержания углекислого газа.

Порядок выполнения работы

В лабораторной установке для возможности регулирования расхода воздуха между вентилятором и калорифером установлена заслонка имеющая четыре фиксированных положения. Контроль за температурой и скоростью воздуха осуществляется с помощью термометра и анемометра (устройство, которое измеряет скорость и направление потока газа или жидкости). Производить замер скорости воздуха необходимо следующим образом: определить показания анемометра до замера (прибор должен быть выключен), затем, включив анемометр, засечь время, спустя 10 сек, выключить прибор и вновь определить показания.

Скорость воздуха определяют по формуле:

$$V = \frac{m_2 - m_1}{10} + 0,4 \qquad (3)$$

где V - скорость воздуха в выходном патрубке вентилятора, м/с;

m_1, m_2 - показания аненометра до и после замера.

Для исследования зависимости теплопроизводительности, температуры нагрева, удельного расхода электроэнергии и КПД установки от расхода воздуха необходимо изменять положение заслонки и регистрировать величины приведённые в таблице 6.1.

Все измерения следует проводить в установившемся режиме.

Таблица 6.1

№	U, В	P_K, кВт	P_B, кВт	V, м/с
1				
2				
3				
4				
5				

Рассчитать производительность G_B установки по воздуху

$$G_B = 3600FV \qquad (4)$$

где F - площадь поперечного сечения выходного патрубка вентилятора, кв.м.;

V - скорость воздуха, м/с;

Производительность установки по теплу

$$Q = G_B C_B \rho_B (t_2 - t_1) \qquad (5)$$

где C_B - удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг град;

ρ_B - плотность воздуха, кг/м^3;

t_2, t_1 - соответственно температура выходящего и входящего воздуха, С;

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{G_B C_B \rho_B (t_2 - t_1)}{3600(P_K + P_B)} \qquad (6)$$

где P_B, P_K– соответственно мощности вентилятора и нагревателей;

Мощность вентилятора определяют по показанию ваттметра при отключённых секциях калорифера.

Результаты вычислений представить в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2

№	P_K, кВт	P_B, кВт	G_B, м3/ч	Q, кДж/ч	η	q, кДж/м^3
1						
2						
3						
4						
5						

Содержание отчета

1. Эскиз калориферной установки, схему лабораторной установки.
2. Экспериментальные и расчетные данные.
3. Графики Q, η, q = φ (G_B).
4. Анализ полученных данных.

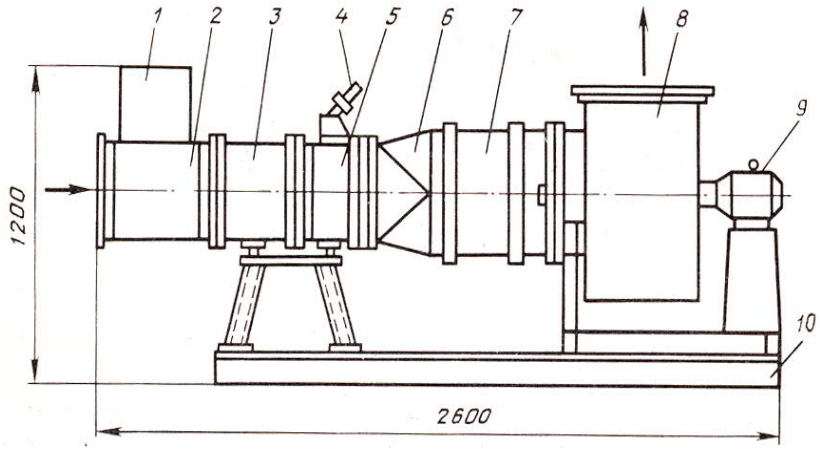

Рис. 6.4. Общий вид электрокалориферной установки СФОЦ:
1 – тиристорный преобразователь; 2 – воздуховод; 3 – электрокалорифер; 4 – заслонка; 5 – смесительное устройство; 6 – переходный патрубок (диффузор); 7 – мягкая вставка; 8 - центробежный вентилятор; 9 – электродвигатель; 10 – рама.

Контрольные вопросы

1. Преимущества электрокалориферных установок перед огневыми установками, работающими на твёрдом или жидком топливе.
2. Как устроен нагревательный элемент электрокалориферной установки серии СФОА?
3. Основные элементы электрокалориферной установки СФОА.
4. Как осуществляется регулирование производительности установки по теплу?

Литература

1. Юденич Л.М. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие / Изд.2, испр. и доп. ЭБС «Лань», 2020.
2. Чередниченко В.С. и др. Теория и практика комбинированной электротехнологий. М. Инфра-М. 2018.
3. Оськин С.В. Электротехнологии в сельском хозяйстве. Изд. КубГАУ. 2016. 503 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

Цель работы: Получение характеристик работы открытых нагревателей в воздушной среде при различной скорости воздуха.

Основные теоритеческие положения

В открытых нагревателях нагревательные сопротивления открыты для доступа воздуха и нагреваемой среды. Такие нагреватели применяются в том случае, если это допускается технологией нагрева, условиями безопасности, сроками службы. Достоинством их является простота устройства, хорошие условия теплоотдачи, для увеличения механической прочности нагревательные сопротивления размещают на каркасах. В качестве материала нагревательного сопротивления в открытых нагревателях может использоваться нихром, фехраль, углеродистая сталь.

Основная область применения стальных нагревательных элементов обогрев почвы и воздуха в парниках и теплицах, обогрев пола в животноводческих помещениях.

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 (см. рис. 7.1).

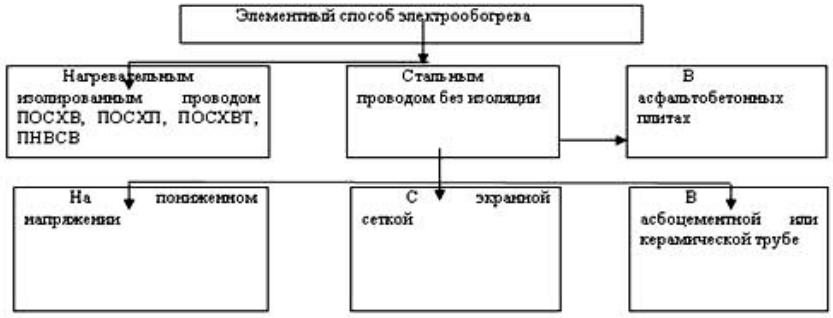

Рис. 7.1. Виды элементного способа электрообогрева сооружений защищенного грунта

При обогреве парников неизолированным проводом с экранной меткой нагревательным элементом является стальная проволока, которую укладывают зигзагообразно вдоль сооружения в слое песка. Напряжение питания 380/220В. Поверх провода насыпают слой почвы 15…20 см и укладывают экранирующую стальную сетку, которую присоединяют к нулевому проводу сети.

Стальная оцинкованная проволока (ПОСХВ, ПОСХП и др.), используемая для нагревательных устройств выпускается диаметром от 1,8 до 5 мм, допустимая рабочая температура составляет 300°С, электрическое сопротивление одного метра провода при рабочей температуре составляет 0,15...0,02 Ом. Наибольшая удельная мощность - 20... 30 Вт/м.

Приближенный расчет нагревательного устройства при известной мощности Р осуществляется следующим образом:

Длина нагревательной проволоки

$$L = \frac{P}{P_{уд}}, \qquad (1)$$

где *Руд* - удельная мощность, Вт/м.

Основное условие надежной эксплуатации нагревательного устройства состоит в том, чтобы удельная мощность не превышала допустимого значения. Это будет в том случае, если сила тока в нем не превысит значения

$$I \le \sqrt{\frac{P_{уд}}{r_n}}, \qquad (2)$$

где rn - сопротивление одного метра провода, Ом/м.

Напряжение питания устройства

$$U = \frac{P}{I}, \qquad (3)$$

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным рассчитать по формулам 1-3 длину проволоки и напряжение питания.

2. Из рассчитанной проволоки смонтированы две сетки с разным шагом. Исследовать динамику разогрева проволоки на сетках при

номинальном рассчитанном напряжении и зависимость температуры от скорости воздуха.

Таблица 7.1

№	U, В	I,А	τ, мин	t м^1,С	tм^2, С
1					
2					
3					
4					
5					

Таблица 7.2

№	V, м/с	tуст, С
1		
2		
3		
4		
5		

3. По установившемуся значению температуры на сетках с шагом Ш1 и Ш2 (показания логометров) определить коэффициент монтажа

$$K_м = \frac{t_{ш1}}{t_{ш2}} \qquad (4)$$

где *tш1* и *tш2* - температуры на поверхности провода при обдуве.

4. Рассчитать коэффициент среды для сеток с шагом Ш1 и Ш2 при номинальном рассчитанном напряжении и различной скорости воздуха (по данным таблицы 7.2)

$$K_{срш1} = \frac{t_{ш1}}{t'_{ш2}}; \quad K_{срш2} = \frac{t_{ш2}}{t'_{ш2}} \qquad (5)$$

5. Экспериментально определить $P_{уд}$ при обдуве проволоки, для чего довести температуру на ее поверхности до допустимой, увеличивая напряжение.

Таблица 7.3

№	Экспериментальные данные			Рассчитанные данные
	U,В	I,А	t, С	Руд Вт/с
1				
2				
3				
4				
5				

Содержание отчета

1. Расчет длины и напряжения питания нагревательного устройства.
2. График зависимости
3. Расчет значений коэффициентов, монтажа, среды и удельной мощности при обдуве.

Контрольные вопросы

1. Назначение и техническая характеристика стальной нагревательной проволоки.
2. Расчет нагревательного устройства из стальной проволоки.
3. Что такое коэффициент монтажа и коэффициент среды?

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.
2. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии М., издательство МЭИ, 2004 г.
3. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.
4. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: Учеб. пособие для энергомашиностроит. спец. вузов/ В.Н.Афанасьев и др.; Под ред. В.И.Крутова, Е.И.Шишова. – М.: Высшая школа, 1988. – 216 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Тема: ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО ЭЛЕКТРОВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ АККУМУЛЯЦИОННОГО ТИПА-УАП

Цель работы: Изучить устройства, правила эксплуатации и схемы управления водонагревателей, выполнить расчет стоимости нагрева.

Основные теоретические положения

Электрические водонагреватели широко применяются как устройства индивидуального пользования на объектах, где отсутствует централизованное горячее водоснабжение. Их используют на животноводческих и птицеводческих фермах, в технологических процессах автопоения животных и птицы, приготовления кормов, мойки посуды и ухода за животными. В теплично-парниковых хозяйствах электрические водонагреватели применяются для нагрева воды, предназначенной для полива растений. Их включают также в системы отопления и горячего водоснабжения отдельных производственных и коммунальных, бытовых помещений. Для этих целей разработаны и выпускаются элементные водонагреватели, источником тепла в которых являются нагревательные элементы, выполненные в виде ТЭНов.

В зависимости от режима работы, схемы включения и конструкции элементные водонагреватели разделяются на аккумуляционные, проточные и комбинированные. Аккумуляционные электроводонагреватели имеют нагревательные резервуары ёмкостью от 60 до 1600 л. Может включаться в ночные часы провалов в графике нагрузок. Однако благодаря хорошей теплоизоляции они могут обеспечить круглосуточное горячее водоснабжение. При отключении напряжения температура воды снижается медленно, примерно на 1,0 градус в час. Системы управления аккумуляционными электроводонагревателями обеспечивают автоматическое включение, отключение и регулирование температуры воды. Промышленность выпускает в настоящее время серию унифицированных аккумуляционных электроводонагревателей ЭВН в трех фазном исполнении (табл. 8.1). ТЭНы укреплены на унифицированных фланцах, что облегчает их демонтаж и замену в случае повреждения.

Таблица 8.1. Технические характеристики электроводонагревателей сельскохозяйственного назначения типа ЭВН

Тип установки	Основные параметры				
	емкость, л	установленная мощность, кВт	время нагрева до макс. тем-ры, Т	максимальная температура воды, °С	количество фаз
ЭВН – 200	200	6…9	3,3…22	85	3
ЭВН – 400	400	9…12	4,4…3,3	85	3
ЭВН – 800	800	18	4,4	85	3

Водонагреватель представляет собой (рис. 8.2.а) конструкцию напольного типа. Бак электроводонагревателя выполнен в виде цилиндрического резервуара *7*, вокруг которого расположен слой теплоизоляции *6*, закрытый кожухом *5*. В нижней части резервуара закреплены три ТЭНа *9*. Сверху резервуар закрыт крышкой *4*. Для контроля температуры водонагреватель снабжен термометром *3* и температурным датчиком с температурным реле *8*, с помощью которых поддерживается постоянная температура и обеспечивается автоматический режим работы. Подача холодной воды в резервуар осуществляется снизу через приточный патрубок с обратным клапаном *10*. Вода нагревается до 90°С и под давлением холодной воды (водоподогреватель подключают к водопроводу с избыточным давлением не менее 50 кПа) поднимается вверх. Разбор горячей воды из бака осуществляется путем перелива через разборный патрубок *2*. При необходимости слива воды из бака открывается сливной кран *11*, благодаря чему вода по трубопроводу *12* переливается в водосборник.

Для обеспечения безопасности при возможном взрыве паров воды водонагреватель имеет предохранительный клапан *1*.

Схема управления (рис. 8.2.б) обеспечивает позиционное регулирование температуры воды. Водонагреватель включается в электрическую сеть автоматическим выключателем *QF* (АЕ2000, ВА50). Через замкнутый контакт *SK* температурного датчика включается катушка реле *KV*, включающая своим контактом катушку магнитно-

го пускателя *КМ*. При этом главные контакты пускателя КМ включают нагревательные элементы *ЕК*.

При повышении температуры выше 90°С срабатывает температурный датчик, размыкающий контакт *SK*. Цепь реле *KV* размыкается и магнитный пускатель отключает ТЭНы. При снижении температуры ниже заданной контакты датчика снова замыкаются, и происходит включение нагревательных элементов.

Аппаратура управления установлена в щите, смонтированном на корпусе установки. Внутри шкафа имеются автоматический включатель QF, магнитный пускатель КМ, промежуточное реле KV и терморегулятор ВК.

Элементные водонагреватели (ЭВН) в заводском исполнении применяют чаще всего в открытых системах горячего водоснабжения, в технологических процессах с прерывистым циклом разбора воды при использовании ее, например, на гигиенические нужды, при промывке молочного оборудования в системе доения, для приготовления кормов и т.д.

Иногда элементные емкостные электроводонагреватели используют и в закрытых системах горячего водоснабжения с разбором воды на технологические нужды во многих точках (например, для душевых), в системах отопления помещений и поения животных и т.д. В таких закрытых системах электроводонагреватели типа ЭВН подсоединяют по специальной схеме.

Электроводонагреватели типа ЭВН подключаются к сети напряжением 380/220В с глухозаземленной нейтралью, а блоки электронагревателей (ТЭНов) соединяется по схеме «звезда».

В нагревателях защищенного исполнения греющий элемент размещают в защитном корпусе, предохраняющем его от механических повреждений и изолирующем от нагреваемой среды.

Наиболее эффективными являются герметические трубчатые электронагреватели (ТЭН) (рис. 8.1.).

При наличии накопленной емкости такого типа электроводонагреватели могут работать и по принудительному графику потребления электроэнергии, например, в ночные часы.

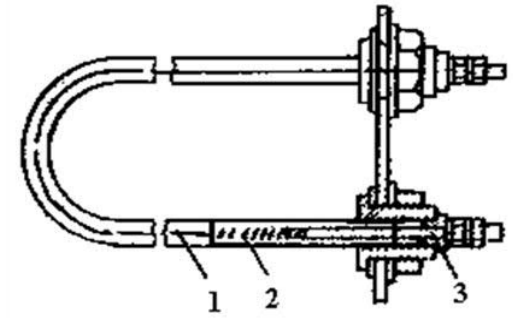

Рис. 8.1. Трубчатый электронагреватель ТЭН:
1 – металлическая трубка; 2 – спираль; 3 – выводы

В с.х. используются также электронагреватели с такими же параметрами типа УАП (универсальный автоматический подогреватель), САОС (нагрев сопротивлением, аккумуляторного типа, открытая система горячего водоснабжения), САЗС (нагрев сопротивлением аккумуляторного типа закрытая система горячего водоснабжения), ВЭТ (водоподогреватель электрический термос). Аккумуляционные водонагреватели С АО С и САЗС (С – способ нагрева сопротивлением; А – аккумуляционный; ОС, ЗС – открытая или закрытая система водозабора) устроены одинаково и предназначены для работы в системах водоснабжения с избыточным давлением до 0,4 МПа.

Основные правила эксплуатации и техники безопасности при обслуживании элементных водонагревателей: корпус водонагревателя должен быть заземлен. В сети напряжением 380/220В с заземленной нейтралью для заземления корпус присоединяют к нулевому проводу сети; при отсутствии устройств для выравнивания потенциалов и защитно-отключающих устройств по току утечки водонагреватель к водопроводной сети необходимо присоединять через изоляционную вставку длиной не менее 1 м.

Запрещается включать в сеть водонагреватель, не заполненный водой, так как в этом случае из-за уменьшения теплоотдачи ТЭНы перегорают.

Порядок выполнения работы

Изучить устройство водонагревателя аккумуляционного типа. Изучить схемы водонагревателей ЭВН, УАП, ВЭТ-800.

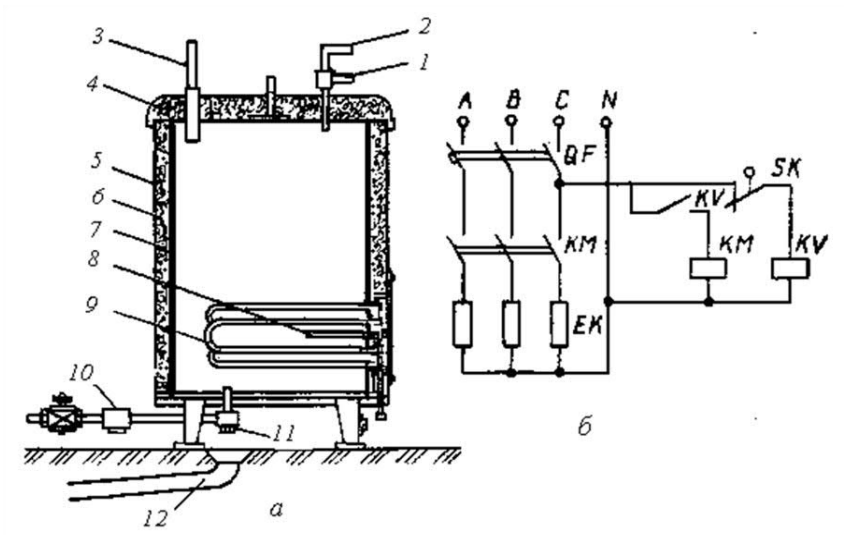

Рис. 8.2. Устройство водонагревателя аккумуляционного типа УАП.

Водонагреватель: а – общий вид; б – электрическая схема; 1 – предохранительный клапан; 2 – разборный клапан; 3 – контактный термометр; 4 – крышка; 5 – кожух; 6 – теплоизоляция; 7 – резервуар; 8 – термодатчик с температурным реле; 9 – ТЭН; 10 – обратный клапан; 11 – сливной кран; 12 – трубопровод; QF – автоматический выключатель; SK – контакт температурного датчика; KV – реле напряжения; КМ – магнитный пускатель;

ЕК – нагревательные элементы (ТЭНы).

Управление водонагревателем осуществляется аппаратами, смонтированными в станции управления. Схема управления показана на рис. 8.2. *б*.

В соответствии с индивидуальным заданием рассчитать стоимость элекронагрева 1 кг воды по следующей методике:

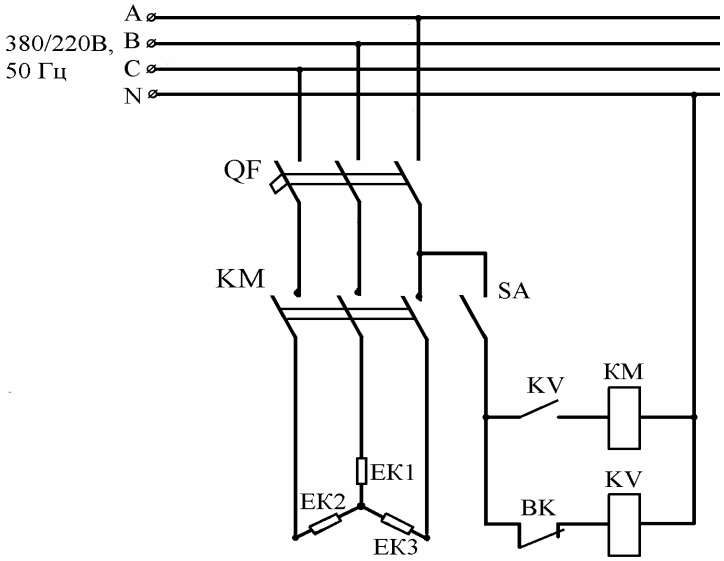

Рис. 8.3. Принципиальная электрическая схема электроводонагревателя ЭВН аккумуляционного типа.

1. Полезная мощность

$$Рпол = \frac{M \cdot Ccp(tк - tн)}{3600\tau}, кВт$$

где М – Масса воды, кг;

Ccp – средняя за период нагрева теплоемкость воды, $\frac{кДж}{кг^0C}$

$t_к$, $t_н$ – конечная и начальная температура воды;
τ – время нагрева воды от $t_н$ до $t_к$;

2. Потребляемая мощность

$$Рпотр = \frac{Рпол}{2m},$$

где 2 m – тепловой к.п.д. установки.

3. Расход энергии. –

$$W = Рпотр \cdot ф;$$

где Р – мощность нагревательного устройства, кВт.

4. Стоимость нагрева воды 1 кг воды

$$S = \frac{W \cdot S_E}{M}$$

где – S_E – стоимость 1 кВтч.

Содержание отчета

1. Краткое описание конструкции элементарных водонагревателей аккумуляционного типа.
2. Схемы автоматического управления элементных водонагревателей аккумуляционного типа.
3. Расчет стоимости электронагрева 1 кг воды.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия элементных водонагревателей.
2. Какие формулы использовались при расчетах?
3. Электрическая схема управления ЭВН, УАП, ВЭТ-800.
4. В чем преимущества и недостатки элементных водонагревателей по сравнению с электродными?

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.
2. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии М., издательство МЭИ, 2004 г.
3. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.
4. .Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г.
5. Гайдук В.Н., Щмигель В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат,1989 г.

Дополнительная литература

1. Живописцев Е.Н., Косицин О.А. Электротехнология и электрическое освещение М.: ВО «Агропромиздат», 1990 г.
2. Бодин А.П. Электрооборудование для сельского хозяйства. М.: Россельхозиздат, 1981 г.
3. Гайдук В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат, 1989 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Тема: ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОТОЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ЭПВ-2А

Цель работы: 1. Изучить конструкцию и принцип работы водонагревателя и схему автоматического управления.

2. Исследовать зависимость температуры воды на выходе от производительности и мощности установки.

Общие сведения

Водонагреватели проточного типа отличаются компактностью и быстродействием. Для нагрева воды на технологические нужды распространен проточный водонагреватель ЭПВ - 2А, ВЭП (рис. 9.1) рассчитанные на напряжение питания 380/220 В. Эти водонагреватели достаточно полно унифицированы по принципу действия и конструктивному исполнению. Нагрев воды осуществляется тремя ТЭНами, встроенными в цилиндрический корпус с двойными металлическими стенками. Производительность аппарата ЭВП-2А 120 л/ч при температуре воды до 90°С, что достаточно для удовлетворения потребности в горячей воде коровника на 100 голов.

Таблица 9.1. Техническая характеристика проточных электроводонагревателей типа ЭВП

Показатели	ВЭП-6	ВЭП-9	ВЭП-12	ВЭП-15
Нормальная мощность, кВт	6	9	12	15
Максимальная температура воды, ^{0}С	85	85	85	85
Вместимость, л	12	12	12	12
Производительность при нагреве до 85^{0}С, л/ч	70	110	140	175

Аппараты включают в сеть после открытия вентиля на напорном трубопроводе и появлении воды из верхнего штуцера. Температуру нагретой воды регулируют степенью открытия вентиля на подводящем трубопроводе. Во избежание перегрева нагревательных элементов вода должна непрерывно протекать через водонагреватель, поэтому ставить вентиль на выходном трубопроводе нельзя. Для предотвращения возможности взрыва при интенсивном парообразова-

нии (например, в случае прекращения протекания воды на отводящем штуцере установлен предохранительный клапан), подводящий и отводящий трубопроводы соединены с водонагревателем через изолирующие вставки. Схема автоматического управления позволяет регулировать темпера туру воды в пределах до 85-90°С (рис.9.2). Датчик температуры типа ТПК-6 (с пределами регулирования от 0 до 150) позволяет автоматически поддерживать температуру воды на выходе водонагревателя с точностью ±2°С электроводонагреватели имеют отдельный щит управления. Нагревательные элементы подключены по схеме «звезда». Основные элементы щитов управления - автоматический выключатель, магнитный пускатель, термореле.

Полезная мощность проточного водонагревателя, определенная по технологическим параметрам

$$P_{полн} = \frac{G \cdot рв \cdot Ссрв(t_к - t_н)}{3600}, \text{ кВт} \qquad (1)$$

Потребляемая мощность проточного водонагревателя

$$P_{потр} = \frac{P_{пол}}{\eta}, \text{ кВт} \qquad (2)$$

Потребляемую мощность определим по показаниям вольтметра и амперметра.

Удельный расход электроэнергии на процесс нагрева

$$a = \frac{P_{потр}}{G \cdot (t_k - t_н)}; \text{ кВт ч/л } ^oC \qquad (3)$$

где G – производительность установки, л/ч;

$\rho_в$ – плотность воды, кг/л ($\rho_в$ = 1кг/л);

$C_{ср}$ – средняя за период нагрева теплоемкость воды, кДж/кг °С ($C_{срв}$ = 4,19 кДж/кг °С);

$t_к$, $t_н$ – конечная и начальная температура нагрева, °С;

η – тепловой к.п.д. установки.

Для измерения производительности установки используется мерный сосуд и секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Изменяя производительность установки степенью открытия вентиля на напорном трубопроводе, определить значения конечной температуры воды при работе на одной фазе.

Таблица 9.2

№ опыта	Измерения					Вычисления		
	G, А/ч	U, В	I, А	t_k, ^{0}С	$t_н$, ^{0}С	Рпотр, кВт	*a*, кВтч/л^{0}С	η
1								
2								
3								
4								
5								

Построить зависимость $t_k = f(G)$, $a = \varphi(G)$, $\eta = \varphi(G)$

2. При максимальной производительности установки определить значения конечной температуры при изменении потребляемой установкой мощности*

Таблица 9.3

№ опыта	Измерения			Вычисления
	U, В	I, А	T_k, ^{0}С	Рпотр, кВт
1				
2				
3				

* Мощность установки изменять путем включения одного, двух ТЕНов последовательно.

Построить зависимость $t_k = \varphi$, (Рпотр).

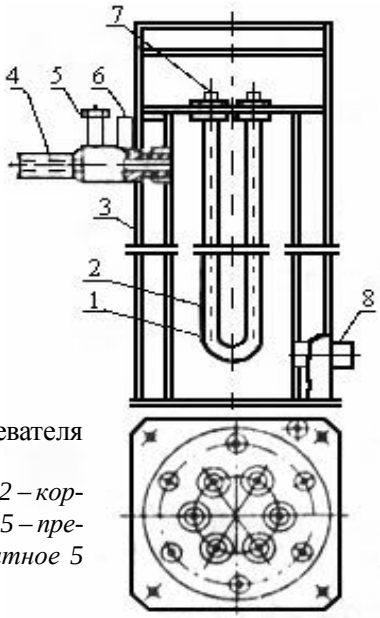

Рис. 9.1. Конструкция электроводонагревателя проточного типа:
1 – трубчатый нагревательный элемент; 2 – корпус; 3 – наружный кожух; 4 – отвод воды; 5 – предохранительный клапан; 6 – термозащитное 5 реле; 7 – токовод; 8 – подвод воды.

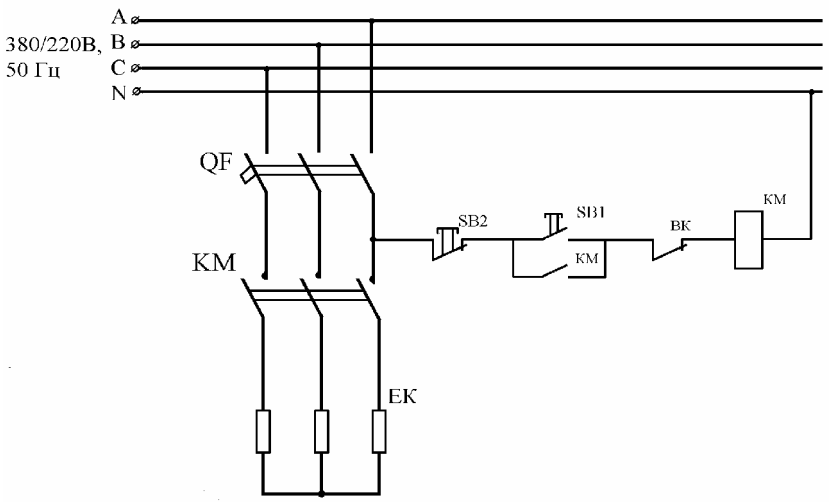

Рис. 9.2. Принципиальная электрическая схема проточного электроводонагревателя.

Содержание отчета

1. Эскиз проточного водонагревателя и схема автоматического регулирования температуры.
2. Экспериментальные и расчетные данные.
3. Графики зависимостей $t_k = f(G, Рпотр)$, $a = \varphi(G)$; $\eta = \psi(G)$

Контрольные вопросы

1. Назначение и устройство проточного элементного водонагревателя.
2. Принципы автоматизации проточных водонагревателей.

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология» М., «Колос», 2008 г.
2. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии М., издательство МЭИ, 2004 г.
3. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.
4. . Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г.
5. Гайдук В.Н., Щмигель В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат,1989 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Тема: ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРКЦИИ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы. 1. Изучить устройство, принцип действия и схему автоматического управления ЭПЗ.

2. Выполнить проверочный расчет электродного водонагревателя проточного типа.

Общие сведения

По принципу действия электродные водонагреватели относятся к установкам прямого нагрева с выделением теплоты непосредственно в нагреваемой жидкости при прохождении через нее электрического тока между электродами. В производстве применяют выпускаемые промышленностью, в основном, электродные водонагреватели типов ЭПЗ, КЭВ (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Техническая характеристика электроводонагревателей типа ЭПЗ.

Показатели	ЭПЗ-ЗИ1	ЭПЗ-25И4	ЭПЗ-60ИЗ	ЭПЗ-100ИЗ	ЭПЗ-25ОИ1
Мощность, кВт	3	25	6	100	250
Расчетное удельное сопротивление воды при 20^0С, Ом·м	10…30	10…30	10…30	10…30	10…50
Диапазон регулирования мощности, %	50…100	33…100	10…100	10…100	33…100
Максимальное рабочее давление, МПА	0,07	0,07	0,6	0,6	0,6

Примечания. Расчетная температура воды при работе водонагревателей в номинальном режиме на отопление составляет на входе 70^0С, на выходе 90^0С. Питание от сетей 380/220В, а ЭПЗ-ЗИ1 – на 220В.

Электродные водонагреватели типов ЭПЗ предназначены для нагрева воды в системах горячего водоснабжения зданий производственного (фермы) и коммунально-бытового назначения (коттеджи, клубы и т.д.). В сельскохозяйственном производстве электродные водонагреватели типа ЭПЗ используются либо только для отопления

помещений, либо для отопления и получения горячей воды на технологические нужды.

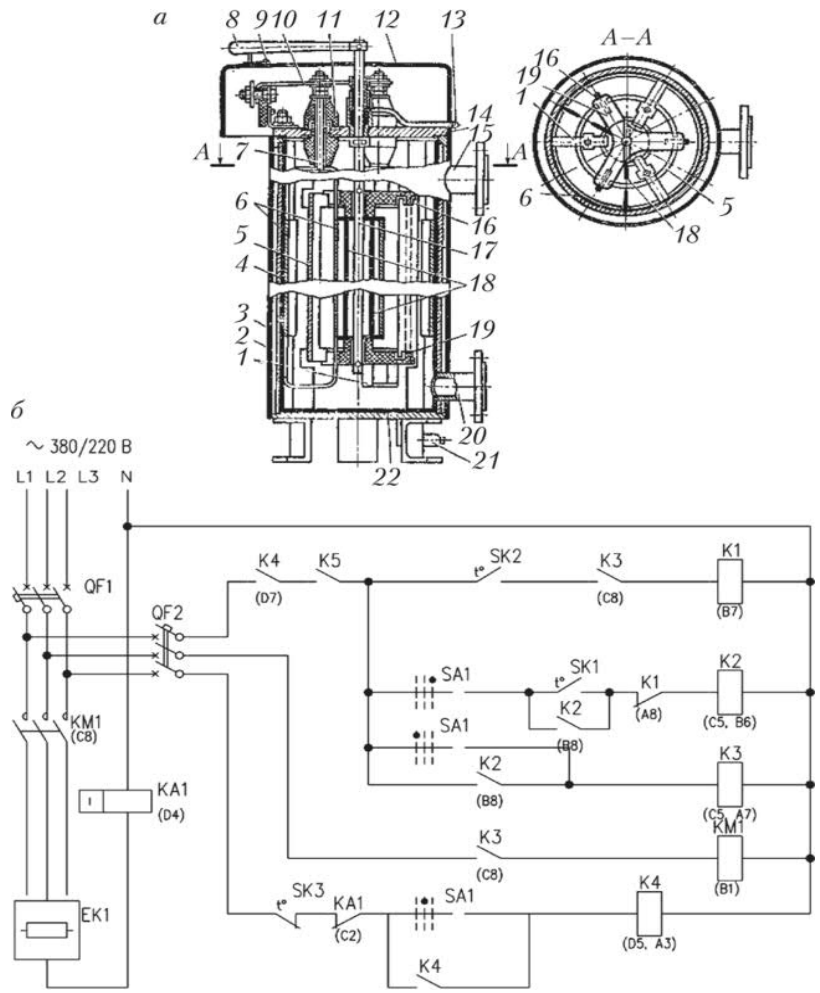

Рис. 10.1. Электродный водонагреватель ЭПЗ-100/0,4-И2: а – конструкция: 1 – скобы; 2 – корпус; 3 и 12 – кожухи; 4, 18 и 22 – экраны; 5 и 6 – электроды; 7 – шпилька; 8 – рукоятка; 9 – табличка; 10 – токопроводящая шипа; 11 – изолятор; 13 – трубка; 14 – крышка; 15,20 и 21 – патрубки; 16 – изоляционная пластина; 17 – ось; 19 – траверса; б – принципиальная электрическая схема управления

На рис. 10.1а приводится конструкция электроводонагревателя типа ЭПЗ-100И2. Он состоит из корпуса, кожуха, наружного изоляционного экрана, регулирующих электродов, фазных электродов, тоководов, входного и выходного патрубков.

Вода нагревается электрическим током, протекающим от одного фазного электрода к другому через промежуточный регулирующий электрод. Значение тока определяется углом поворота ($0...60^0$) регулирующих электродов относительно фазных. Схема управления (рис. 10.1. б) обеспечивает работу водонагревателя в ручном или автоматическом режиме (переключатель SA1). Автоматическое двухпозиционное управление осуществляется по температуре выходящей воды, которая регулируется манометрическим термометром SK. Контакты SK1 замыкаются, когда температура воды ниже минимального значения, а SK2 – когда температура воды достигает максимальной уставки. Включение происходит через реле К2, К3 контактором КМ1, отключение – по цепочке К1–К2–К3–KV1. В случае отказа регулирующего термометра SK1-SK2 и повышения температуры выше заданной водонагреватель отключается при размыкании контакта аварийного реле SK3. Повторное включение возможно только вручную после устранения причины отказа. При появлении в нулевом проводнике тока, равного 25 % номинального, или при коротком замыкании аппарат отключается контактом КА1 токового реле, включенного в нулевой проводник.

Нагрев воды в электродных водонагревательных осуществляется за счет теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока между электродами через движущийся поток воды в электродном пространстве. Все электроводонагреватели оборудованы шкафами (щитами) управления с пускорегулирующий и защитной температурой. Температура воды поддерживается автоматически на заданном уровне с помощью терморегуляторов. Диапазон регулирования мощности осуществляется изменением положения регулирующих электродов или степенью перекрытия изоляционными стержнями высоты взаимодействия электродов и антиэлектродов.

Основной режим работы электродных водонагревателей – без разбора воды с обязательной циркуляцией ее по замкнутому контуру. Это объясняется тем, что удельное электрическое сопротивление воды в сельскохозяйственных водоисточниках колеблется в

широких пределах (от 6 до 100 Ом·м), Поэтому для нормальной работы водонагревателей (с номинальной мощностью) требуется водоподготовка с учетом ее расчетного удельного электрического сопротивления, указанного в паспорте электроводонагревателя. Для электроводонагревателей типа ЭПЗ рекомендуемое расчетное удельное электрическое сопротивление воды (при температуре 20^0С), при котором обеспечиваются их номинальная мощность и надежная работа, составляет 20 Ом·м. Если фактическое удельное электрическое сопротивление выше требуемого значения, то следует провести подсоску воды путем добавления тринатрийфосфатной или обычной поваренной соли. В другом случае, при меньшем значении удельного электросопротивления воды, следует опреснить воду добавлением дистиллята или дождевой воды.

Работа электроводонагревателей на воде с удельным электросопротивлением ниже 10 Ом·м не допускается из-за увеличения плотности тока на электродах, ускоренного износа их, интенсивного зарастания накипью и вероятности образования гремучего газа. Также не рекомендуется работа и на воде с удельным электросопротивлением свыше 50 Ом·м, так как при этом водонагреватель не сможет развить нормальную мощность. Поэтому в отдельных случаях при заказе электродных водонагревателей и использовании воды для них из известного доисточника можно послать на завод 1л воды., и под нее будет изготовлен и отрегулирован требуемый водонагреватель.

Отдельные электроводонагреватели небольшой мощности (до 100 кВт), как правило, работают в двух режимах: либо в системах отопления по одноконтурной схеме, либо, а это чаще всего, по двухконтурной схеме , когда в первичном закрытом контуре с электроводонагревателем горячая вода используется на отопление, а из вторичного открытого контура с бойлером (теплообменником) – на технологические и санитарные нужды.

При несимметрии питающего напряжения (например, потери фазы, перегорании предохранителя) на корпусе водонагревателя появляется опасный потенциал. Для защиты от неполнофазного режима в нулевом проводе установлено токовое реле КА, которое срабатывает и отключает водонагреватель при увеличении тока в нулевом проводе до $0,25I_н$.

Порядок выполнения работы

1. Изучить на промышленном образце водонагревателя ЭПЗ его конструкцию.

2. Изучить схему автоматического управления водонагревателя ЭПЗ.

3. Произвести проверочный расчет мощности электродного водонагревателя по индивидуальному заданию преподавателя по следующей методике.

1. Потребная мощность нагревателя

$$P = \frac{G \cdot \gamma \cdot c \cdot \nu}{3600 \cdot \eta}, \text{ кВт} \qquad (1)$$

где G – производительность водонагревателя, л/ч;

γ – плотность воды, кг/л;

c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/ кг°С;

ν– превышение температуры воды на выходе нагревателя над температурой на входе, ^{0}С;

η – КПД водонагревателя, 0,9…0,95.

2. Расчет размеров электродов производится по величине потребной мощности, приходящейся на одну фазу.

Минимальная площади электродов определяется как

$$S_{\min} = \frac{I_ф}{i_{доп}}, \text{ см}^2 \qquad (2)$$

где $I_ф$ – ток в фазе при мощности, соответствующей потребной, А;

$i_{доп}$ – допустимая плотность тока на электродах, А/см^2.

Для других электродов допустимая плотность тока определяется по эмпирической формуле:

$$i_{доп} = \frac{16}{Vp_2} \qquad (3)$$

где p_2 – удельное сопротивление воды на выходе из нагревателя при температуре t_2, Ом·см.

$$p_2 = \frac{40 \cdot p_{20}}{t_2 + 20} \qquad (4)$$

Для коаксиальных электродов допустимая плотность тока на электродах в 3…4 раза выше, чем при плоских электродах. При этом определяется минимальная поверхность внутреннего электрода, на котором плотность тока выше, чем на внешнем.

С учетом минимальной площади (поверхности) электродов принимается фактическое ее значение $S_ф$, удовлетворяющее неравенству

$$S_ф > S\min \qquad (5)$$

Для плоских электродов по величине $S_ф$ определяются конструктивные размеры с учетом

$$S_ф = h \cdot b,\ h = (1..2)b \qquad (6)$$

где h – высота электродов, см;

b – ширина электродов, см.

Для коаксиальных электродов принимается значение диаметра внутреннего электрода $d_в$ и определяется высота с учетом

$$S_ф = \pi \cdot d_в \cdot h \qquad (7)$$

Расстояние между электродами l для плоских электродов определяется из соотношения

$$\frac{U^2}{P_ф} = \frac{P_{ср} \cdot l}{S_ф}; \quad \ell = \frac{U^2 \cdot S_ф}{P_ф \cdot P_{ср}} \qquad (8)$$

а для коаксиальных электродов

$$\frac{U^2}{P_ф} = \frac{P_{ср}}{2\pi h} \ln \frac{d_н}{d_в} \qquad (9)$$

где $P_ф$ – потребная мощность на одну фазу, Вт;

$d_н$ – внутренний диаметр внешнего электрода, $d_н = d_в + 2l$;

$p_{ср}$ – среднее удельное сопротивление воды, Ом·см

$$P_{ср} = \frac{40 p_{20}}{t_2 - t_1} \ln \frac{t_2 + 20}{t_1 + 20} \qquad (10)$$

В заключение этой части расчета определяется фактическая напряженность электрического тока в воде E = U/I, которая должна быть меньше допустимой

$$E_{доп} = j_{доп} \cdot p_2 \qquad (11)$$

Содержание отчета

1. Технические данные водонагревателей ЭПЗ.
2. Схема управления ЭПЗ.
3. Конструкция ЭПЗ.
4. Проверочный расчет электродного водонагревателя.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы электродных водонагревателей.
2. Регулирование мощности.
3. Принцип работы схемы автоматического управления.

Литература

1. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

2. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии. М., издательство МЭИ, 2004 г.

3. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.

4. Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г.

5. Гайдук В.Н., Щмигель В.Н. Практикум по электротехнологии. М.: Агропромиздат, 1989 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11.

Тема: ЭЛЕКТРОТЕРМОРАДИАЦИОННАЯ СУШКА ЗЕРНА

Цель работы: изучить процесс и рассчитать удельные параметры сушки зерна инфракрасными лучами.

Оборудование и приборы: сушильная камера с лампой ЗС-3, устанавливаемой на регулируемой высоте, весы, зерно, амперметр, вольтметр, самопишущий потенциометр.

Общие сведения

Большое значение в послеуборочной обработке имеет сушка зерна-основного продукта с.-х. зерно, поступающее на хлебоприемные пункты, имеет повышенную влажность, иногда достигающую (25…30)% и поэтому непригодно для длительного хранения. Для сохранения собранного урожая влажное зерно сушат до кондиционной влажности (14…16)%. В РФ ежегодно подлежит сушке огромное количество зерна – около 45% валового сбора. Сушка является не только теплотехническим, но и технологическим процессом, влияющим на свойства материала. Она ускоряет процесс дозревания свежеубранного зерна, сохраняет или даже увеличивает всхожесть и энергию прорастания семенного зерна. Кроме того, если зерно просушено, производительность и качество продукции предприятий мукомольно-крупяной промышленности повышается, при уменьшении расхода электроэнергии и снижении износа основного оборудования.

Электротерморадиационная сушка (инфракрасными лучами) отличается высокой интенсивностью подвода тепла к материалу возрастающей по сравнению с конвективной в десятки раз, что приводит к возрастанию испарения влаги и увеличению производительности сушилок. В качестве источников теплового излучения могут использоваться электрические: лампы накаливания, керамические панели с находящимися в них спиралями.

На рис. 11.1 изображена радиационная сушилка непрерывного действия. В камеру 1 на ленту транспортера 2 из питателя 3 подается материал. Перемещаясь вместе с лентой, материал нагревается с помощью излучателей 4, высушивается и отводится через штуцер 5. Испаренная влага удаляется через штуцер 6. Данные сушилки могут быть как атмосферными, так и вакуумными.

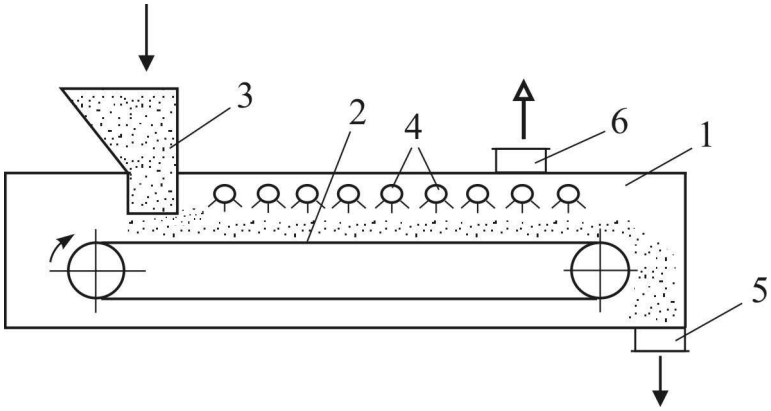

Рис. 11.1. Радиационная сушилка:
1 - камера; 2 - транспортер; 3 - питатель; 4 - излучатели; 5,6 - штуцеры для отвода материала и испаренной влаги

К недостаткам радиационных сушилок можно отнести большие градиенты температуры в материале, что не всегда допустимо; значительный расход энергии.

Тепловое действие инфракрасных лучей вызывает быстрое испарение влаги из поверхностного слоя материала.

Наибольшее распространение получило использование терморадиационной сушки для лакокрасочных покрытий, тканей, бумаги, электрической изоляции. Предпринимаются успешные попытки сушки сельскохозяйственных продуктов, в том числе семян подсолнечника, зерна, риса и овощей гранулированных кормов и др. Особый интерес представляет сушка зерна. Многочисленными исследованиями установлено, что зерно в целом является для инфракрасных лучей малопроницаемым материалом. Оболочки зерен пшеницы, ячменя, кукурузы пропускают 30…60% лучей, ржи и риса - 10…18%.

У коротковолнового излучения с длиной волны 1,4…3 мкм глубина проникновения в зерно около 1,5 ... 2 мм, что позволяет осуществить быстрый объемный прогрев зерна перед основной конвективной сушкой, т.к. именно комбинированная сушка дает наилучшие результаты. Одновременно длинноволновое излучение позволяет осуществить быстрый объемный прогрев зерна, уничтожение вредных насекомых, имеющих более высокую поглотительную способность поверхности тела. В качестве генераторов ИК лучей используются

светлые (лампы) и темные (трубчатые, спиральные, панельные) излучатели. Достоинством сушилок со светлыми излучателями, является, их безынерционность, что имеет важное значение при прерывистом режиме сушки. Такой режим облучения, с одновременным обдуванием холодным воздухом, позволяет снизить градиент температур на поверхности зерна, ускорить процесс сушки и снизить расход электрической энергии. При этом производительность сушки увеличивается в два раза по сравнению с конвективной.

Существенным их недостатком является невысокая надежность, малый срок службы ламп, а также относительно высокий расход электроэнергии. Однако в целом ряде процессов, где спектральная чувствительность материала максимальна в коротковолновом спектре ИК излучения, наиболее целесообразно применять светлые излучатели. Сушилки с темными излучателями в виде ТЭН-ов и обогревательных панелей наиболее надежны и экономичны. Их используют для материалов, обладающих достаточной проницательностью к длинноволновым ИК лучам (окрашенные металлические поверхности, сушка электрической изоляции). Процессы сушки, весьма энергоемки, имеют сравнительно низкий энергетический коэффициент полезного действия (к.п.д). Максимальная температура зерна в процессе сушки не должна превышать 55-80°С. Электротерморадиационные прогреватели зерна работают в агрегате с обычными конвективными зерносушилками. При производительности установки 2,5т/ч общая мощность излучателей составляет 90 кВт, а расход электроэнергии на I кг испаренной влаги при снижении влажности на 2,6% около 0.82 кВт·ч.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы установки.
2. Взять порцию влажного зерна и определить ее массу.
3. Установить чашку с зерном в сушильную камеру, для контроля температуры подвести к зерну термопару. Лампа при этом устанавливается на минимально возможной высоте от чашки.
4. Включить установку. С помощью самопишущего потенциометра изучить динамику разогрева зерна до температуры 80°С. Данные занести в таблицу 11.1.
5. При достижении температуры 80°С установку выключить.

6. В случае необходимости (высокой влажности зерна) пункты 3, 4, 5 повторить.

Таблица 11.1

M_1	M_2	№	h_1		h_2	
			время τ мин	температура t,°С	время τ мин	температура t,°С
		1				
		2				
		3				
		4				
		5				

7. Определять массу зерна после сушки. Найти массу испаренной в процессе сушки воды по формуле:

$$M_в = M_2 - M_1 \qquad (1)$$

где $M_в$ - масса испаренной влаги, г;

M_2 - масса влажного зерна, г.

M_1 - масса зерна после сушки, г.

8. Рассчитать количество тепла затраченного да процесс сушки по формуле:

$$Q_c = M_в C_в (t_{кон} - t_{нач}) + M_1 C_3 (t_{кон} - t_{нач}) \qquad (2)$$

где $M_в$ - масса испаренной воды, кг;

M_1 - масса сухого зерна, кг;

$C_В$ и $C_З$ - удельная теплоемкость воды и зерна , кДж/кг · °С

$C_В = 4{,}19$, $C_З = 1{,}55$

$T_{нач}$, $t_{кон}$ - начальная и конечная температуры, °С

9. Рассчитать энергетический к.п.д. установки

$$\eta_э = \frac{Q_c 10^3}{P\tau 3600}, \qquad (3)$$

где Q_c - количество тепла, затраченное на сушку, кДж;

P - мощность установки, Вт;

τ - время с начала сушки до ее окончания без учета перерывов в процессе сушки, час.

10. Рассчитать затраты энергии на процесс сушки зерна

$$A_c = \frac{P\tau}{M_в} \qquad (4)$$

где τ - время процесса, час;

$M_В$ - масса испаренной воды, кг.

Данные расчетов и показания приборов занести в таблицу 11.2.

Таблица 11.2

U, В	I, А	P, Вт	Q_C, кДж	τ, ч	ηэ	Ac, кВт·ч/кг

11. Установив лампу ЗС на максимально возможной высоте h_2 от чашки повторить все опыты и расчеты.

Содержание отчета

1. Описание лабораторной установка.
2. Выводы по полученным результатам.

Литература

1. Живописцев Е.Н. Электротехнология и электрическое освещение. М. ВО «Агоропромиздат», 1990.

2. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С. Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

3. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Тема: ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОИЗГОРОДИ

Цель работы: изучить назначение, электрическую схему, принцип действия и устройство электрической изгороди. Освоить настройку и исследовать режимы работы изгороди.

Основные теоретические положения

Электрическая изгородь представляет собой стальную проволоку закрепленную на изоляторах опорных стоек, на которую импульсами подается высокое напряжение от генератора импульсов. Во время прикосновения к изгороди происходит электрический удар, который не представляет опасности для жизни и здоровья животных, но достаточен для выработки условного рефлекса «боязни» прикосновения к ограждающей проволоке. Исследования и практика использования электрических изгородей показали, что количество электричества до 3 мАс, прошедшее через животное, не опасно для его здоровья.

Электрические изгороди применяются для загонной пастьбы скота, свиней, овец и других животных, а также, для ограждения летних лагерей, выгульных площадок, прогонов, стогов сена, участков культур и других мест, охраняемых от животных или опасных для них. Электрическая изгородь состоит из ограждения, генератора электрических импульсов высокого напряжения и источника питания. Ограждение исполнено в виде изгороди в один или несколько проводов мягкой стальной оцинкованной проволоки диаметром 1…1,5 мм, подвешенной на изоляторах на стойках. Число проводов, высоту подвеса и расстояние между стойками выбирают в зависимости от возраста животных.

Современные промышленные образцы электроизгородей укомплектованы генераторами импульсов типа ИЭ (табл. 12.1).

Схема пульсатора ИЭ-200 с источниками питания и переключающими устройствами представлена на рис. 12.1.

Таблица 12.1. Технические данные электроимпульсатора ИЭ-200

Марка	Первичное напряжение, В	Амплитуда вторичного импульсного напряжения, кВ	Амплитуда импульсного тока, А	Кол-во эл-ва в импульсе тока, мАс	Число импульсов в мин
ИЭ-200	220	6…8	до 700	0,15…0,3	60…120

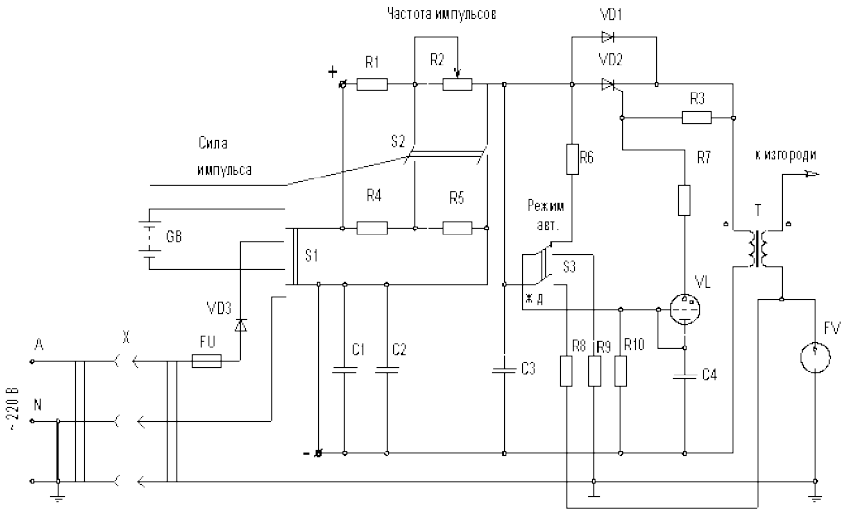

Рис. 12.1 Упрощенная электрическая принципиальная схема генератора импульсов электрической изгороди ИЭ-200

В качестве источника питания генератора импульсов используется четыре батареи сухих элементов напряжением 45 В каждая, включаемая последовательно, или сеть переменного тока напряжением 220 В через штепсельный разъем. При питании от батареи генератор может работать в автоматическом и ждущем (для экономии энергии батареи) режимах, а при питании от сети переменного тока только в автоматическом режиме. Напряжение подаётся импульсами с частотой 1-2 Гц, длительность импульса не превышает 60 мс, перерыв между импульсами - 1 с. Амплитудное значение напряжения импульсов 2…12 кВ, а сила тока в импульсе 0,15…10 А. Существуют генераторы с индуктивным и ёмкостным выходом. В генераторах первого типа накопительный генератор заряжается низким

напряжением, а затем разряжается на первичную обмотку повышающего трансформатора (ИЭ-200, ЭК-1М, ЛСХА).

Для электроизгороди применяют два режима работы генератора импульсов: автоматический (импульсы поступают на токоведущую линию непрерывно) и ждущий (генератор вырабатывает импульсы только в случае прикосновения животных к ЭИ). Принципиальная электрическая схема генератора импульсов приведена на рис. 12.1 и на стенде лабораторной работы. Генератор вырабатывает импульсы высокого напряжения 6…9 кВ с частотой 30…150 импульсов в минуту. Один вывод генератора присоединяют к проволоке изгороди, а другой заземляют через разрядник V (рис. 12.1).

Во время прикосновения животного к проволоке изгороди цепь генератора импульсов замыкается через тело, и животное получает электрический удар, который не представляет опасности для жизни, но достаточен для вырабатывания условного рефлекса «боязни» прикосновения к ограждающей проволоке.

Количество электричества в импульсе до 3 мА безопасно для животных.

В автоматическом режиме генератор импульсов работает следующим образом. При включении переключателем S1 источника питания через резисторы R1 и R2 заряжается конденсатор С3, а через резистор R6 - конденсатор С4. Когда напряжение на С4 достигает напряжения зажигания тиратрона VL, последний зажигается и конденсатор С4 разряжается на первичную обмотку трансформатора TV. Этим разрядным током открывается тиристор VD2, и конденсатор С3 импульсно разряжается на первичную обмотку трансформатора TV. Высокое напряжение вторичной обмотки пробивает разрядник FV, который оказывается приложенным к земле и проволоке изгороди.

Характер разрядки конденсатора С3 колебательный. Ток обратного направления протекает через диод VD1. Частота импульсов изменяется резистором R2.

Силу импульса регулируют, изменяя при помощи включателя S2 число включенных конденсаторов (С1; С2; С3). Резисторы R4 и R5 обеспечивают постоянную частоту импульсов при переключении выключателя S2 в положение «больше».

В «ждущем» режиме при питании от батареи конденсаторы С1, С2 и С3 заряжаются так же, как и в автоматическом режиме, а конденсатор С4 заряжается по-другому. При установке переключателя S3 в положение «ЖД» напряжение от конденсатора С3 подается на делитель напряжения: резистор R8, вторичную обмотку TV, сопротивление $r_{из}$ изоляции проволоки изгороди от земли, резисторы R9 и R10. Если животное не касается проволоки изгороди от земли, то напряжение на резисторе R10, параллельно которому включен конденсатор С4, будет недостаточное для зажигания тиратрона и импульсов не будет, так как $(R8 + r_{из} + R9) > R10$. При касании животного проволоки сопротивление верхнего плеча делителя уменьшается (животное закорачивает $r_{из}$), напряжение на С4 возрастает, зажигается тиратрон VL и появляются импульсы напряжения на проволоке.

Порядок выполнения работы

1. Изучить электрическую схему генератора импульсов (рис. 12.1) устройство и работу отдельных, узлов, освоить настройку генератора импульсов.

2. Исследовать работу изгороди в автоматическом и ждущем режиме. Определить для автоматического режима частоту импульсов.

Высокое напряжение, подаваемое от генератора импульсов на проволоку изгороди, ввиду малой энергии импульса, безопасно для животных и людей, но вызывает неприятное ощущение. Поэтому следует соблюдать осторожность при работе с генератором и избегать прикосновения к его выводам. Проводя опыты секундомером, определяют частоту импульсов при введенном (минимальная частота) и выведенном (максимальная частота) резисторе R2. Частоту импульсов, Гц, рассчитывают по формуле:

$$f = \frac{1}{R \cdot C - \ln \frac{U_б - U_{C2}}{U_б - U_{C1}}};$$

где R - сопротивление цепи заряда конденсатора С3, Ом;

C - ёмкость конденсатора, Ф;

$U_б$ - напряжение батареи, В;

U_{C1} и U_{C2} - напряжение на конденсаторе С3, соответственно в начале и в конце разряда, В.

Для измерения напряжений $U_б$, U_{C1} и U_{C2} используют протарированный осциллограф.

Для воспроизведения и записи форм импульсов напряжения и тока и определения частоты импульсов в автоматическом режиме используют электроннолучевой осциллограф. Прикосновение животного к изгороди имитируется включением между проводом и «землей» сопротивления, равного примерно 500 Ом. Сигналы на вход осциллографа подаются изолированными проводниками с провода изгороди (для получения формы импульса напряжения) и с низкоомного сопротивления, последовательно на выход генератора импульсов (форма импульсов тока).

3. Рассчитать энергию импульса и определить сопротивление нагрузки генератора, при котором он переходит из ждущего режима в автоматический, генератор подключают к последовательно соединенным резисторам (рис. 12.2). Шунтируя выключателями S1, S2, S3 отдельные резисторы, устанавливают начало работы генератора импульсов. Энергию импульса, Дж, рассчитывают по формуле:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left(U_{C1}^2 - U_{C2}^2\right)$$

где C - суммарная емкость включенных конденсаторов С1, С2, С3, Ф;

U_{C1}, U_{C2} - напряжение на конденсаторе С1, С2, В.

Силу импульса определяют площадью, ограниченной кривой импульса тока и осью абсцисс (осью времени). Для снятия кривой импульса тока генератор импульсов нагружают цепочкой последовательно соединенных резисторов R1…R8. От одного из этих резисторов напряжение подают на осциллограф для записи кривой импульса тока (рис. 12.2). Для нахождения масштаба силы тока (тарировки осциллографа) цепочку R1…R8 подключают к источнику пониженного напряжения, измеряют протекающий в ней ток и отклонение луча осциллографа. Длительность импульса находят по масштабу горизонтальной развертки осциллографа.

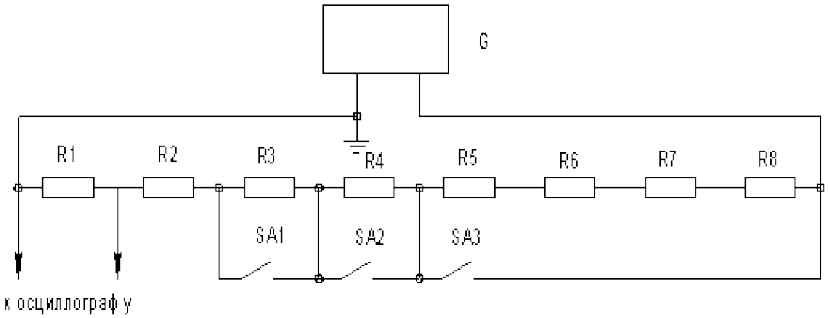

Рис. 12.2. Схема нагрузки генератора импульсов электрической изгороди.

4. Определить силу импульса.

Сила импульса определяется планиметрированием площади, ограниченной кривой импульса тока и осью абсцисс (ось времени) и измеряется в миллиампер -секундах или в милликулонах.

Содержание отчета

1. Схема электрической изгороди и ее технические данные.
2. Схема генератора импульсов.
3. Формы импульса напряжения и тока.
4. Значение энергии и силы импульса.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и конструкция электрической изгороди.
2. Принцип действия электрической схемы генератора импульсов ИЭ-200 в автоматическом и ждущем режимах.

Литература

1. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С. Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

2. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

3. Басов А.М. и др. Электротехнология, М. Агропромиздат, 1985.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Тема: ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОБРУДЕРА БП-1А

Цель работы: 1. Изучить устройство брудера и схему автоматического управления температурой.

2. Исследовать температурное поле под брудером.

Общие сведение

Создание оптимальных температурных условий для цыплят имеет особо важное значение. В первые дни жизни неокрепший организм молодняка не обладает необходимой приспособляемостью к внешней среде. Падение температуры внутри помещения ниже +20°С приводит к гибели цыплят.

Электрический обогрев молодняка увеличивает сохранность поголовья и является одним из наиболее важных и экономически оправданных областей применения электроэнергии в сельском хозяйстве.

Системы общего обогрева целесообразны в капитальных, хорошо утепленных помещениях, способных длительное время удерживать тепло. Однако если эти условия отсутствуют, то общий обогрев не дает должного эффекта, несмотря на значительный расход электроэнергии. В зимнее время в помещениях с общим обогревом температура по высоте резко изменяется. На высоте 1,5…2 м она составляет 16…18°С, на уровне пола – 3 + 5°С. Над полом скапливается воздух, насыщенный влагой, аммиаком, углекислотой. Находясь в такой атмосфере, молодняк быстро простужается, плохо развивается, слабо прибавляет в весе.

В таких случаях целесообразно прибегнуть к местным способам обогрева молодняка, применяя брудеры. При этом и расход электроэнергии будет значительно меньше, чем при общем отоплении.

В качестве источников инфракрасных лучей в брудерах могут применяться электрические лампы накаливания, специальные лампы-термоизлучатели, электрические нихромовые спирали, нагретые до 600…700°С, трубчатые электронагреватели (ТЭНы) и т.д.

Наиболее простым и удобным считается зонтичный брудер с электрическими трубчатыми элементами.

Брудер представляет собой конструкцию в виде полой шестигранной усеченной металлической пирамиды – корпуса 7 (рис. 13.1, *а)* с упорами 4 для крепления брудера к потолку помещения. Под зонтом брудера смонтированы четыре «темных» излучателя *3* – ТЭНы мощностью 250 Вт каждый. Принципиальная электрическая схема брудера БП-1 показана на рисунке 13.1, *б*. Излучатели *R1...R4* собраны в мостовую схему, в измерительную диагональ которой включена сигнальная лампа *HL2*, зажигающаяся при перегорании одного из ТЭНов.

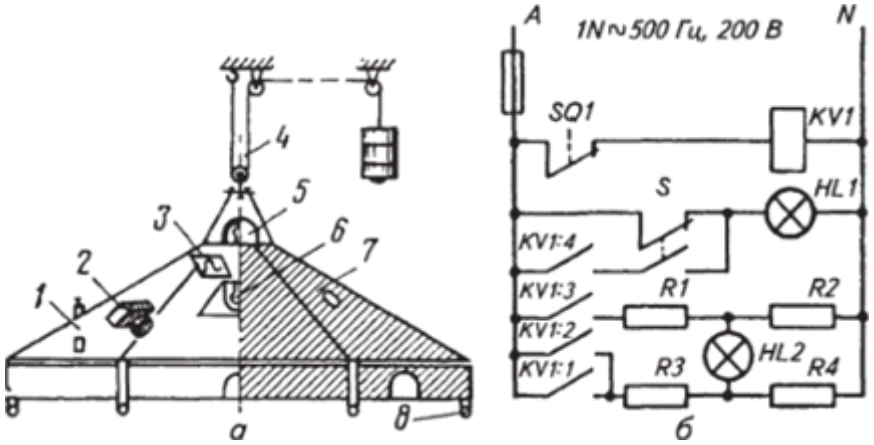

Рис. 13.1. Устройство (а) и принципиальная электрическая схема (*б*) брудера БП-1:

1 – *контрольный термометр;* 2 – *терморегулятор;* 3 – *И К-излучатель;* 4 – *тросовая подвеска с противовесом;* 5 – *сигнальная лампа перегорания ТЭНов; б – лампа освещения;* 7 – *корпус;* 8 – *упоры*

Температура под зонтом брудера поддерживается на заданном уровне с точностью 2...3°С с помощью температурного реле, выполненного на базе сильфона с легковоспламеняющейся жидкостью. При повышении температуры жидкость в сильфоне испаряется, объем сильфона увеличивается, и последний, воздействуя на микровыключатель *SQ1*, выключает излучатели. При снижении температуры происходит обратный процесс, в результате которого излучатели включаются. Под зонтом брудера установлена лампа освещения *HL1*, которая во время установки температурного режи-

ма может включаться переключателем *S* параллельно ТЭНам и использоваться как лампа сигнализации включения и отключения инфракрасных излучателей.

С помощью троса 4 через блок брудер подвешивается к потолку. Высота подвеса над полом устанавливается в зависимости от мощности нагревательных элементов и возраста молодняка. Регулировка температуры осуществляется с помощью регулятора РТБ-I. Брудер БП-I А имеет диаметр 1830 мм, и предназначен для одновременного выращивания 500…600 цыплят. Рабочая температура нагревательных элементов достигает 500°С, конвекция воздуха под зонтом естественная, поэтому основной вид передачи тепла к цыплятам – лучистый. Доля конвективного теплообмена сравнительно невелика. Температура под брудером регулируется автоматическим путем периодического отключения нагревательных элементов с помощью терморегулятора РТБ-1.

Регулятор РТБ-1 дает возможность устанавливать температуру под зонтом брудера в пределах от 20 до 38°С. С повышением температуры растет величина термосопротивления датчика РТ, что приводит к запиранию тиристора. При этом прерывается ток в цепи питания нагревательных элементов.

При снижении температуры под зонтом тиристор отпирается, нагревательные элементы получают вновь питание.

Температура под брудером поддерживается с точностью ±1°С.

Лампа (6) под зонтом служит для привлечения цыплят, а (5) – сигнализирует о включении нагревательных элементов.(рис 1)

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством брудера БП-I и схемой его автоматического управления. При полной мощности и при «перегорании» одного нагревателя. Рассчитать потребляемые мощности.

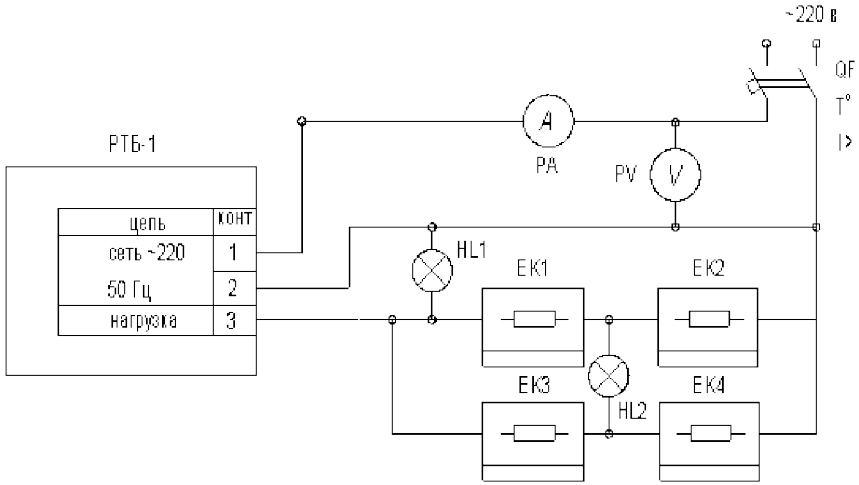

Рис. 13.2. Электрическая схема подключения электробрудера БП-1 к сети.

2. С разрешения преподавателя включить брудер в сеть и записать значения тока и напряжения в таблицу 13.1.

Таблица 13.1

U, (В)	I, (А)	P, (кВт)

3. В таблицу 13.2 занести показания термометров, установленных в разных точках под брудером.

Таблица 13.2

№ п./п	τ, мин	t_1,°C	t_2,°C	t_3,°C	$t_{ср}$,°C
1					
2					
3					
4					
5					

По данным опытов построить график изменения температуры под брудером в разных точках.

Отчет должен содержать

1. Краткое изложение принципа работы.
2. Схему установки и краткое описание ее работы.
3. Технические характеристики брудера и графики температуры. t_1, t_2, t_3 = f (t),

Контрольные вопросы

1. Для каких целей служит зонтичный брудер БП-I ?
2. Как устроен брудер?
3. Как работает схема управления брудером?
4. Какие нагревательные элементы используются в брудерах?

Литература

1. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С.Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

2. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

3. Живописцев Е.Н. Электротехнология и электрическое освещение. М. ВО «Агропромиз дат», 1990.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

а) основная литература

1. Амерханов Р.А. и др. «Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем», М., Энергоатомиздат. 2008 г.

2. Баранов Л.А. «Светотехника и электротехнология». М., «Колос», 2008 г.

3. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. М. Юденич. – 2-е изд., испр. и доп. –Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 104 с.

4. Бароев Т.Р., Кабалоев Т.Х. и др. «Электрифицированные системы обеспечения оптимальных параметров среды животноводческих помещений». Владикавказ. Изд. «Горский госагроуниверситет», 2015 г.

5. Юдаев И.В., Живописцев Е.Н. «Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов». С.Пб. Изд. «Лань», 2018 г.

6. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: Учеб. пособие для энергомашиностроит. спец. вузов/ В.Н.Афанасьев и др.; Под ред. В.И.Крутова, Е.И.Шишова. – М.: Высшая школа, 1988. – 216 с.

б) дополнительная литература

7. Карасенко В.А. и др. «Электротехнология». М., Колос, 1992 г.

8. Живописцев Е.Н. «Электротехнология и электрическое освещение», М., Колосс, 1990 г.

9. Сарапулов Ф.Н. Введение в специальность «Электротехнологические установки и системы», Екатеринобург, 1997 г. Электронная книга.

10. Свенчанский А.Д. «Электрические печи сопротивления», М., Энергия 1975 г.

11. Электротехнический справочник, т. 4. Использование электрической энергии. М., издательство МЭИ, 2004 г.

12. Кудрявцев И.Ф. Электронагрев и электротехнология. М. «Колос», 1975.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3
Правила выполнения лабораторной работы и организация работы студента в лаборатории 3
Лабораторная работа № 1. Тема: Техника безопасности при проведении лабораторных занятий по электротехнологическому оборудованию 8
Лабораторная работа № 2. Тема: Определение удельного сопротивления воды 11
Лабораторная работа № 3. Тема: Исследование установки прямого нагрева сопротивлением (электродный нагрев) 14
Лабораторная работа № 4. Тема: Исследование установки косвенного нагрева сопротивлением 24
Лабораторная работа №5. Тема: Изучение условий работы ТЭНов 32
Лабораторная работа № 6. Тема: Исследование электрокалориферной установки сфоц-60/0,4 на макете установки 38
Лабораторная работа № 7. Тема: Исследование открытых электрических нагревателей 46
Лабораторная работа № 8. Тема: Изучение элементного электроводонагревателя аккумуляционного типа-УАП 50
Лабораторная работа № 9. Тема: Изучение конструкции и схемы управления проточного водонагревателя ЭПВ-2а 57
Лабораторная работа № 10. Тема: Изучение констркции и схемы управления электродного водонагревателя 62
Лабораторная работа № 11. Тема: Электротерморадиационная сушка зерна 69

Лабораторная работа № 12. Тема: Изучение и исследование режимов работы электроизгороди 74
Лабораторная работа № 13. Тема: Изучение режимов работы электробрудера БП-IА 80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 85

ббб ббб

АЛАГОВ А.С.

ЭЛЕКТРОНАГРЕВ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ
для студентов бакалавриата по направлению
подготовки 35.03.06 – «Агроинженерия»

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Подписано в печать 09.02.2022 г. Бумага писчая. Печать трафаретная.
Бумага 60x84 1/16. Усл. печ. л. 5,5. Тираж 30. Заказ 12.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.
Типография ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет»