

**А.А. Лысаков**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ**

Методические указания для выполнения курсовой работы

Ставрополь  
2018

УДК 621.3

**Электротехнология:** методические указания для выполнения курсовой работы. Учебное пособие / А.А. Лысаков. – Ставрополь, 2018. – 40 с.

Методические указания и задания для выполнения курсовой работы содержат указания по оформлению курсовой работы, сведения о составе и структуре работы. Подробно рассмотрены в виде примеров порядок расчета и проектирования электротехнологических установок: теплотехнический расчет, электротехнический расчет, разработка схемы автоматического управления, выбор аппаратуры управления, выбор марки и тип кабеля, техникоэкономический расчет.

Предназначены для студентов обучающихся по направлениям подготовки: 35.03.06 – Агроинженерия профиль – «Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль – «Электроснабжение»

© А.А.Лысаков, 2018

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является:

- закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами во время изучения курсов «Электротехнология»;
- развитие навыков самостоятельного решения конкретных инженерных задач по применению электронагрева и электротехнологии в процессах сельскохозяйственного производства;
- подготовка к выполнению более сложной инженерной задачи дипломного проектирования.

На основе новейших достижений науки и техники в области сельскохозяйственного нагрева и электротехнологии необходимо разработать наиболее прогрессивные решения каждой части и всей работы в целом. При этом решения, принятые в работе, должны не только удовлетворять современным технологическим требованиям, но и характеризоваться наибольшей экономической эффективностью. В работе нужно использовать новейшее электротермическое оборудование сельскохозяйственного назначения, современные способы управления, автоматического регулирования с применением современных бесконтактных и логических средств автоматики.

Для выполнения курсовой работы используются лекции по дисциплине, учебные пособия, справочная литература, руководящие материалы по проектированию, а также другая научно-техническая литература.

**Выполненная курсовая работа должна продемонстрировать знания студента:**

- современного состояния и перспектив применения электронагрева и электротехнологии в сельскохозяйственном производстве;
- устройства, работы, технические данные, способы управления и автоматизации современного электротехнологического и электротехнического оборудования;

-основных правил обслуживания и техники безопасности при эксплуатации оборудования;

**Выполненная курсовая работа должна продемонстрировать умение студента:**

-обосновать технико-экономическими расчётами применение электронагрева и электротехнологии в технологических процессах сельского хозяйства;

-производить расчёт и проектирование устройств электронагрева и электротехнологии;

-проектировать способы управления и автоматизации установок.

## 2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из расчётно-пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка относится к текстовым документам и должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.106-96, ГОСТ 7.32-2001.

Пояснительная записка включает расчёты, обоснования, таблицы, поясняющие схемы, эскизы и графики, а также описания установок, оборудования и аппаратуры, необходимые технические данные. Записка пишется сначала в черновике, а после согласования с руководителем переписывается начисто. Допускается как пояснительная записка, выполненная в рукописном варианте, так и выполненная с применением компьютерных печатных средств.

Пояснительная записка должна быть изложена кратко, грамотно, литературным языком. Она пишется чернилами на одной стороне стандартного листа (А4) соблюдая следующие размеры полей: правое – 10 мм, верхнее, нижнее – 20 мм, левое – 25 мм. При использовании формул и выполнении расчётов обязательно указывать значения и размерности всех применяемых величин и буквенных обозначений

согласно соответствующим ГОСТам. Каждая формула, приводимая для расчёта, должна иметь цифровое решение. Величины, полученные расчётами, округляют до ближайших, принятых ГОСТ, или до величин, удобных по технологическим или конструктивным соображениям.

Расчёты выполняются в международной системе единиц СИ. Формулы, коэффициенты, нормативные величины должны сопровождаться ссылкой на литературный источник при помощи цифр в косых скобках, например - /1/; /3, с.12/; формула (2); рисунок (3) - соответствующих нумерации списка использованной литературы, приводимого в конце записки. Рисунки и таблицы должны иметь порядковый номер и подписи. По каждому рисунку и таблице должна быть ссылка в тексте. Новый раздел пояснительной записки должен начинаться с новой страницы. Общий объем расчетно-пояснительной записки должен составлять 25-30 страниц.

Готовая записка сброшюровывается с обложкой из плотной чертежной бумаги; допускается использовать скоросшиватели из плотного картона. Надпись на обложке должна быть выполнена чертежным шрифтом в соответствии с ГОСТ. После титульного листа должно следовать задание на курсовую работу, затем текст записки. Страницы нумеруются внизу посередине. В конце записки помещается список использованной литературы и оглавление. Расстояние между заголовком и текстом при рукописном способе оформления пояснительной записки должно составлять 15 мм, при компьютерном наборе – 2 интервала; расстояние между строками 8...10 мм (полуторный интервал при компьютерном варианте); размер шрифта при рукописном способе не менее 2,5 мм (при компьютерном варианте Times New Roman 14).

Графическая часть выполняется карандашом со строгим соблюдением ГОСТов на выполнение чертёжных работ и принятые условные обозначения электрических схем. Лист должен иметь основную надпись в соответствии с ГОСТом и подписи студента и руководителя. Заполнение листа должно составлять не менее 95%.

Допускается использование компьютерных средств автоматизированного проектирования. На одном листе формата А1 располагаются: план помещения с нанесением оборудования, электрическая схема управления и автоматики, сводная таблица электропроводок и электрооборудования, эскиз электронагревателя, причем на плане тонкими линиями показывают предельно упрощенную строительную часть здания, а элементы электрических сетей и электротехнологического оборудования выделяют более толстыми линиями. Все элементы принципиальных схем изображают в виде условных графических обозначений в соответствии с ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.710-81.

Более подробно правила оформления расчетно-пояснительной записки и графической части представлены в литературе /1/.

### 3 СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В соответствии с планом, указанным в задании на курсовую работу (приложение П1) должны быть рассмотрены следующие пункты:

1. Введение. Излагаются основные направления сельской электрификации с целью дальнейшего повышения электровооружённости тепловых процессов и разработки новых электротехнологий (1-2 страницы).

2. Краткая характеристика объекта проектирования (2-3 страницы) включает в себя:

а) назначение технологического помещения, где предусматривается общее электроотопление, электрообогреваемые полы или электронагревательная установка для подогрева воды, запаривания кормов и т.д.;

б) конструктивные особенности помещения;

в) требования к температурно-влажностному режиму (обосновывается со ссылкой на справочную литературу или

руководящие указания по проектированию): температура, влажность воздуха, удельная теплоёмкость нагреваемого материала, коэффициенты теплоотдачи и т.д.

3. При обосновании способа обогрева и выбора типового проекта электронагревательной установки (2-3 страницы) необходимо, во-первых, отметить недостатки традиционных нагревательных установок и преимущества электрических. Затем перечислить возможные для данных условий электрические способы нагрева с указанием их преимуществ и недостатков и, наконец, выбрать наиболее рациональный способ электронагрева. Например, для отопления помещения можно предложить центральную электродную, электрокалориферное отопление, электрообогреваемые полы, установки инфракрасного обогрева; для обогрева теплиц возможен электродный обогрев почвы, элементный обогрев воздуха и почвы, воздушное отопление от электрокалориферов, установки ИК обогрева; для нагрева воды пригодны электродные, элементные, индукционные нагреватели.

4. Теплотехнический расчет (4-5 страниц) производится с целью определения мощности электронагревательной установки, её теплового к.п.д. и оптимальных геометрических размеров, а также наиболее выгодной толщины тепловой изоляции.

5. Расчет электронагревательной установки (4-5 страниц). Заключается в электрическом расчете нагревателей, который включает в себя выбор напряжения питания, разработка схемы соединения, определение геометрических размеров рабочих сопротивлений. По окончании расчета следует принять стандартную электротехнологическую установку.

6. Выбор электрооборудования, аппаратов управления и защиты, марок и сечений проводов и кабелей (2-3 страницы). В этом разделе обосновывается выбор рубильников, автоматических выключателей, плавких предохранителей, магнитных пускателей, тепловых реле, применяемых для управления выбранной электротехнологической установкой. В настоящей курсовой работе задача выбора проводов и

кабелей решается в неполном объеме: она сводится к выбору площади сечения только по условию допустимого нагрева и по условию его механической прочности. Таблица допустимых длительных токов для различных проводов и кабелей в зависимости от их площади сечения и условий прокладки приведены в ПУЭ. Там же приведены наименьшие (по условиям механической прочности) сечения токопроводящих жил проводов и кабелей в электропроводках. Выбор проводов осуществляется только для силовой части схемы: для каждой секции электрокалорифера, для электродвигателя вентилятора, одной фазы электронагревательной установки, а так же для общей магистрали и ввода в помещения (при наличии нескольких электронагревательных установок).

7. Разработка схемы автоматического управления (4-5 страниц). Принципиальная электрическая схема управления электротехнологической установки, разрабатываемая студентом в курсовой работе, должна включать в себя базовую часть и усовершенствование. В пояснительной записке дают описание работы схемы управления.

8. Краткий технико-экономический расчет (3-4 страницы). При технико-экономическом обосновании эффективности разработанной электро-технологической установки определяют приведенные затраты и сравнивают их с приведенными затратами на содержание установки, работающей на другом виде топлива. Критерием экономической эффективности является минимум приведенных затрат.

9. Мероприятия по технике безопасности (1-2 страницы). В этом разделе должны быть изложены основные положения по эксплуатации выбранного электротехнологического оборудования, и обеспечению безопасности при работе электрооборудования.

10. Вопросы энергосбережения (1-2 страницы). Указываются основные пункты по экономии и рациональному расходованию электрической энергии при разработке электротехнологической установки.

11.Список использованной литературы (1 страница). Должен содержать 10-15 источников. В пояснительной записке оформляется как «Список литературы».

12.Оглавление (1 страница). В пояснительной записке оформляется как «Содержание»

## 4 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Теплотехнический расчет основан на решении уравнения теплового баланса электротермического процесса с использованием теории теплопередачи.

Уравнение теплового баланса в универсальной форме имеет вид

$$P d\tau = m \cdot c \cdot dt + k \cdot F \cdot (t - t_0) d\tau, \quad (4.1)$$

где  $P$  – мощность, Вт;

$d\tau$  - время нагрева, с;

$m$ - масса нагреваемого материала, кг;

$c$ - удельная теплоемкость нагреваемого материала, кДж/(кг·°С);

$dt$ - изменение температуры во время нагрева, °С;

$k$ - коэффициент теплоотдачи в окружающую среду, Вт/м<sup>2</sup>°С;

$F$ - площадь теплоотдающей поверхности, м<sup>2</sup>

$t$ - конечная или текущая температура нагрева материала, °С;

$t_0$ - начальная температура нагрева или температура окружающей среды, °С.

Полезная мощность электронагревательной установки (ЭНУ):

$$P_{\text{пол}} = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau_k} = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \text{ Вт} \quad (4.2)$$

где  $m$  – масса нагреваемого материала, кг,;

$c$  - теплоёмкость, Дж/кг·°С, нагреваемого материала;

$t_1, t_2$  – начальная и конечная температуры нагрева, °С;

$\tau_k$  – время нагрева, с;

$G = \frac{m}{\tau_k}$  - производительность установки, кг/с.

Расчётная мощность ЭНУ:

$$P_p = \frac{P_{пол}}{\eta}, Вт \quad (4.3)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий потери в электрических и технологических элементах установки. Для электрических водонагревателей-термосов  $\eta=0,85\dots0,95$ , принимаем  $\eta=0,95$ .

Ориентировочные значения теплового КПД для некоторых электронагревательных установок сельскохозяйственного применения:

- электрические водонагреватели-термосы – 0,85...0,95;
- проточные элементные водонагреватели – 0,95...0,98;
- электродные водогрейные и паровые котлы – 0,70...0,96;
- электрические калориферы – 0,85...1,0.

Установленная мощность ЭНУ:

$$P_y = k_3 \cdot P_p, Вт \quad (4.4)$$

где  $k_3=1,1\dots1,3$  – коэффициент запаса, учитывающий необходимость увеличения мощности из-за старения нагревателей, возможное снижение питающего напряжения, увеличения потерь в процессе эксплуатации:  $k_3=1,1\dots1,3$ .

**Пример.** Полезная мощность печи в горячем состоянии 25 кВт. Ее форма кубическая. Температура внутренней поверхности печи  $t_{в} = 180^{\circ}C$ , наружной  $t_{нар} = 40^{\circ}C$ . Внутренние размеры печи  $0,8 \times 0,8 \times 0,8$  м. Теплоизоляция состоит из слоя шамота толщиной  $\sigma_{ш} = 0,1$  м и слоя вермикулита. Определить температуру на границе слоев изоляции и толщину слоя вермикулита, при которой тепловой к.п.д. горячей печи будет равен 95%.

Мощность потерь

$$P_{пот} = \frac{P_{пол}}{\eta} - P_{пол} = \frac{25}{0,95} - 25 = 1,32 кВт \quad (4.5)$$

Примем ориентировочно температуру на границе слоев изоляции  $150^{\circ}C$ . Тогда средняя температура шамота:

$$\theta_{ш ср} = 180 + 150 / 2 = 255^{\circ} C.$$

Теплопроводность шамота при температуре 450°С

$$\lambda_{ш} = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot \theta = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 255 = 0,863 \frac{Вт}{(м \cdot ^\circ С)}. \quad (4.6)$$

Площадь внутренней поверхности слоя шамота:

$$A_{швн} = 6 \cdot 0,8^2 = 3,84 м^2.$$

Площадь наружной поверхности слоя шамота:

$$A_{шнар} = 6(0,8 + 2\sigma_{ш})^2 = 6(0,8 + 2 \cdot 0,1)^2 = 6 м^2. \quad (4.7)$$

Расчетная площадь слоя шамота:

$$A_{шрасч} = \sqrt{A_{швн} A_{шнар}} = \sqrt{3,84 \cdot 6} = 4,8 м^2. \quad (4.8)$$

Термическое сопротивление слоя шамота:

$$R_{тш} = \frac{\sigma_{ш}}{\lambda_{ш} A_{шрасч}} = \frac{0,1}{0,863 \cdot 4,8} = 0,025 \frac{^\circ С}{Вт}. \quad (4.9)$$

Температура на границе слоев изоляции:

$$\theta_{срсл} = \theta_{вн} - P_{пот} R_{тш} = 180 - 1,32 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 147^\circ С. \quad (4.10)$$

Температура, полученная на границе слоев, совпадает с температурой, принятой в начале расчета, поэтому пересчет не требуется.

Необходимое термическое сопротивление слоя вермикулита определяем из выражения для мощности, Вт, потерь

$$P_{пот} = \frac{(\theta_{вн} - \theta_{нар}) \cdot 10^{-3}}{R_{тш} + R_{тв}}; \quad (4.11)$$

$$R_{тв} = \frac{(\theta_{вн} - \theta_{нар}) \cdot 10^{-3}}{P_{пот}} - R_{тш} = \frac{(180 - 40) \cdot 10^{-3}}{1,32} - 0,025 = 0,081 \frac{^\circ С}{Вт}. \quad (4.12)$$

Средняя температура вермикулита:

$$\theta_{ср} = \frac{(147 + 40)}{2} = 93^\circ С.$$

Теплопроводность вермикулита при температуре 103°С

$$\lambda_{в} = 0,08 + 0,23 \cdot 10^{-3} \theta = 0,08 + 0,23 \cdot 10^{-3} \cdot 93 = 0,102 \frac{^\circ С}{Вт}. \quad (4.13)$$

Необходимую толщину слоя вермикулита рассчитываем методом последовательных приближений. Для этого принимаем определенную толщину слоя, находим его термическое

сопротивление и сравниваем с вычисленным ранее значением

$$R_{тв} = 0,081 \frac{^{\circ}C}{Вт}.$$

Принимаем толщину слоя вермикулита  $\sigma_{\epsilon} = 0,07 м$ .

Площадь внутренней поверхности слоя вермикулита  $A_{ввн}$  равна площади наружной поверхности слоя шамота  $A_{шнар} = 6 м^2$ .

Площадь наружной поверхности слоя вермикулита при  $\sigma_{\epsilon} = 0,07 м$ .

$$A_{внар} = 6(1 + 2\sigma_{ш} + 2\sigma_{\epsilon})^2 = 6(0,8 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,07)^2 = 7,8 м^2. \quad (4.14)$$

Расчетная площадь поверхности слоя вермикулита

$$A_{врасч} = \sqrt{A_{ввн} A_{внар}} = \sqrt{6 \cdot 7,8} = 6,84 м^2. \quad (4.15)$$

Термическое сопротивление слоя вермикулита  $\sigma_{\epsilon} = 0,07 м$ .

$$R_{тв} = \frac{\sigma_{\epsilon}}{\lambda_{\epsilon} A_{врасч}} = \frac{0,07}{0,102 \cdot 6,84} = 0,1 \frac{^{\circ}C}{Вт}. \quad (4.16)$$

Так как термическое сопротивление оказалось больше необходимого, то уменьшим толщину слоя вермикулита до 0,04 м и повторим расчет. Площадь наружной поверхности слоя вермикулита при  $\sigma_{\epsilon} = 0,05 м$ .

$$A_{внар} = 6(1 + 2\sigma_{ш} + 2\sigma_{\epsilon})^2 = 6(0,8 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,05)^2 = 7,26 м^2.$$

Расчетная площадь поверхности слоя вермикулита

$$A_{врасч} = \sqrt{A_{ввн} A_{внар}} = \sqrt{6 \cdot 7,26} = 6,6 м^2.$$

Термическое сопротивление слоя вермикулита при  $\sigma_{\epsilon} = 0,04 м$ .

$$R_{тв} = \frac{\sigma_{\epsilon}}{\lambda_{\epsilon} A_{врасч}} = \frac{0,05}{0,102 \cdot 6,6} = 0,074 \frac{^{\circ}C}{Вт}.$$

На этом расчет можно закончить и принять  $a_{\epsilon} = 0,05 м$ , так как в данном случае расчетное значение  $R_{тв} = 0,074 \frac{^{\circ}C}{Вт}$  близко к

необходимому  $R_{тв} = 0,081 \frac{^{\circ}C}{Вт}$ .

Более подробно теплотехнический расчет для различных электротехнологических установок представлен в /3, 7-10, 20-23/.

## 5 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Нагреватели рассчитывают по удельной поверхностной мощности (удельному поверхностному тепловому потоку) или по рабочему току.

Расчет по удельной поверхностной мощности основан на совместном решении уравнений:

$$P = p_{уд} A = p_{уд} \Pi \ell, \quad (5.1)$$

$$P = \frac{U_{\Phi}^2}{R_{\Phi}} = \frac{U_{\Phi}^2 S}{\rho_t \ell}, \quad (5.2)$$

где  $P$  - мощность нагревателя, Вт;

$p_{уд}$  - удельная поверхностная мощность нагревателя, Вт/м<sup>2</sup>;

$A$  - площадь поверхности нагревателя, м<sup>2</sup>;

$\Pi$  - периметр сечения нагревателя, м;

$\ell$  - длина нагревателя, м;

$U_{\Phi}$  - фазное напряжение, В;

$R_{\Phi}$  - электрическое сопротивление нагревателя, Ом;

$S$  - площадь сечения нагревателя, м<sup>2</sup>;

$\rho_t$  - удельное электрическое сопротивление нагревателя, Ом·м при температуре  $t$ .

Диаметр и длина нагревателя, м, определяются по формулам

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_t P^2}{\pi^2 U_{\Phi}^2 p_{уд}}}, \quad \ell = \sqrt[3]{\frac{P U_{\Phi}^2}{4\pi\rho_t p_{уд}^2}}. \quad (5.3-5.4)$$

При передачи теплового потока излучением предельно допустимая удельная поверхностная мощность, Вт/м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$p_{уд,ид} = c_{пр} \left[ \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{HT}}{100} \right)^4 \right], \quad (5.5)$$

где  $c_{пр}$  - приведенный коэффициент излучения идеального нагревателя, Вт/м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>;

$T_H$  - температура нагревателя, К;

$T_{HT}$  - температура нагреваемого материала, К.

Приведенный коэффициент излучения идеального нагревателя определяется по формуле

$$c_{np} = 5,7 \left[ \frac{1}{\varepsilon_{HT}} + \frac{A_{HT}}{A_{CT}} \left( \frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right) \right], \quad (5.6)$$

где  $\varepsilon_H$  - относительный коэффициент излучения (степень черноты) нагревателя;

$\varepsilon_{HT}$  - относительный коэффициент излучения (степень черноты) нагреваемого материала.

Предельно допустимая удельная поверхностная мощность реального нагревателя определяется по формуле

$$P_{уд} = P_{уд_{ид}} \alpha_{\varepsilon\Phi} \alpha_{ш} \alpha_C \alpha_P \quad (5.7)$$

Коэффициент  $\alpha_{\varepsilon\Phi}$  характеризует эффективность излучения системы нагревателя. Для проволочной спирали, размещенной на полочке или керамической трубке  $\alpha_{\varepsilon\Phi}=0,32$ . Коэффициент шага  $\alpha_{ш}$  учитывает зависимость  $P_{уд}$  от относительного виткового расстояния  $h/d$  (по графикам). Коэффициент  $\alpha_C$  определяет влияние на  $P_{уд}$  приведенного коэффициента излучения (степень черноты) реального нагревателя (по графикам).

Коэффициент излучения (степень черноты) реального нагревателя определяется по формуле

$$c_{np} = 5,7 \left[ \frac{1}{\varepsilon_{HT}} + \frac{A_{HT}}{A_{CT}} \left( \frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right) \right], \quad (5.8)$$

где  $A_{HT}$  - площадь тепловоспринимающей поверхности нагреваемого тела,  $m^2$ ;

$A_{CT}$  - площадь поверхности стен установки, занятых нагревателями,  $m^2$ .

Коэффициент  $\alpha_P$  учитывает влияние относительных размеров нагреваемого тела на  $P_{уд}$  и зависит от отношения  $A_{HT}/A_{CT}$  (принимают по справочным данным; при  $A_{HT}/A_{CT} > 0,8$   $\alpha_P = 1$ ; при  $A_{HT}/A_{CT} < 0,3$  поправки  $\alpha_P$  и  $\alpha_C$  не вводят).

Геометрические размеры спирали: а) шаг витков  $h=(3,2...4,8)d$ ; б) диаметр спирали  $D=(6...10)d$ ; в) число витков  $w=1/(h^2+(\pi D)^2)^{0,5}$ ; г) длина спирали  $L=hw$ .

Порядок расчета по рабочему току

1. Определяют рабочий ток нагревателя:

$$I_P = \frac{P}{mnU_\phi}, \quad (5.9)$$

где  $P$  – мощность установки, кВт;  $m$  – число фаз;  $n$  – число параллельных спиралей на одну фазу.

Установившуюся температуру нагревателя принимают из следующих условий:

$$\begin{aligned} t_{уст} &\leq t_{доп} \\ t_{уст} &= t_{раб} + \Delta t, \end{aligned} \quad (5.10)$$

где  $t_{доп}$  – допустимая рабочая температура материала нагревателя, °С,

$t_{раб}$  – рабочая температура установки, °С,

$\Delta t$  – превышение температуры нагревателя над температурой нагреваемого материала, °С.

По известным значениям  $t_{уст}$  и  $I_P$  определяют из справочных данных диаметр проволоки нагревателя.

Длина проволоки нагревателя определяется по следующему выражению:

$$\ell = \frac{RS}{\rho} = \frac{\pi d^2 U_\phi}{4\rho_t I_P} \quad (5.11)$$

Если конструкция или условия работы нагревателя не соответствуют табличным, то нагревательные элементы рассчитывают по условной (расчетной температуре).

$$t_{всл} = t_{уст} k_M k_C. \quad (5.12)$$

Геометрические размеры спирали определяются по ранее приведенным отношениям.

**Пример.** Рассчитать нагревательные элементы камеры мощностью 15 кВт для сушки электродвигателей после ремонта. Нагреватели – проволочная спираль из сплава Х20Н80; относительный коэффициент излучения нагревателя  $\epsilon_{нт}=0,65$ , относительный коэффициент излучения нагреваемого тела  $\epsilon_n = 0,75$ ,

Отношение площади тепловоспринимающей поверхности электродвигателей к площади поверхности стен камеры, занятой нагревателями,  $A_{nm}/A_{cm} = 0,9$ . Напряжение сети 380/220 В.

Приведенный коэффициент излучения системы нагреватель – нагреваемый материал  $c_{np}$ ,  $Bm/(m^2 \cdot K^2)$  определяется по формуле:

$$c_{np} = 5,7 / \left[ \frac{1}{e_{н.м}} + \frac{A_{н.м}}{A_{с.м}} \left( \frac{1}{e_n} - 1 \right) \right], \quad (5.13)$$

$$c_{np} = 5,7 / \left[ \frac{1}{0,65} + 0,9 \left( \frac{1}{0,75} - 1 \right) \right] = 3,1 Bm / (m^2 \cdot K^2).$$

Температура электродвигателей при сушке:

$$T_{н.м} = 180 + 273 = 453 K.$$

Температуру нагревателей из нихрома Х20Н8О примем  $1000^\circ C$ .

Тогда  $T_n = 1000 + 273 = 1273 K$ .

Удельная поверхностная мощность идеального нагревателя:

$$p_{yд.ид} = c_{np} \left[ \left( \frac{T_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{н.м}}{100} \right)^4 \right], \quad (5.14)$$

$$p_{yд.ид} = 3,1 \left[ \left( \frac{1273}{100} \right)^4 - \left( \frac{453}{100} \right)^4 \right] = 80104 Bm / m^2.$$

Коэффициент эффективности нагревателя, выполненного в виде проволочной спирали,  $\alpha_{эф} = 0,32$ .

Коэффициент шага  $\alpha_{ш} = 1,4$  при  $h/d = 3$

Коэффициент  $\alpha_c = 0,8$  при  $c_{np} = 3,1 Bm/(m^2 \cdot K^2)$ .

Коэффициент  $\alpha_p = 1$  при  $A_{nm}/A_{cm} = 0,9$ .

Удельная поверхностная мощность реального нагревателя, выполненного в виде спирали из нихромовой проволоки:

$$p_{yд} = p_{yд.ид} \cdot \alpha_{эф} \cdot \alpha_{ш} \cdot \alpha_c \cdot \alpha_p, \quad (5.15)$$

$$p_{yд} = 80,104 \cdot 10^3 \cdot 0,32 \cdot 1,4 \cdot 0,8 \cdot 1 = 28,71 Bm / m^2.$$

Мощность одной спирали

$$P_c = \frac{P}{m \cdot n}, \quad (5.16)$$

где  $m$  – число фаз;

$n$  – число параллельных спиралей на фазу.

$$P_c = \frac{25}{3 \cdot 2} = 4,2 \text{ кВт.}$$

Удельное сопротивление нихрома при температуре 1000 °С

$$\rho_{1000} = \rho_{20} [1 + \alpha R(1000 - 20)],$$

$$\rho_{1000} = 1,1 \cdot 10^{-6} [1 + 0,00028R(1000 - 20)] = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

При соединении нагревателей в звезду  $U_\phi = 220 \text{ В}$ .

Диаметр нихромовой проволоки для нагревателей:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_\theta P_c^2}{\pi^2 U_\phi^2 \rho_{y0}}}, \quad (5.17)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,13 \cdot 10^{-6} \cdot (4,2 \cdot 10^3)^2}{3,14^2 \cdot 220^2 \cdot 28,71 \cdot 10^3}} = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Длина проволоки одной спирали:

$$l = \sqrt[3]{\frac{P_c U_\phi^2}{4\pi\rho_\theta \rho_{y0}}}, \quad (5.18)$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 220^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,13 \cdot 10^{-6} \cdot (28,71 \cdot 10^3)^2}} = 25,9 \text{ м.}$$

Шаг спирали

$$h = 4d \quad (5.19)$$

$$h = 4 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} = 3,32 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Диаметр спирали

$$D = 10d, \quad (5.20)$$

$$D = 10 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Число витков спирали:

$$w = \frac{l}{\sqrt{h^2 + (\pi D)^2}} \quad (5.21)$$

$$w = \frac{25,9}{\sqrt{(3,32 \cdot 10^{-3})^2 + (3,14 \cdot 8,3 \cdot 10^{-3})^2}} = 986.$$

Длина одной спирали:

$$L = wh, \quad (5.22)$$

$$L = 986 \cdot 3,32 \cdot 10^{-3} = 3,27 \text{ м.}$$

Порядок электрического расчета со всеми необходимыми справочными материалами представлен в литературе /3, 7-10, 20-23/.

## 6 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ, МАРОК И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

Площади сечений проводов и кабелей внутренних электропроводок выбирают по допустимому нагреву и по допустимым потерям напряжения. Кроме этого, площади сечений проводов и кабелей должны быть не меньше, чем разрешается по условиям механической прочности.

Если площади сечений проводов выбирают по допустимой потере напряжения, то сечение провода определяется по формуле:

$$F = \frac{\sum P \times l}{C \times \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (6.1)$$

где  $P$  - мощность участка, кВт;

$l$  - длина расчетного участка, м;

$C$  – постоянный для данного провода коэффициент;

$\Delta U_{\text{доп}}$  - допустимая потеря напряжения, %.

Предохранители предназначены для защиты групповых сетей и выбираются из условия

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 I_B, I_{\text{доп}} \geq 1,25 I_{\text{ср.э}}, \quad (6.2)$$

где  $I_B$  — номинальный ток плавкой вставки;

$I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток участка;

$I_{\text{ср.э}}$  — ток срабатывания электромагнитного расцепителя.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям:

- по номинальному напряжению автоматического выключателя

$$U_{\text{н.а.}} \geq U_{\text{н.у.}}, \quad (6.3)$$

где  $U_{\text{н.а.}}$ ,  $U_{\text{н.у.}}$  - соответственно номинальные напряжения автомата и электроустановки;

- по номинальному току выключателя

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{н.у.}}, \quad (6.4)$$

где  $I_{н.а.}$ ,  $I_{н.у.}$  - соответственно номинальные токи автомата и электроустановки;

- по номинальному току теплового расцепителя автомата

$$I_{н.р.} \geq k_{н.т.} \cdot I_{р.маx}, \quad (6.5)$$

где  $I_{н.р.}$  - номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{н.э.}$  – ток отсечки электромагнитного расцепителя;

$I_{р.маx}$  – максимальный рабочий ток цепи, защищаемой автоматом;

$$I_{р.маx} = k_i \cdot I_n, \quad (6.6)$$

$k_i$  – кратность пускового тока двигателя;

$k_{н.т.}$  – коэффициент надежности, учитывающий разброс по току срабатывания теплового расцепителя, принимается в пределах 1,1...1,3;

- по току срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя

$$I_{н.э.} \geq k_{н.э.} \cdot I_{н.маx}, \quad (6.7)$$

где  $k_{н.э.}$  – коэффициент надежности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя и пускового тока электродвигателя.

Подробный порядок расчета и выбора электрооборудования, аппаратов управления и защиты, марок и сечений проводов и кабелей представлена в литературе /4, 6, 15-17, 19/.

## 7 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Принципиальная электрическая схема управления электротехнологической установки, разрабатываемая студентом в курсовой работе, должна включать в себя базовую часть и усовершенствование.

**Пример.** В качестве базовой части принимается схема управления электрокалориферной установкой СФОЦ. В курсовой

работе эта схема подвергается усовершенствованию, согласованную с руководителем.

Базовая часть схемы управления электрокалориферной установкой должна обеспечивать:

- а) защиту секций электрокалорифера, электродвигателя вентилятора и схемы управления от токов короткого замыкания;
- б) защиту электродвигателя вентилятора от перегрузки;
- в) ручное и автоматическое регулирование мощности электрокалорифера для поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемом помещении;
- г) блокировку, исключающую подачу напряжения на секции электрокалорифера при выключенном электродвигателе вентилятора;
- д) отключение электрокалорифера при повышении температуры на поверхности ТЭНов выше 180 °С;
- е) световую сигнализацию о подаче напряжения от сети на схему управления; о включение электродвигателя вентилятора и секций электрокалорифера.

Некоторые возможные направления усовершенствования:

- а) замена ступенчатого регулирования мощности электрокалорифера плавным регулированием за счет изменения напряжения, подаваемого на ТЭНы, с помощью тиристорного регулятора;
- б) автоматическое поддержание не только оптимального температурного, но и оптимального влажностного режима в помещении;
- в) применение вместо датчиков температуры воздуха в помещении ДТКБ трехпозиционного терморегулятора ПТР-3 (или другого аналогичного);
- г) сигнализация о перегорании ТЭНов;
- д) сигнализация об отключении электрокалорифера при перегреве ТЭНов.

В качестве базовой части принимается схема управления водонагревателем УАП соответствующей мощности. В курсовой

работе эта схема подвергается усовершенствованию, согласованному с руководителем.

Базовая часть схемы управления электроводонагревателя должна обеспечивать:

- 1.защиту водонагревателя и схемы управления от токов короткого замыкания;
- 2.ручное и автоматическое (в зависимости от температуры воды) управление каждой группой ТЭНов;
- 3.световую сигнализацию о подачи напряжения от сети на схему управления и о включении групп ТЭНов.

Некоторые возможные методы усовершенствования:

- а) блокировка от включения водонагревателя на “сухом ходу” (т.е. без воды);
- б) защита от аварийного превышения температуры в случае отказа основного терморегулятора;
- в) автоматическое включение и отключение электроводонагревателя и сети по заданной программе, учитывающей суточный график нагрузки энергосистемы;
- г) сигнализация о перегорании ТЭНов;
- д) автоматическое поддержание не заданного значения температуры как в стандартной схеме, а температуры в заданном интервале (например, в интервале 80-90 °С).

Схема автоматического управления располагается в графической части работы, описание схема – в расчетно-пояснительной записке.

**Пример.** В силовой части электротехнологической установки произведена замена контактных элементов (контакты электромагнитного пускателя КМ2 на рисунке 1-а) на бесконтактные элементы (симисторы VS8-VS10 на рисунке 1-б).

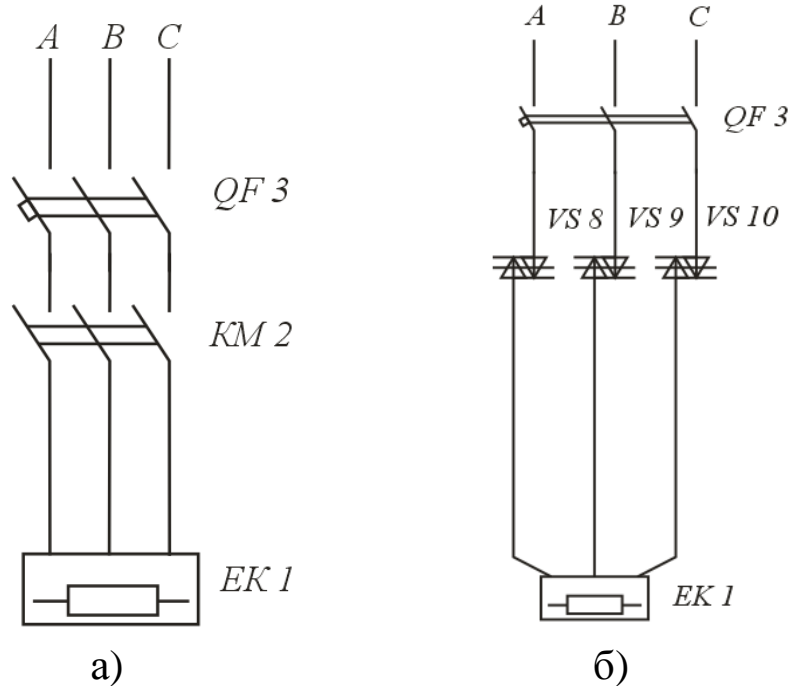


Рисунок 1 – Силовая часть электротехнологической установки:  
 а) базовая схема; б) схема после усовершенствования

Наиболее распространенные схемы автоматического управления электротехнологическими установками содержатся в литературе [2, 4, 5, 10, 15, 17].

### 8 КРАТКИЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

При выборе энергоносителя для теплоснабжения сельскохозяйственных объектов расход первичных ресурсов оценивают по коэффициенту полезного использования (КПИ) топлива

$$\eta = \eta_x \cdot \eta_{TP} \cdot \eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{TC} \cdot \eta_{PEF}, \quad (8.1)$$

где  $\eta_x, \eta_{TP}, \eta_{TC}, \eta_{PEF}$  – коэффициенты, учитывающие потери соответственно при хранении на складе (базе) и у потребителя; транспортировании топлива или распределении электроэнергии по сетям; в тепловых сетях; при регулировании;  $\eta_{\text{Э}}$  – среднегодовой эксплуатационный КПД теплогенерирующих установок (котельных и т. п.).

Приведенные затраты при реализации капиталовложений в течение года, руб/год,

$$Z = E_H \cdot K + I, \quad (8.2)$$

где  $E_H = 0,15 \text{ год}^{-1}$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;  $K$  — удельные капитальные вложения в установки, преобразователи и сети, руб.;  $I$  - годовые эксплуатационные издержки, руб/год.

Приведенные затраты рассчитывают по действующим ценам и тарифам на оборудование, материалы, электроэнергию, топливо (хозяйственная оценка); по замыкающим затратам на тепловую и электрическую энергию у потребителя (народнохозяйственная оценка).

Для систем теплоснабжения суммарные приведенные затраты по выбранному варианту, руб/год,

$$Z = Z_{ТГУ} + Z_{ЭН} - Z_{ТЭ}, \quad (8.3)$$

где  $Z_{ТГУ}$  - приведенные затраты, связанные с сооружением и обслуживанием теплогенерирующих установок (ТГУ), руб/год;  $Z_{ЭН}$  — приведенные затраты на энергоноситель (энергетическая составляющая), в которые входят затраты на добычу (производство), магистральный и распределительный транспорт энергоносителя, а также его хранение, руб/год;  $Z_{ТЭ}$  — стоимостная оценка технологического эффекта, руб/год.

Приведенные затраты на ТГУ, руб/год,

$$Z_{ТГУ} = E_H \cdot K_{ТГУ} + I_{ТГУ} \quad (8.4)$$

Капитальные затраты на ТГУ, руб.,

$$K_{ТГУ} = K_{o.v.o} + K_{mp.x} + K_c + K_m + K_{m.c} + K_{ak}, \quad (8.5)$$

где  $K_{o.v.o}$  — стоимость основного и вспомогательного оборудования, руб.;  $K_{mp.x}$  — расходы на транспортирование и хранение оборудования (около 11 % стоимости основного и вспомогательного оборудования), руб.;  $K_c$  — стоимость строительства, руб.;  $K_m$  - стоимость монтажа оборудования (около 25 % стоимости оборудования), руб.;  $K_{тс}$  - стоимость внешних тепловых

сетей, руб.;  $K_{ак}$  - стоимость аккумулирующих емкостей тепловой энергии при работе оборудования по принудительному графику, руб.

Ежегодные издержки на ТГУ, руб/год,

$$I_{ТГУ} = I_a + I_{м.р} + I_3 + I_{пр}, \quad (8.6)$$

где  $I_a$  — амортизационные отчисления, принимаемые в соответствии с действующими нормами амортизационных отчислений по основным фондам, руб/год;  $I_{т.р}$  — отчисления на текущий ремонт (в среднем 20 % отчислений на амортизацию);  $I_3$  — расходы на зарплату обслуживающего персонала, определяемые в соответствии со штатным расписанием исходя из ставок работников, руб/год;  $I_{пр}$  — общие и прочие расходы на ТГУ и тепловые сети, приближенно принимаемые равными 30 % от ( $I_a + I_{т.р} + I_3$ ).

Таким образом,

$$I_{ТГУ} = 1,56 \cdot I_a + 1,3 \cdot I_3 \quad (8.7)$$

Приведенные затраты на энергоноситель

$$z_{ЭН}^T = z_{yo}^T \cdot B, \quad (8.8)$$

$$z_{ЭН}^Э = z_{yo}^Э \cdot Э, \quad (8.9)$$

где  $z_{yo}^T$  и  $z_{yo}^Э$  - удельные приведенные затраты на соответствующий энергоноситель — топливо, руб/т.у.т., или электроэнергию, руб/кВт·ч;  $B$  и  $Э$  — годовой расход топлива, т.у.т/год, или электроэнергии, кВт·ч/год.

Годовой расход топлива и электроэнергии

$$B = Q / (29,3 \cdot \eta_э \cdot \eta_{ТС} \cdot \eta_{РЕГ}), \quad (8.10)$$

$$Э = Q / (3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \eta_э \cdot \eta_{ТС} \cdot \eta_{РЕГ}), \quad (8.11)$$

где  $Q$  - годовая потребность в теплоте, ГДж/год (29,3 ГДж — тепловой эквивалент 1 т.у.т.;  $3,6 \cdot 10^{-3}$  ГДж - тепловой эквивалент 1 кВт·ч);  $\eta_э$  - среднегодовой эксплуатационный КПД теплогенерирующей установки;  $\eta_{ТС} = 0,85 \dots 0,9$  — коэффициент, учитывающий потери в теплосетях;  $\eta_{РЕГ}$  — коэффициент, учитывающий потери из-за недостаточной точности регулирования подачи теплоты отдельным потребителям.

Удельные приведенные затраты на теплоноситель (твердое топливо) на входе в котельную (теплогенерирующую установку).

$$z_{y0}^T = (z_{зам}^T + (z_{n,mp} + z_{Rmp} \cdot l + z_{xp}) \cdot k_y) \cdot \eta_{m,x}^{-1}, \quad (8.12)$$

где  $z_{зам}^T$  — замыкающие затраты на топливо, руб/т.у.т.;  $z_{n,mp}$  — постоянная составляющая удельных приведенных затрат на транспортирование топлива от центральной топливной базы до теплогенерирующей установки, руб/т;  $z_{Rmp}$  — переменная составляющая удельных приведенных затрат на транспортирование топлива, руб/(т·км);  $l$  - расстояние транспортирования, км;  $z_{xp}$  - затраты на хранение топлива, руб/т;  $k_y$  — коэффициент перевода натурального топлива в условное;  $\eta$  - коэффициент, учитывающий потери топлива при транспортировании и хранении.

Удельные приведенные затраты на электроэнергию, руб/(кВт·ч),

$$z_{y0}^Э = z_{зам}^Э + \sum z_{n,y0}^Э, \quad (8.13)$$

где  $z_{зам}^Э$  - замыкающие затраты на производство и распределение электроэнергии в энергосистеме, руб/кВт·ч;  $\sum z_{n,y0}^Э$  - сумма удельных затрат на передачу электроэнергии по сельским сетям, руб/кВт·ч.

Замыкающие затраты на электроэнергию зависят от годового числа часов, в которые она потребляется максимально:

$$z_{зам}^Э = (a + b/T_M) \cdot 10^{-2}, \quad (8.14)$$

где  $a$  и  $b$  — постоянные, устанавливаемые дифференцированно для разных регионов страны;  $T_M$  — время использования максимальной нагрузки, ч/год.

Удельные затраты на передачу дополнительной энергии для теплоснабжения, руб/(кВт·ч),

$$z_{n,y0}^Э = d \cdot P / \Delta, \quad (8.15)$$

где  $d$  — коэффициент, зависящий от элементов схемы электроснабжения; руб/(кВт·год);  $P$  — номинальная нагрузка системы электротеплоснабжения, кВт.

Технологический (внеэнергетический) эффект

$$z_{m,э} = \Delta m \cdot c, \quad (8.16)$$

или

$$Z_{m,c} = m \cdot \Delta c, \quad (8.17)$$

где  $\Delta m$  - увеличение выхода сельскохозяйственной продукции, кг/год, при неизменной ее стоимости  $c$ , руб/кг;  $\Delta c$  — повышение (благодаря более высокому качеству продукции) ее реализационной стоимости, руб/кг, при неизменном выходе  $m$ , кг/год.

По окончании расчетов все технико-экономические показатели заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели разработки

Техничко-экономический показатель	Значение
-----------------------------------	----------

**Пример.** Рассчитать технико-экономическую эффективность электротеплоснабжения молочной фермы на 400 коров, используя данные примера 8. /7, с. 26/.

Расчет выполним для первого (худшего) варианта при тепловой характеристике помещения 4,7 кВт/°С и поддержании расчетных параметров внутреннего воздуха (температура 10° С, относительная влажность 75 %).

Капитальные вложения в электрокалориферные установки (2СФОЦ-100, СФОЦ-60 и 2СФОЦ-40) с учетом монтажных работ

$$K_{\text{ЭК.У}} = 1,25K_{\text{о.в.о}} = 1,25 \cdot (2 \cdot 1060 + 1 \cdot 815 + 2 \cdot 730) \text{ руб} = 5494 \text{ руб}. \quad (8.18)$$

Амортизационные отчисления на электрокалориферные установки при годовом коэффициенте этих отчислений 0,165

$$I_{\text{а.ЭК.У}} = 0,165 \cdot K_{\text{ЭК.У}} = 0,165 \cdot 5494 = 907 \text{ руб/год}. \quad (8.19)$$

Объем работ по обслуживанию электрокалориферных установок (для обслуживания электрокалорифера мощностью до 40 кВт требуется 1 у.е., свыше 40 кВт- 1,5 у.е)

$$A_{\text{ЭК.У}} = 3 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 = 6,5 \text{ у.е.}$$

Годовой расход на заработную плату обслуживающего персонала при норме 70 у.е. на одного электромонтера и годовом фонде заработной платы 1850 руб/ (год - чел)

$$I_3 = (A_{\text{ЭК.У}} / 70) \cdot 1850 = (6,5 / 70) \cdot 1850 = 172 \text{ руб/год}. \quad (8.20)$$

Суммарные ежегодные издержки на электрокалориферные установки

$$I_{\text{эк.у}} = 1,56 \cdot I_a + 1,3 \cdot I_3 = 1,56 \cdot 907 + 1,3 \cdot 172 = 1639 \text{ руб/год.} \quad (8.21)$$

Приведенные затраты на электрокалориферные установки

$$Z_{\text{эк.у}} = E_n \cdot K_{\text{эк.у}} + I_{\text{эк.у}} = 0,15 \cdot 5494 + 1639 = 2463 \text{ руб/год.} \quad (8.22)$$

Аналогично определены приведенные затраты  $Z_{\text{э.вн}}$ ,  $Z_{\text{а.вн}}$  соответственно на электродные водонагреватели (ЭПЗ-25 и ЭПЗ-60) для отопления родильной с профилакторием и доильно-молочного блока и на аккумуляционные водонагреватели (САОС-400/0,9 и 2САОС-400/0.9) для подогрева воды в родильной и доильно-молочном блоке, которые соответственно равны 921 и 365 руб/год.

Замыкающие затраты на выработку электроэнергии для объединенной энергосистемы Центра при максимальной нагрузке 430 кВт и годовом электропотреблении 205000 кВт·ч.

$$Z_{\text{зам}}^{\text{э}} = (a \cdot \text{Э}_{\text{год}} + b \cdot P) \cdot 10^{-2} = (0,87 \cdot 205000 + 2630 \cdot 430) \cdot 10^{-2} = 13093 \text{ руб/год.} \quad (8.23)$$

Затраты на передачу электроэнергии по сельским электрическим линиям 35 кВ на расстояние 25 км, по линиям 10 кВ - на расстояние 5 км, по линиям 0,4 кВ - на расстояние 0,1 км и трансформаторным подстанциям 35/10 кВ и 10/0,4 кВ.

$$Z_n^{\text{э}} = (d_{35} \cdot l_{35} + d_{10} \cdot l_{10} + d_{0,4} \cdot l_{0,4} + d_{35/10} + d_{10/0,4}) \cdot P = (0,1 \cdot 25 + 0,3 \cdot 5 + 10 \cdot 0,1 + 1,1 + 1,25) \cdot 426,4 = 3135 \text{ руб/год} \quad (8.24)$$

Суммарные приведенные затраты на систему электротеплоснабжения

$$Z = Z_{\text{эк.у}} + Z_{\text{э.вн}} + Z_{\text{а.вн}} + Z_{\text{зам}}^{\text{э}} + Z_{\text{л}}^{\text{э}} = 2463 + 921 + 365 + 13093 + 3135 = 19977 \text{ руб/год.} \quad (8.25)$$

Приведенные затраты на теплоснабжение фермы от котельной, работающей на твердом топливе с двумя котлами "Универсал-6" (в том числе один резервный) тепловой мощностью 1,63 ГДж/ч (450 кВт), составляют 28670 руб/год.

Таким образом, экономически выгодно применять для молочной фермы на 400 коров электротеплоснабжение. Экономический эффект при этом составит

$$28670 - 19977 = 8693 \text{ руб/год.}$$

Подробный расчет технико-экономических показателей электро-технологической установки представлен в литературных источниках /2-4, 7-10, 13/. В курсовой работе допускается производить определение экономических показателей по новым методикам, представленным в /18/.

## 9 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

В этом разделе должны быть изложены основные положения по эксплуатации выбранного электротехнологического оборудования, и обеспечению безопасности при работе электрооборудования. Источником информации для данного раздела является литература /2, 4, 15-17/.

## 10 ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В данном разделе необходимо указать основные направления энергосбережения и экономии электрической энергии, подробно описать общие и специальные методы энергосбережения при эксплуатации электротехнологической установки. Основным источником информации является литература /2, 10, 11, 12, 14/.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Образец задания на выполнение курсовой работы

СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Электроэнергетический факультет

Кафедра «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве»

**ЗАДАНИЕ № \_\_\_\_ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ** по дисциплине  
«ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ»

студенту \_\_\_\_ курса \_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

Тема: \_\_\_\_\_

**Исходные данные**

1. Наименование помещения \_\_\_\_\_

2. Конструктивные особенности \_\_\_\_\_

3. Местонахождение объекта \_\_\_\_\_

**Расчетно-пояснительная записка**

1. Введение.

2. Краткая характеристика объекта (1 стр.).

3. Обоснование способа обогрева и выбор типового проекта (1 стр.).

4. Теплотехнический расчет.

5. Расчет электронагревательной установки.

6. Выбор электрооборудования, аппаратов управления и защиты, марок и сечений проводов и кабелей.

7. Разработка схемы автоматического управления.

8. Краткий технико-экономический расчет.

9. Мероприятия по технике безопасности.

10. Вопросы энергосбережения.

11. Список использованной литературы.

12. Оглавление.

**Графическая часть**

1. План помещения с нанесением оборудования.

2. Электрическая схема управления и автоматики.

3. Сводная таблица электропроводок и электрооборудования.

4. Эскиз электронагревателя.

Руководитель \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Задание получил «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Подпись студента \_\_\_\_\_

Срок защиты курсовой работы «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Приложение 2

**ТЕМАТИКА**

курсовых работ по электротехнологии и энергосбережению

№ варианта	Тема	Фамилия и инициалы студента
1	Электрическое отопление телятника на 640 голов, $t_{вн}=15^{\circ}\text{C}$ , $t_{н}=-18^{\circ}\text{C}$	
2	Приточно-вытяжная установка свинарника-откормочника на 300 голов: $t_{вн}=15^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-18^{\circ}\text{C}$	
3	Обогрев коровника на 400 голов с помощью ПВУ, $t_{вн}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-38^{\circ}\text{C}$ , $V_{уд}=20 \text{ м}^3/\text{гол}$	
4	Электротеплоснабжение молочной фермы на 500 голов, $t_{вн}=12^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-31^{\circ}\text{C}$	
5	Электрокалориферная установка в коровнике на 400 голов, $t_{вн}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-22^{\circ}\text{C}$ , $V_{уд}=17 \text{ м}^3/\text{гол}$	
6	Обогрев коровника на 200 голов с помощью ПВУ, $t_{вн}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-25^{\circ}\text{C}$ , $V_{уд}=25 \text{ м}^3/\text{гол}$	
7	Расчёт элементного ёмкостного водонагревателя в свинарнике на 500 голов, $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=65^{\circ}\text{C}$	
8	Расчёт индукционного проточного водонагревателя в свинарнике на 450 голов, $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=15^{\circ}\text{C}$ , $G=4000 \text{ л/час}$	
9	Расчёт элементного ёмкостного водонагревателя молочно-товарной фермы на 200 голов, $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=89^{\circ}\text{C}$	
10	Расчёт проточного элементного водонагревателя в коровнике на 200 голов, $t_{нач}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=90^{\circ}\text{C}$	
11	Расчёт электродного водонагревателя для отопления в свинарнике-откормочнике на 400	

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

	голов, $t_{нар}=-20^{\circ}\text{C}$ , $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$	
<b>12</b>	Электрокотельная для свиарника на 800 голов, $t_{нар}=-18^{\circ}\text{C}$ , $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$	
<b>13</b>	Расчёт элементного проточного водонагревателя для поения овец: $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=42^{\circ}\text{C}$	
<b>14</b>	Расчёт электродного водонагревателя для отопления свиарника на 600 голов: $t_{нар}=-22^{\circ}\text{C}$ , $t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$	
<b>15</b>	Нагрев воды на технологические нужды для овцекомплекса на 1000 овец: $t_{нач}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=85^{\circ}\text{C}$	
<b>16</b>	Индукционный водонагреватель проточного типа для поения коров на 400 голов: $G=2,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ; $t_{нач}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=80^{\circ}\text{C}$	
<b>17</b>	Расчёт токового индукционного водонагревателя на промышленной частоте для гаража: $m=500 \text{ кг}$ , $t_{нач}=7^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=80^{\circ}\text{C}$	
<b>18</b>	Электродный водонагреватель для отопления свиарника: $V_6=0,5 \text{ м}^3$ , $t_{нар}=-23^{\circ}\text{C}$ , $t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$ , $S_{20}=22 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	
<b>19</b>	Электродный водонагреватель со ступенчатым регулированием мощности: $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=50^{\circ}\text{C}$ , $m=1300 \text{ кг}$	
<b>20</b>	Элементный ёмкостной водонагреватель для технологических нужд в коровнике на 520 голов: $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=95^{\circ}\text{C}$ , $Q_v=0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$	
<b>21</b>	Расчёт электронагревательной установки для птичника: $t_{нач}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=91^{\circ}\text{C}$	
<b>22</b>	Электрообогреваемые полы в свиарнике-маточнике на 50 голов: $t_{вн}=16^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-17^{\circ}\text{C}$ , $V=6060 \text{ м}^3$	
<b>23</b>	Электрообогреваемые полы в телятнике на 600 голов: $V=7920 \text{ м}^3$ , $t_{вн}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=20^{\circ}\text{C}$	
<b>24</b>	Электрообогреваемые полы в свиарнике-	

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

	маточнике на 160 мест: $V_{уд}=12 \text{ м}^3/\text{гол}$ , $t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-18^{\circ}\text{C}$	
<b>25</b>	Электрообогреваемые полы в телятнике на 130 телят: $t_{вн}=15^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-27^{\circ}\text{C}$	
<b>26</b>	Электрообогреваемые полы в телятнике на 250 голов: $t_{пола}=20^{\circ}\text{C}$ , $t_{возд}=9^{\circ}\text{C}$	
<b>27</b>	Расчёт сушильной камеры $t_{вн}=180^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=15^{\circ}\text{C}$ , 16 электродвигателей	
<b>28</b>	Расчёт индуктора для закалки деталей: $D_2=40$ мм, $Q_2=150$ мм, $f=600$ кГц, $U=1200$ В	
<b>29</b>	Расчёт сушильной камеры для сушки электроизоляции $t=200^{\circ}\text{C}$ , $P=25$ кВт	
<b>30</b>	Электрический расчёт сушильной камеры $P=25$ кВт, $t=180^{\circ}\text{C}$	
<b>31</b>	Активное вентилирование зерна в зернохранилище на 120 тонн: $t_{нарп}=50^{\circ}\text{C}$ , $t_{нач}=25^{\circ}\text{C}$	
<b>32</b>	Бытовые электронагревательные приборы: чайник на 10 л: $t_{нач}=7^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=100^{\circ}\text{C}$	
<b>33</b>	Расчёт бытовых электропотребителей: вентилятор $P=0,5$ кВт, чайник $V=0,01 \text{ м}^3$	
<b>34</b>	Электропастеризатор молока индукционного типа: $G=5,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , $t_{нач}=1^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=90^{\circ}\text{C}$	
<b>35</b>	Расчёт пастеризатора молока индукционного типа: $G=4,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , $t_{нач}=20^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=80^{\circ}\text{C}$	
<b>36</b>	Расчёт индукционного пастеризатора молока: $G=3,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , $t_{нач}=12^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=91^{\circ}\text{C}$	
<b>37</b>	Электрообогрев теплицы для выращивания цветов: $t_{нар}=-20^{\circ}\text{C}$ $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$ , $V=3500 \text{ м}^3$	
<b>38</b>	Электрообогрев теплицы для рассады перца: $t_{вн}=30^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-18^{\circ}\text{C}$ , $S=33 \times 9 \text{ м}^2$	
<b>39</b>	Электрообогрев теплицы площадью $350 \text{ м}^2$ : $t_{вн}=27^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-27^{\circ}\text{C}$	
<b>40</b>	Электрообогрев теплицы $t_{вн}=25^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар}=-22^{\circ}\text{C}$ , $S=54 \times 18 \text{ м}^2$	
<b>41</b>	Расчёт нагрева пищевых продуктов на сверхвысокой частоте $t_{нач}=20^{\circ}\text{C}$ , $t_{кон}=85^{\circ}\text{C}$ ,	

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

	$m=3,5$ кг	
<b>42</b>	Аэрозольная обработка птицы $N= 20000$ кур, $Q=5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	
<b>43</b>	Элементный проточный водонагреватель $t_{\text{нач}}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 88^{\circ}\text{C}$ , $m=450$ кг, $\tau= 2,3$ ч	
<b>44</b>	Индукционный проточный водонагреватель: $t_{\text{нач}}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 15^{\circ}\text{C}$ , $G=6,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$	
<b>45</b>	Расчёт индукционного бакового водонагревателя на промышленной частоте: $V_6=250$ л, $T=2,2$ час, $t_{\text{нач}}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 88^{\circ}\text{C}$	
<b>46</b>	Пастеризатор молока на 100 голов: $G=700$ л/час, $t_{\text{нач}}=12^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 85^{\circ}\text{C}$	
<b>47</b>	Электрообработка фуражного зерна: $G_{\text{сух}}=1$ т/час, $t_{\text{нач}}=6^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 80^{\circ}\text{C}$ , $w=14\%$	
<b>48</b>	Электрокалориферная установка для активного вентилирования зерна в зернохранилище на 120 тонн: $t_{\text{нач}}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}=$ $50^{\circ}\text{C}$ , $\tau=12$ часов	
<b>49</b>	Активное вентилирование зернохранилища на 2000 тонн: $t_{\text{вн}}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{нар}}=-20^{\circ}\text{C}$ ,	
<b>50</b>	Расчёт индукционного проточного пастеризатора молока: $G=1400$ л/ч, $t_{\text{нач}}=11^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 92^{\circ}\text{C}$	
<b>51</b>	Расчёт индукционного пастеризатора молока трансформаторного типа: $G=1800$ л/ч, $t_{\text{нач}}=10^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 90^{\circ}\text{C}$	
<b>52</b>	Расчёт элементного водонагревателя для птичника на 30000 голов: $t_{\text{нач}}=5^{\circ}\text{C}$ , $t_{\text{кон}}= 90^{\circ}\text{C}$ норма потребления	

**Приложение 3**

**Образец титульного листа**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Допущен к защите  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Расчетно-пояснительная записка  
курсовой работы  
на тему:

«Расчёт пастеризатора молока индукционного типа»

Выполнил студент

Д.С. Чернов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель  
доцент, к.т.н.

А.А. Лысаков

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ставрополь  
2015

Приложение 4

Образец выполнения графической части курсовой работы

### Электрическая схема управления и автоматики

### Эскиз сушильной камеры

### План помещения с размещением сушильной камеры

### Экспликация помещений

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
1	Участок технического обслуживания и ремонта аппаратуры	1	
2	Пасароб	1	
3	Душевая	1	
4	Уборная	1	
5	Индивидуальный туалет пункт	1	
6	Коридоры	1	
7	Ламбузы	1	

Поз.	Наименование	Примечание
1	Вентилатор	
2	Сеть распределительная	
3	Воздухоочистительный фильтр	
4	Панель управления	
5	Защитная аппаратура температурная	
6	Порозодваз	
7	Датчик температуры	
8	Полка	

Код	Наименование	Кол.	Примечание
A.1	Умк П-2024-003	1	
CP	Автоматический выключатель	1	
FU	Плавкая вставка ВГЕ-413	3	
VB1	Включатель ВГ-132-55-12-3	3	н-50А
K1	Контактор СЧ-1а-0, ВБ-3	1	К-0,04, 125
K1.1	Панель	1	
C.1	Конденсатор КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C.2	Конденсатор КС-3-1-100В	1	0,1мкФ
C3	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C6	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C8	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C8	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C8	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
C8	Семисторная КС-3-5А-100В	1	0,022мкФ
DA1	Микроконтроллер К1570Д2	1	
DA1	Микроконтроллер К1570Д2	1	
DA1	Микроконтроллер К1570Д2	1	
R1	Резистор С2-33-0,5	2	27 Ом
R2	Резистор С2-33-0,5	3	3,3 кОм
R3	Резистор С2-33-0,5	1	300 Ом
RA	Резистор С2-33-0,25	2	1 кОм
RB	Резистор С2-33-0,25	2	360 Ом
R7	Резистор С2-33-0,25	1	47 кОм
R8	Резистор С2-33-0,25	1	10 кОм
RO	Резистор С2-33-0,25	2	100 Ом
R10	Резистор С2-33-0,25	2	35 кОм
R12	Резистор С2-33-0,25	2	100 кОм
R17	Резистор С2-33-0,25	1	100 кОм
R18	Резистор С2-33-0,25	1	33 кОм
R20	Резистор С2-33-0,25	1	20 Ом
R21	Резистор С2-33-0,25	1	100 кОм
VT1	Диод КД243В	1	1 кВ
VD3	Диод КД243В	2	
VD5	Диод КД243В	2	
VD7	Диод КД243В	2	
VT1	Транзистор КТ3102Б	1	
VT3	Транзистор КТ3102В	1	
VT3	Транзистор КТ3102В	1	
KT	Термореле КТ14	1	
K1	Контактор СЧ-1а-0, ВБ-3	1	
A2	Мотор	1	
EK1	Электромагнитная катушка	1	
A21	Датчик температуры ЗРЭ-1342	1	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данный список содержит необходимые литературные источники, применяемые для выполнения курсовой работы.

1. Атанов И.В. Общие требования и правила оформления дипломных проектов (работ): методические указания / Сост. И.В. Атанов, А.В. Нагорный, А.В. Ивашина. - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – 164 с.

2. Бабаханов Ю.М. Оборудование и пути снижения энергопотребления систем микроклимата / Ю.М. Бабаханов, Н.А. Степанова. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 232 с.

3. Басов А.М. Электротехнология / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев, В. Б. Файн. — М.: Агропромиздат, 1985. — 256 с.

4. Болотов А.В. Электротехнологические установки: Учеб. для вузов / А.В. Болотов, Г.А. Шепель. – М.: Высш. шк., 1988. – 336 с.

5. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник – М.: КолосС, 2003. – 344 с.

6. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Н.М. Буль – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.

7. Гайдук В.Н. Практикум по электротехнологии / В.Н. Гайдук, В.Н. Шмигель. – М.: Агропромиздат, 1989. – 175 с.

8. Живописцев Е.Н. Электротехнология и электрическое освещение /Е.Н. Живописцев, О.А. Косицин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.

9. Карасенко В.А. Электрификация тепловых процессов в животноводстве / В.А. Карасенко. – Минск: Ураджай, 1976. – 160 с.

10. Карасенко В.А. Электротехнология / В.А. Карасенко, Е.М. Заяц, А.Н. Баран – М.: Колос, 1992. – 304 с.

11. Кобозев В.А. Энергосбережение в силовом электрооборудовании сельскохозяйственного производства / В.А. Кобозев. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2004. – 280 с.

12. Копытов Ю.В. Экономия электроэнергии в промышленности:

Справочник./ Ю.В. Копылов, Б.А. Чуланов - М.: «Энергоатомиздат», 1982.-109 с.

13. Кудрявцев И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И.Ф. Кудрявцев, В.А. Карасенко. – М.: Колос, 1975. - 384 с.

14. Мелехин В.Т. Энергетический аудит, энергопотребление и энергосбережение / В.Т. Мелехин. – СПб.: ИЭ-Ипк, 2000. – 258 с.

15. Михальчук А.Н. Спутник сельского электрика / А.Н. Михальчук. - М.: Россельхозиздат, 2001. – 350 с.

16. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: Энергосервис, 2001. – 608 с.

17. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства: Учебное пособие / В.М. Баутин, Ю.С. Борисов, Д.С. Буклагин и др. – М.: Информагротех, 1999. – 536 с.

18. Хорольский В.Я. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, Д.В. Петров. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2004. – 168 с.

19. Электроснабжение сельского хозяйства: Методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию / Сост. В.В. Коваленко, А.В. Нагорный, А.В. Ивашина, А.В. Кравцов - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2004. – 100 с.

20. Электротехнологии и энергосбережение в сельском хозяйстве: Методические указания / Сост. М.Я. Ашмарин, А.А. Лысаков. - Ставрополь: АГРУС, 2007. – 40 с.

21. Электротехнология и энергосбережение: Методические указания к лабораторным работам / Сост. М.Я. Ашмарин, С.В. Дорожко, А.А. Лысаков. - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – 52 с.

22. Электротехнология. Ч.2. Электронагрев: Методические указания / Сост. М.Я. Ашмарин, А.А. Лысаков. - Ставрополь: АГРУС, 2007. – 40 с.

23. Электротехнология: Методические указания к лабораторным работам / Сост. М.Я. Ашмарин, С.В. Дорожко, А.А. Лысаков. - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – 48 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
1 Цель и задачи курсовой работы.....	3
2 Общие указания по оформлению курсовой работы.....	4
3 Состав и содержание курсовой работы.....	6
4 Теплотехнический расчет.....	9
5 Расчет электронагревательной установки.....	13
6 Выбор электрооборудования, аппаратов управления и защиты, марок и сечений проводов и кабелей.....	18
7 Разработка схемы автоматического управления.....	19
8 Краткий технико-экономический расчет.....	22
9 Мероприятия по технике безопасности.....	28
10 Вопросы энергосбережения.....	28
Приложение.....	29
Список литературы.....	36
Содержание.....	38