

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**В. Ф. СТОРЧЕВОЙ, Н. Е. КАБДИН,  
Я. С. ЧИСТОВА**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ**

Рекомендовано Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Москва  
2021

УДК 621.3.;629.1.066:371.64/69:374.388  
ББК 39.33;31.26  
С 81

Рецензенты: **Л. Ю. Юферев**, д. т. н., доцент, заведующий отделом Возобновляемой энергетики ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;  
**Д. А. Нормов**, д. т. н., профессор, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

**Сторчевой В. Ф., Кабдин Н. Е., Чистова Я. С.**  
С81 Электротехнологии и электрический нагрев / В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Я. С. Чистова. — М.: ООО «ИКЦ Колос-с», 2021. — 280 с.  
ISBN 978-5-00129-241-8

В учебном пособии представлен материал по теории, проведению лабораторных работ и выполнению практических и контрольных работ для усвоения обучающимися курса «Электротехнология».

Для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения в сельскохозяйственных вузах по специальностям и направлениям: 35.03.06 «Агроинженерия» (профиль «Электрооборудование и электротехнологии»); 13.03.02 — «Электроэнергетика и электротехника» (профили «Электропривод и автоматика», «Электроснабжение»); 13.03.01 — «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Энергообеспечение предприятий»).

УДК 621.3.;629.1.066:371.64/69:374.388  
ББК 39.33;31.26

ISBN 978-5-00129-241-8

© Сторчевой В. Ф., Кабдин Н. Е., Чистова Я. С., 2021  
© ООО «ИКЦ Колос-с», 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<b>Раздел 1. Общие вопросы электротехнологии в сельском хозяйстве .....</b>	<b>6</b>
1.1. Электронно-ионная технология.....	7
1.2. Электротехнология обработки электрическим током .....	20
1.3. Электроимпульсная технология.....	21
1.4. Ультразвуковая электротехнология.....	27
1.5. Электротехнология магнитной обработки.....	31
<b>Раздел 2. Электрический нагрев .....</b>	<b>43</b>
2.1. Основы теории и расчета электронагревательных устройств .....	44
2.2. Способы электронагрева и классификация электронагревательных установок.....	53
2.3. Электронагрев сопротивлением. Прямой нагрев.....	55
2.4. Электродный нагрев.....	64
2.4.1. Электродные нагреватели.....	69
2.5. Электронагрев сопротивлением. Косвенный нагрев .....	73
2.5.1. Материалы для электрических нагревателей .....	80
2.5.2. Тепловой расчет электрических нагревателей.....	82
2.5.3. Электрический расчет нагревателей .....	85
2.5.4. Особенности расчета стальных нагревателей.....	87
2.5.5. Приближенные методы расчета нагревателей.....	89
2.5.6. Трубчатые электронагреватели .....	91
2.5.7. Нагревательные провода и кабели.....	92
2.6. Инфракрасный нагрев. Электрические излучатели .....	95
2.7. Электродуговой нагрев.....	100
2.7.1. Свойства и характеристики электрической дуги .....	100
2.7.2. Параметры источников сварочного тока .....	106
2.8. Индукционный нагрев.....	109
2.8.1. Особенности индукционного нагрева.....	109
2.8.2. Индукторы (индукционные нагреватели).....	110
2.8.3. Энергетические соотношения системы «индуктор — изделие».....	111
2.8.4. Режимы и оптимальная частота высокочастотного индукционного нагрева.....	114
2.9. Диэлектрический нагрев.....	117
2.9.1. Особенности диэлектрического нагрева .....	117

<b>Раздел 3. Расчет электронагревательных установок и устройств .....</b>	<b>120</b>
3.1. Изучение взаимосвязи тепловых и электрических характеристик нагревателей.....	120
Определение мощности и основных конструктивных параметров ЭНУ .....	121
3.2. Расчет тепловой изоляции .....	125
3.3. Тепловой КПД .....	129
3.4. Тепловые расчеты системы нагрева и электронагревательных установок.....	130
3.5. Расчет электродных нагревательных устройств.....	135
3.6. Расчет и выбор электрокалориферной установки.....	139
3.6.1. Расчет системного отопления и вентиляции помещения .....	142
3.6.2. Расчет системной вентиляции.....	143
3.6.3. Расчет системного отопления .....	145
3.6.4. Выбор аппаратурной защиты и управления для электродвигателей вентиляторов.....	153
3.7. Расчет индуктора для высокочастотной заковки деталей .....	155
3.8. Выбор параметров установок и расчет простейших диэлектрических нагревателей .....	157
3.8.1. Практический расчет электрических параметров СВЧ-установки для обеззараживания зерна.....	162
3.8.2. Теоретическое обоснование параметров работы СВЧ-установки .....	167
3.9. Типовые задачи и тесты. ....	173
Тесты по разделу «Косвенный электронагрев сопротивлением. Нагревательные элементы. Требования к материалам и конструкция нагревательных элементов. Трубчатые электрические нагреватели» .....	177
<b>Раздел 4. Лабораторные работы .....</b>	<b>182</b>
Лабораторная работа № 1. Изучение аэроионизаторов, озонаторов, высоковольтных истребителей насекомых.....	182
Лабораторная работа № 2. Исследование электрокалориферной установки типа СФОА.....	183
Лабораторная работа № 3. Исследование работы проточного электронагревателя типа КЭВЗ .....	191
Лабораторная работа № 4. Исследование ультразвуковой установки .....	198
Лабораторная работа № 5. Изучение состава и технических характеристик лабораторного стенда «Электротехнологические установки и системы».....	202
Лабораторная работа № 6. Изучение двухпозиционной системы регулирования температуры в электрической печи .....	213
Лабораторная работа № 7. Изучение системы регулирования температуры в электрической печи по П и ПИД законам .....	219

Лабораторная работа № 8. Изучение принципа действия установок индукционного нагрева.....	224
Лабораторная работа № 9. Изучение влияния материала заготовки на время ее нагрева при одинаковой установленной мощности нагревателя.....	228
Лабораторная работа № 10. Изучение влияния материала заготовки на энергетические процессы нагрева при различной установленной мощности нагревателя.....	232
Лабораторная работа № 11. Определение зависимости эффективности нагрева от перекрытия поля заготовкой в индукторе .....	237
Лабораторная работа № 12. Изучение влияния магнитных материалов на процесс индукционного нагрева .....	241
<b>Раздел 5. Контрольные работы .....</b>	<b>246</b>
Контрольная работа «Определение мощности электрокалорифера и выбор электродвигателя для привода вентилятора» .....	247
Контрольная работа «Расчет электрокалориферной установки для обогрева коровника:.....	247
Контрольная работа «Расчет нагревательного провода обогреваемого пола животноводческого помещения» ...	248
Контрольная работа «Расчет электрообогрева пола в свинарнике-маточнике».....	248
Контрольная работа «Расчет почвенного нагревателя на базе нагревательного провода» .....	249
5.1. Примеры выполнения контрольных заданий по электрификации сельскохозяйственных объектов.....	250
1.1.1. Пример выполнения заданий в цехе по ремонту силовых трансформаторов .....	250
1.1.2. Пример выполнения заданий по определению мощности двигателя кран-балки в цехе по ремонту силовых трансформаторов .....	253
1.1.3. Пример выполнения заданий по освещенности в цехе по ремонту силовых трансформаторов.....	255
Расчет размещения светильников.....	255
Расчет и выбор мощности источника света .....	257
1.1.4. Пример выполнения задания по определению экономической эффективности электрификации цеха по ремонту силовых трансформаторов .....	262
<b>Раздел 6. Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию .....</b>	<b>264</b>
Список литературы.....	266
Приложение .....	268