



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

А. В. Суворин

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Учебное
пособие

УМО

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

А. В. Суворин

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. В. Суворин

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140610 – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», 25.01.2010

Красноярск
СФУ
2011

УДК 621.3(07)
ББК 31.2я73
С891

Рецензенты:

Б. И. Кудрин, д-р техн. наук, проф., ген. директор ООО «Технетика»
(г. Москва);

Я. А. Кунгс, канд. техн. наук, проф., зав. каф. «Системозенергетика»
ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Суворин, А. В.
С891 Электротехнологические установки : учеб. пособие / А. В. Су-
ворин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. – 376 с.
ISBN 978-5-7638-2226-7

Рассмотрено устройство и принцип действия электротехнических устано-
вок, используемых как на промышленных предприятиях, так и в сельском хо-
зяйстве. Особое внимание уделено применению электротехнологического обо-
рудования, обеспечивающего надежное электроснабжение и управление элек-
тротехнологическими процессами.

Предназначено для студентов направления подготовки специалистов
140610.65 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организа-
ций и учреждений» укрупненной группы 140000 «Энергетика».

УДК 621.3(07)
ББК 31.2я73

ISBN 978-5-7638-2226-7

© Сибирский федеральный университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Намеченное Правительством Российской Федерации интенсивное развитие производства страны на 2010–2020 гг. предполагает перевод всех отраслей на прогрессивные технологии, при этом особое внимание уделяется внедрению нанотехнологий. Запланированное повышение производительности труда в 3–4 раза за этот период предусматривает разработку новых технологических процессов и установок с высокой степенью электрификации и автоматизации. Планомерное совершенствование производства электроэнергетических мощностей соответствует современным требованиям сокращения вредных выбросов в окружающую среду и резкого снижения доли углеводородных материалов, используемых в нагревательных процессах.

Данная стратегия определяет последовательное интенсифицирование различных электротехнологий, которые способствуют дальнейшему развитию науки о технологических возможностях электричества. Результатом практического использования этой науки является создание большого разнообразия электротехнологических установок, применяемых в машиностроении, металлургии, химической отрасли, в различных отраслях сельского хозяйства. Кроме этого данная наука позволит обеспечить эффективное применение электроэнергии в преобразовании и получении веществ с новыми физико-механическими свойствами.

Амбициозные планы России по интеграции в мировой технический прогресс выдвинули такие приоритетные направления, как использование электроэнергии для получения и применения низкотемпературной плазмы, для создания электронно-ионной, импульсной и лазерной техники. Успешное решение намеченных задач позволит создать современное поколение высокопроизводительных экологически чистых установок и технологических производств. В настоящее время сельскохозяйственные производства ориентируют свои усилия на применение современных технологий, широко использующих электрическую энергию.

Электротехнологические методы воздействия на обрабатываемые материалы характеризуются высокой эффективностью и универсальностью. Их можно с успехом применять для воздействия на растения, животных и среду их обитания. Так, например, при помощи переменных электромагнитных полей различной частоты можно избирательно

нагревать магнитные и немагнитные материалы, закалять поверхности стальных деталей. Используя электростатическое поле, можно воздействовать на семена растений, улучшая их всхожесть и урожайность.

Специфические особенности электрооборудования электротехнологических установок органически связаны с технологическим процессом. Такое оборудование может создаваться разработчиками и эксплуатироваться потребителями только при глубоком знании и понимании теми и другими физических основ электротехнологии. Эти особенности электротехнологических установок отражены в данном учебном пособии.

Настоящее учебное пособие соответствует требованиям учебной программы дисциплины «Электротехнологические установки» и предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». Данное учебное пособие также может быть использовано в практической работе инженерно-техническим и обслуживающим персоналом, связанным с эксплуатацией различных электротехнологических установок и процессов производства. Кроме этого оно может быть полезно научным работникам и аспирантам, специализирующимся в этой области, а также слушателям курсов повышения квалификации специалистов данного профиля.

Учебное пособие состоит из семи частей, каждая часть включает несколько глав. В конце каждой главы даны примеры решения задач и задачи для самостоятельной работы, а также вопросы для самопроверки.

В первой части пособия изложены теоретические основы электротермических установок, способы получения тепла и использования его в печах сопротивления, при контактной сварке и в установках индукционного и диэлектрического нагрева. Во второй части пособия рассмотрены вопросы, связанные с получением и использованием дугового электрического нагрева в электротехнологических установках: в дуговых электрических печах, плазменных установках, при дуговой сварке. Третья часть посвящена технологическим установкам, использующим электронно-лучевой нагрев и лазерные технологии. Технологии электрохимической и электрофизической обработки рассмотрены в четвертой части пособия. К ним относятся электроэрозионная обработка металлических изделий, электрохимико-механические процессы электротермии. Пятая часть пособия знакомит с электромеханическими технологиями: магнитно-импульсной обработкой металлов, электрогидравлической обработкой материалов, получением и использованием ультразвука. В шес-

той части рассмотрены теоретические основы и особенности электронно-ионных процессов, а также устройство, применение и работа электростатических установок. Седьмая часть посвящена использованию электро-технологии в сельском хозяйстве, а именно в животноводческих и птицеводческих комплексах, а также в сооружениях защищенного грунта.

Автор выражает искреннюю признательность коллективу кафедры «Электроснабжение и электрический транспорт» (ЭСиЭТ) Политехнического института Сибирского федерального университета и заведующему кафедрой ЭСиЭТ доктору технических наук, профессору В. И. Пантелееву, кандидату технических наук, доценту кафедры ЭСиЭТ Г. П. Образцову и инженеру кафедры ЭСиЭТ В. П. Мисюревой за полезные замечания и предложения, сделанные ими в процессе работы над рукописью данного пособия; а также благодарность рецензентам: кандидату технических наук, профессору Я. А. Кунгсу, кандидату технических наук, профессору М. В. Лукьяненко – за ценные советы и замечания при рецензировании учебного пособия.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Часть I. Электротермия	10
Глава 1. Основы теории электротермических установок	10
1.1. Способы преобразования электрической энергии в тепловую	10
1.2. Законы теплопередачи	11
1.3. Материалы, применяемые в электротермических ус- тановках	13
Глава 2. Электронагрев сопротивлением	20
2.1. Электрическое сопротивление и его физическая сущ- ность	20
2.2. Электрическое сопротивление металлических нагре- вательных элементов	21
2.3. Электротермические установки электрообогрева	23
2.4. Электрические печи сопротивления	27
2.5. Электрооборудование печей сопротивления	32
2.6. Электронагрев растворов и расплавов	35
2.7. Нагрев электрошлаковых установок	37
Глава 3. Контактная сварка	46
3.1. Физические процессы при контактной сварке	46
3.2. Стыковая сварка	48
3.3. Точечная сварка	50
3.4. Шовная сварка	53
3.5. Электрооборудование, применяемое при контактной сварке	54
Глава 4. Индукционный и диэлектрический нагрев	64
4.1. Индукционный нагрев	64
4.1.1. Теоретические основы индукционного нагрева	64
4.1.2. Индукционные плавильные установки	67
4.1.3. Индукционные установки для нагрева	78
4.2. Диэлектрический нагрев	83
4.2.1. Теоретические основы диэлектрического нагрева	83
4.2.2. Установки диэлектрического нагрева	87
4.3. Электроснабжение установок индукционного и ди- электрического нагрева	91

Часть II. Установки дугового электрического нагрева	102
Глава 5. Теория дугового разряда	102
5.1. Ионизация газов. Плазма – четвертое физическое состояние вещества.....	102
5.2. Электродуговой разряд.....	104
5.3. Закономерности плазмы электродугового столба	107
5.4. Дуга переменного тока	110
5.5. Регулирование электрической дуги	113
Глава 6. Дуговые электрические печи	121
6.1. Классификация дуговых электрических печей.....	121
6.2. Дуговые печи косвенного и прямого действия.....	121
6.2.1. Дуговые печи косвенного действия.....	121
6.2.2. Дуговые печи прямого действия	123
6.2.3. Электрическая часть дуговых печей косвенного и прямого действия.....	128
6.2.4. Электрические характеристики дуговых печей косвенного и прямого действия.....	133
6.2.5. Электромагнитное перемешивание стали в дуговых печах	135
6.2.6. Электроснабжение дуговых печей косвенного и прямого действия.....	137
6.3. Дуговые печи сопротивления: рудно-термические печи	138
6.4. Вакуумные дуговые печи	146
6.4.1. Дуговой разряд в вакуумных дуговых печах.....	148
6.4.2. Электрическая часть вакуумных дуговых печей	149
Глава 7. Дуговая электрическая сварка	156
7.1. Теоретические основы дуговой сварки	156
7.2. Источники питания дуговой сварки.....	160
7.3. Особенности ручной дуговой сварки.....	170
7.4. Особенности полуавтоматической и автоматической сварки	171
Глава 8. Плазменные технологии	177
8.1. Получение и применение низкотемпературной плазмы.....	177
8.2. Плавильные установки с применением плазмы	189
8.3. Плазменная резка и сварка металлов	192
8.4. Плазменное нанесение покрытий.....	195
Часть III. Технологии электронно-лучевого нагрева	201
Глава 9. Установки электронно-лучевого нагрева	201
9.1. Теоретические основы электронно-лучевого нагрева ..	201

9.2. Конструктивные особенности электронно-лучевых установок	203
9.3. Применение электронно-лучевого нагрева	208
Глава 10. Оптические квантовые генераторы (лазеры)	217
10.1. Устройство и работа лазерных установок	217
10.2. Типы квантовых генераторов	220
10.3. Технологические основы лазерной обработки	227
Часть IV. Технологии электрохимической и электрофизической обработки	233
Глава 11. Электролизные технологии	233
11.1. Теория электрохимической обработки	233
11.2. Электролиз растворов и расплавов	235
11.3. Электрохимическая обработка изделий	237
11.4. Электроснабжение электрохимических технологий... ..	238
Глава 12. Электроэрозионная обработка металлических изделий	244
12.1. Теория электроэрозионных процессов	244
12.2. Характеристики импульсных разрядов и источников питания	246
12.3. Области применения электроэрозионной обработки	247
12.4. Особенности электроконтактной обработки	249
Глава 13. Электрохимико-механические процессы электролиза	255
13.1. Технология анодно-абразивной обработки	255
13.2. Технология анодно-механической обработки	257
13.3. Технология электрохимической обработки	260
13.4. Технологическое оборудование электрохимико-механической обработки	261
Часть V. Электромеханические технологии	266
Глава 14. Магнитно-импульсная обработка металлов	266
14.1. Теоретические основы магнитно-импульсной обработки	266
14.2. Технологическое оборудование магнитно-импульсной обработки	270
14.3. Особенности устройства электромагнитных насосов	273
Глава 15. Электрогидравлическая обработка материалов	280
15.1. Теория электрогидравлического эффекта	280
15.2. Практическое использование электрического разряда в жидкости	283
Глава 16. Получение и использование ультразвука	288
16.1. Теоретические основы ультразвуковой обработки	288

16.2. Устройство и работа ультразвуковых установок	289
16.3. Технологические особенности применения ультразвука.....	293
Часть VI. Методы использования электрокинетических технологий	300
Глава 17. Теоретические основы электронно-ионных технологий.....	300
17.1. Технологические особенности электронно-ионных процессов	300
17.2. Воздействие электрического поля на заряд частицы, находящейся в нем	302
17.3. Теория поведения заряженных частиц в электрическом поле.....	306
17.4. Адсорбирование частиц в электрическом поле	308
Глава 18. Устройство и работа электростатических установок ..	314
18.1. Устройство и работа электрофильтров.....	314
18.2. Конструктивные особенности питания электрофильтров.....	319
18.3. Применение электростатических технологий в установках различного назначения	322
Часть VII. Электротехнологии в сельском хозяйстве	329
Глава 19. Электротехнологии в животноводческих и птицеводческих комплексах	329
19.1. Определение мощности нагревательной установки ...	329
19.2. Электрокалориферные установки	332
19.3. Установки местного обогрева.....	337
19.4. Эксплуатация электротермического оборудования для создания микроклимата.....	346
Глава 20. Электротехнологии в сооружениях защищенного грунта	351
20.1. Электрический обогрев сооружений защищенного грунта	351
20.2. Электрообогрев почвы и воздуха.....	352
20.3. Правила технической эксплуатации электротермических устройств в теплицах и парниках.....	357
Заключение	362
Библиографический список	363
Приложение	366