

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Т. М. Ткаченко**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве  
учебного пособия для студентов учреждений высшего образования  
по специальностям «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства  
(по направлениям)», «Автоматизация технологических процессов  
и производств (по направлениям)»*

Минск  
БГАТУ  
2022

УДК 621.31(07)  
ББК 31.2я7  
Т48

Рецензенты:

кафедра физики твердого тела Белорусского государственного  
университета  
(доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой *В. В. Углов*);  
кандидат физико-математических наук, главный специалист отдела  
организации исследований и использования результатов  
Белорусского республиканского фонда фундаментальных  
исследований *Т. В. Шёлковая*

**Ткаченко, Т. М.**  
Т48 Электротехнические и конструкционные материалы : учебное  
пособие / Т. М. Ткаченко. – Минск : БГАТУ, 2022. – 212 с.  
ISBN 978-985-25-0184-2.

Содержит краткую теорию курса «Электротехнические и конструкционные материалы». Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» (по направлениям), 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)», а также может быть полезно инженерам-электрикам, занятым эксплуатацией электротехнического оборудования.

УДК 621.31(07)  
ББК 31.2я7

ISBN 978-985-25-0184-2

© БГАТУ, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ .....	8
Свойства материалов .....	8
Способы исследований механических свойств .....	8
Твердость материала .....	13
РАЗДЕЛ 1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	19
1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ .....	19
1.1. Кристаллическое строение металлов и сплавов .....	19
1.2. Основные свойства кристаллов .....	21
1.3. Кристаллизация металлов из расплава .....	23
1.4. Дефекты кристаллических структур .....	24
1.5. Способы улучшения качества металла при выплавке .....	26
1.6. Кривая нагревания – охлаждения чистого металла .....	27
1.7. Сплавы. Виды сплавов .....	28
1.8. Простейшие диаграммы состояний сплавов .....	29
1.9. Способы обработки металлов и сплавов .....	32
1.10. Стали и чугуны .....	34
1.10.1. Стали .....	37
1.10.2. Влияние примесей на свойства сталей .....	37
1.10.3. Классификация сталей .....	38
1.10.4. Чугуны .....	39
1.10.5. Общая классификация чугунов .....	40
1.11. Сплавы цветных металлов .....	41
1.11.1. Сплавы меди .....	41
1.11.2. Сплавы алюминия .....	42
1.11.3. Сплавы титана .....	43
1.11.4. Сплавы цинка .....	43
1.11.5. Сплавы никеля .....	43
1.12. Получение металлических заготовок .....	44
1.12.1. Литье .....	44
1.12.2. Необходимые литейные свойства сплава .....	45
1.12.3. Получение заготовок давлением .....	46
1.12.4. Получение заготовок резанием .....	49
1.12.5. Сварка .....	51
1.13. Защита металлических материалов от коррозии .....	53
1.13.1. Консервационные материалы .....	54
1.13.2. Ингибиторы коррозии .....	55
1.14. Антифрикционные материалы .....	56

1.14.1. Металлические антифрикционные материалы . . . .	58
1.14.2. Неметаллические антифрикционные материалы . . . .	59
2. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	59
2.1. Полимерные материалы. Пластмассы и эластомеры . . . .	60
2.1.1 Пластмассы . . . . .	61
2.1.2. Преимущества пластмасс . . . . .	64
2.1.3. Недостатки пластмасс . . . . .	64
2.1.4. Маркировка пластмасс. . . . .	65
2.1.5. Методы получения заготовок из пластмасс . . . . .	67
2.1.6. Эластомеры . . . . .	68
2.1.7. Основные типы синтетических каучуков . . . . .	68
2.2. Керамические конструкционные материалы . . . . .	69
2.2.1. Достоинства и недостатки керамических материалов . . . . .	70
2.2.2. Техническая керамика . . . . .	72
2.2.3. Применение керамики в электротехнике . . . . .	73
2.3. Неорганическое стекло . . . . .	73
2.3.1. Структура стекла . . . . .	73
2.3.2 Классификация стекол . . . . .	75
2.3.3. Свойства неорганических стекол . . . . .	76
2.3.4. Достоинства и недостатки стекла . . . . .	76
2.3.5. Основные промышленные виды неорганических стекол . . . . .	77
2.3.6. Материалы на основе стекол . . . . .	77
3. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	78
3.1. Основная классификация композитов . . . . .	80
3.2. Металлические композиты . . . . .	82
3.3 Композиционные материалы с неметаллической матрицей . . . . .	83
3.3.1. Полимерные композиционные материалы . . . . .	83
3.3.2. Композиты из полимеров с порошковыми наполнителями . . . . .	84
3.3.3. Текстолиты . . . . .	85
3.3.4. Композиционные материалы на основе керамики . . . .	85
3.4. Нанокompозиты . . . . .	86
3.4.1. Применение и перспективы нанокompозитов . . . . .	88
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	90

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСОБЫХ СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛЯХ . . . . .	90
2 ПОНЯТИЕ О ЗОННОЙ ТЕОРИИ ПРОВОДИМОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ . . . . .	91
3. ДИЭЛЕКТРИКИ . . . . .	92
3.1. Классификация диэлектриков по внутреннему строению . . . . .	93
3.2. Поляризация диэлектриков . . . . .	95
3.3. Механизмы поляризации диэлектриков . . . . .	98
3.4. Поляризация в электрическом поле . . . . .	99
3.4.1. Электронная поляризация . . . . .	99
3.4.2. Ионная поляризация . . . . .	100
3.4.3. Дипольная (ориентационная) поляризация . . . . .	101
3.4.4 Миграционная (объемная) поляризация . . . . .	102
3.5. Поляризация в отсутствие внешнего электрического поля . . . . .	102
3.5.1. Спонтанная поляризация . . . . .	102
3.5.2. Поляризация за счет внешних неэлектрических воздействий . . . . .	104
3.6. Классификация диэлектриков по механизму поляризации . . . . .	104
3.6.1. Линейные (пассивные) диэлектрики . . . . .	104
3.6.2. Нелинейные (активные) диэлектрики . . . . .	105
3.6.3. Применение активных диэлектриков . . . . .	107
3.7. Электропроводность диэлектриков . . . . .	108
3.8. Диэлектрические потери . . . . .	111
3.9. Пробой диэлектриков . . . . .	114
3.10. Тепловые свойства диэлектриков . . . . .	118
3.11. Электропроводность газов. Пробой газов . . . . .	120
3.12. Примеры газообразных электроизоляционных материалов . . . . .	123
3.13. Электропроводность жидкостей. Пробой жидкостей . . . . .	124
3.13.1. Пробой жидких диэлектриков . . . . .	126
3.13.2. Примеры жидких диэлектриков . . . . .	126
3.14. Примеры твердеющих и твердых электроизоляционных материалов . . . . .	128
3.14.1. Твердые электроизоляционные материалы . . . . .	129
3.14.2. Твердеющие электроизоляционные материалы . . . . .	130

4. ПРОВОДНИКИ . . . . .	132
4.1. Общие сведения о проводниках. Природа проводимости металлов . . . . .	132
4.2. Основные электротехнические характеристики проводников . . . . .	134
4.3. Классификация проводниковых материалов . . . . .	138
4.4. Проводники высокой удельной проводимости . . . . .	139
4.5. Проводники высокого удельного сопротивления . . . . .	142
4.6. Контактные материалы . . . . .	145
4.6.1. Материалы для неподвижных контактов . . . . .	145
4.6.2. Материалы для подвижных контактов . . . . .	146
4.7. Углеродсодержащие проводниковые материалы . . . . .	147
4.7.1. Новые углеродные материалы. Фуллерены . . . . .	148
4.7.2. Графен . . . . .	149
4.7.3. Углеродные нанотрубки . . . . .	150
4.8. Сверхпроводники и криопроводники . . . . .	151
5. ПОЛУПРОВОДНИКИ . . . . .	154
5.1. Механизм проводимости полупроводников . . . . .	154
5.2. Электротехнические характеристики полупроводников . . . . .	160
5.3. Влияние внешних факторов на собственную электропроводность полупроводников . . . . .	164
5.4. Электронно-дырочный переход . . . . .	166
5.5. Применение полупроводников. Простейшие полупроводниковые компоненты . . . . .	168
5.5.1. Транзистор . . . . .	168
5.5.2. Диод . . . . .	170
5.5.3. Терморезистор . . . . .	170
5.5.4. Фоторезистор . . . . .	171
5.5.5. Термоэлемент и фотоэлемент . . . . .	172
5.5.6. Тензорезистор . . . . .	173
5.5.7. Варистор . . . . .	174
5.6. Основные группы современных полупроводниковых материалов . . . . .	175
5.6.1. Некристаллические полупроводниковые материалы . . . . .	180
5.6.2. Применение полупроводниковых материалов . . . . .	181
6. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	181

6.1. Природа магнетизма . . . . .	181
6.2. Основные электротехнические характеристики магнитных материалов . . . . .	183
6.3. Классификация материалов по магнитным свойствам . . . . .	184
6.3.1. Диамагнетики . . . . .	184
6.3.2. Парамагнетики . . . . .	185
6.3.3. Ферромагнетики . . . . .	186
6.4. Ферриты . . . . .	193
6.4.1. Особые свойства ферритов . . . . .	194
6.4.2. Классификация ферритов . . . . .	194
6.5. Классификация магнитных материалов по применению . . . . .	195
6.5.1 Магнитомягкие материалы . . . . .	196
6.5.2. Магнитотвердые материалы . . . . .	198
6.5.3. Магнитные материалы специального назначения . . . . .	202
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ . . . . .	207
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	208