



С.М. Аполлонский

# **ЗАЩИТА ТЕХНОСФЕРЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ**

Том 2. Защитные материалы  
от физических полей и излучений

Монография

**RU**  
**SCIENCE**  
RU-SCIENCE.COM

С.М. Аполлонский

---

**ЗАЩИТА ТЕХНОСФЕРЫ  
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ  
И ИЗЛУЧЕНИЙ**

**В ТРЕХ ТОМАХ**

**Том 2  
Защитные материалы  
от физических полей и излучений**

**Монография**

**RU**  
**science**  
RU-SCIENCE.COM

Москва  
2021

УДК 504.75

ББК 20.1

А76

**Аполлонский С.М.**

**А76**

Защита техносферы от воздействия физических полей и излучений. В 3 т. Т. 2. Защитные материалы от физических полей и излучений : монография / С.М. Аполлонский. — М. : РУСАЙНС, 2021. — 342 с.

**ISBN 978-5-4365-7589-6**

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами безопасности технических средств и человека при воздействии физических полей и излучений; для магистров, аспирантов и научных работников, специализирующихся в области электромагнитной безопасности технических средств и биообъектов, а также для студентов технических учебных заведений, изучающих влияние на биосферу физических полей и излучений, включающих неионизирующие электромагнитные излучения, ионизирующие излучения и виброакустические воздействия. Рассмотренные вопросы могут оказаться полезными для медицинских работников, сталкивающихся с рассмотренными проблемами в практической деятельности.

*The book is intended for scientific and technical workers, dealing with the safety of technical facilities and on exposure to the physical fields and radiation; for graduate, post-graduate students and researchers specializing in the field of electromagnetic safety of technical devices and biological objects, as well as for students of technical schools, studying the impact on the biosphere of physical fields and radiation, including non-ionizing electromagnetic radiation, ionizing radiation, and vibro-acoustic effects. The above questions can be useful for health professionals faced with addressing the problem in practice.*

**УДК 504.75**

**ББК 20.1**

**ISBN 978-5-4365-7589-6**

© Аполлонский С.М., 2021

© ООО «РУСАЙНС», 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
РАЗДЕЛ I. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ.....	9
1.1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНОЙ СРЕДЫ.....	9
1.1.1. МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДЫ .....	9
1.1.2. СВЯЗ ВЕКТОРОВ ПОЛЯ В ПОЛЯРИЗУЕМЫХ СРЕДАХ .....	22
1.1.3. РАЗГРАНИЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ.....	23
1.2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКРАНИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛАМ.....	25
1.2.1. СТОЙКОСТЬ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ .....	25
1.2.2. КОРРОЗИЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....	26
1.2.3. СТОЙКОСТЬ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ К ИОНИЗИРУЮЩИМ И НЕИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЯМ .....	32
1.3. ОСОБЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКРАНИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛАМ.....	33
1.4. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	35
ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ ОТРАЖАЮЩИЕ ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	39
2.1. ОСОБЕННОСТИ ОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	39
2.1.1. ИЗОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	39
2.1.2. АНИЗОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	50
2.1.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С АНИЗОТРОПНЫМИ СВОЙСТВАМИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭКРАНОВ.....	52
2.2. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ.....	55
2.3. КОНСТРУКЦИИ ОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ .....	57
2.4. РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ ПРОСТЕЙШИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ.....	63

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ .....	71
3.1. ОСОБЕННОСТИ СВЧ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА .....	71
3.2. ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ В СВЧ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА .....	72
3.2.1. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СВЧ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА .....	72
3.2.2. СВОЙСТВА РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....	73
3.2.3. ТИПЫ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ .....	77
3.3. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	81
3.4. СОВРЕМЕННЫЕ ЭКРАНИРУЮЩИЕ И РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	86
3.5. МНОГОСЛОЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....	89
3.5.1. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	89
3.5.2. ГИБКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ И РАДИОПОГЛОТИТЕЛИ .....	91
3.6. ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА НЕГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СИЛИКАГЕЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	92
3.7. РАСЧЁТ ФУНКЦИЙ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ С РАДИОПОГЛОЩАЮЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ .....	94
ГЛАВА 4. ЭКРАНИРУЮЩИЕ И ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	102
4.1. ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	102
4.2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	106
4.3. ЭКРАНИРУЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛА И СТЕН .....	109
4.3.1. МАГНЕЗИТО-ШУНГИТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	109
4.3.2. РАДИО-ЭКРАНИРУЮЩИЕ ШУНГИТОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	113
4.3.3. МАГНЕЗИАЛЬНО-БАРИТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ .....	119
4.4. РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	120
ГЛАВА 5. ЭКРАНИРУЮЩИЕ ТКАНИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	122
5.1. ВИДЫ ЭКРАНИРУЮЩИХ ТКАНЕЙ .....	122

5.1.1. ЗАЩИТНЫЕ ТКАНИ С МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ .....	122
5.1.2. ЗАЩИТНЫЕ ТКАНИ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....	128
5.1.3. ФУНКЦИОНАЛЬНО-АКТИВНЫЙ ТЕКСТИЛЬ .....	130
5.2. ЭКРАНИРУЮЩИЕ ТКАНИ С СЕТОЧНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ.....	132
5.3. ЭКРАНИРУЮЩИЕ ТКАНИ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ НИТЯМИ.....	134
5.4. ФОЛЬГИРОВАННЫЕ ЛЕНТЫ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ .....	136
5.4.1. ФОЛЬГИРОВАННЫЕ ЛЕНТЫ ЗМ .....	136
5.4.2. ИНЖЕНЕРНЫЙ НАБОР ЭКРАНИРУЮЩИХ ЛЕНТ .....	139
5.4.3. АБСОРБЕРЫ, ПОГЛОЩАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ (СЕРИЯ АВ 5000) .....	141
5.5. НАНО-МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СПЕЦОБЪЕКТОВ.....	142
5.6. ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ СТЕЛС (STEALTH) .....	147
5.7. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ ТКАНЕЙ .....	154
5.8. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ТКАНЬЮ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	158
ГЛАВА 6. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	164
6.1. ГЕОМЕТРИЯ ШИРОКОГО ПУЧКА. ПРОСТРАНСТВЕННО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕЯННОГО В СРЕДЕ ИЗЛУЧЕНИЯ .....	164
6.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКО-УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ СРЕДЫ.....	174
6.3. ПРИБЛИЖЕННЫЕ СПОСОБЫ УЧЁТА РАССЕЯННОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ИСТОЧНИКА И ЗАЩИТЫ.....	188
6.4. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОТ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	191
ГЛАВА 7. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ $\alpha$ И $\beta$ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	198
7.1. ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ ПОТОКОВ $\alpha$ - ЧАСТИЦ.....	198
7.2. ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	201
7.3. ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНЕГО $\beta$ - ИЗЛУЧЕНИЯ.....	207
ГЛАВА 8. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОНОВ .....	209
8.1. ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ В СРЕДАХ .....	209

8.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКО-УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕЯННОГО НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ СРЕДЫ.....	216
8.3. МЕТОД ДЛИН РЕЛАКСАЦИИ .....	218
8.4. СЕЧЕНИЕ ВЫВЕДЕНИЯ .....	220
8.5. ДОЗОВЫЙ СОСТАВ НЕЙТРОНОВ В ЗАЩИТНЫХ СРЕДАХ .....	234
8.6. КОЭФФИЦИЕНТЫ НАКОПЛЕНИЯ ПОДПОРОГОВЫХ НЕЙТРОНОВ.....	237
8.7. ВТОРИЧНОЕ $\gamma$ - ИЗЛУЧЕНИЕ В ЗАЩИТЕ .....	243
ГЛАВА 9. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	253
9.1. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ЗАЩИТНОГО МАТЕРИАЛА.....	253
9.2. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК .....	258
9.3. ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК.....	264
РАЗДЕЛ III. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ .....	267
ВВЕДЕНИЕ.....	267
ГЛАВА 10. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА .....	269
10.1. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА .....	269
10.2. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИНФРАЗВУКА .....	274
10.3. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАЗВУКА.....	279
ГЛАВА 11. МАТЕРИАЛЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ.....	280
11.1. ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	280
11.2. ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	280
11.3. ВИБРОГАСЯЩИЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	282
11.4. ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	287
11.5. ВИБРОДЫШАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	288
ГЛАВА 12. ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ПРИ СОЧЕТАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА.....	292
12.1. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ .....	292
12.2. ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ШИРОКОГО СПЕКТРА ЧАСТОТ .....	296
12.3. ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА .....	299
12.4. ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОСФЕРУ И ЧЕЛОВЕКА .....	301

12.5. ОЦЕНКА СОЧЕТАННОГО ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО И РАДИАЦИОННОГО ПОЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА.....	310
12.6. ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА .....	312
12.7. НОРМИРОВАНИЕ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ДРУГИХФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА .....	315
12.8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	323
БИБЛИОГРАФИЯ.....	326