

Содержание

Глава 1. Введение (А.П. Мосиав)	15
1.1. История	15
1.2. Волокна	16
1.2.1. Арамидные волокна	17
1.2.2. Сверхвысокомолекулярные полиэтиленовые волокна	18
1.2.3. Волокна ПБО	18
1.3. Волокнистая броня	18
1.4. Бронематериалы на основе ткани	19
1.5. Легкие нетканые бронематериалы	20
1.6. Препреги и пленки	21
1.7. Жесткая и гибкая броня	22
1.7.1. Гибкая броня	22
1.7.2. Жесткая броня	24
1.7.3. Классификация брони	24
1.7.4. Продолжительность эксплуатации жесткой и мягкой брони	24
1.8. Композитная броня с внешним керамическим слоем	25
1.9. Производство	26
1.10. Испытания противобаллистических материалов	27
1.11. Баллистическая угроза	28
1.11.1. Огнестрельное оружие и пули	28
1.11.2. Деформирование ударника	29
1.12. Конструкция противобаллистических изделий	29
1.13. Спецификации и стандарты	30
1.14. Численное моделирование поведения брони	30
1.15. Области применения	31
1.15.1. Мягкие бронежилеты	32
1.15.2. Жесткие нагрудные пластины	33
1.15.3. Противобаллистические каски	33
1.16. Бронезащита транспортных средств	34
1.17. Будущее волокнистой брони	35
1.18. Партнерство поставщиков сырья и производителей брони	35
1.19. Рост объемов производства бронематериалов	35
1.20. Интеграция и слияние отраслей производства бронематериалов	36
1.21. Литература	37
ЧАСТЬ I. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ	39
Глава 2. Пули и осколки (А.П. Мосиав)	40
2.1. Введение	40
2.2. Пистолеты и винтовки	40
2.3. Пистолетные и револьверные пули	42
2.4. Осколки	44
2.4.1. Конструкция имитатора осколка	44
2.4.2. Твердость осколка	45

2.4.3. Вес осколка	45
2.4.4. Цилиндрические имитаторы осколка	45
2.4.5. Твердость цилиндрических имитаторов осколка	46
2.5. Пистолетные пули	46
2.5.1. Советский пистолетный боеприпас 7,62 × 25 мм	47
2.5.2. Боеприпас 7,62 × 39 мм советской автоматической винтовки АК 47	48
2.5.3. Боеприпас НАТО калибра 7,62 мм	49
2.5.4. Боеприпас калибра 0.22 дюйма	50
2.5.5. Боеприпас Мосина-Нагана 7,62 × 54R	51
2.5.6. Боеприпас Магнум 0.357	51
2.5.7. Боеприпас Спрингилд 0.30-06	52
2.5.8. Боеприпас парабеллума 9 г 19 мм	53
2.5.9. Боеприпас 5,56 × 45 мм НАТО	54
2.5.10. Боеприпас 5,56 × 45 мм M193	56
2.5.11. Трассирующая пуля	59
2.6. Стрельба различными снарядами	59
2.7. Время выстрела	60
2.8. Факторы, влияющие на потери личного состава	60
2.9. Пробивающая сила и деформация пуль и осколков	61
2.10. Деформация пуль при ударе по броне	62
2.10.1. Тип пули	62
2.10.2. Пули с оболочкой	63
2.10.3. Конструкция пули	65
2.10.4. Нагрузки на пулю	65
2.10.5. Вес пули	66
2.10.6. Скорость пули	66
2.10.7. Нарезной ствол	66
2.10.8. Лобовое сопротивление	67
2.10.9. Кинетическая энергия пули	68
2.10.10. Угол падения пули	68
2.10.11. Длина ствола	68
2.10.12. Нарезной канал ствола	69
2.10.13. Расстояние от среза ствола	69
2.10.14. Бронематериалы	69
2.10.15. Противобаллистические волокна	70
2.10.16. Прочность волокон	70
2.10.17. Скорость продольной волны	71
2.10.18. Трение между волокнами	72
2.10.19. Вязкоупругие свойства волокон	72
2.10.20. Нанесение покрытий на волокна	73
2.10.21. Ориентация волокон	74
2.10.22. Деформирование снаряда	74
2.10.23. Простегивание	75
2.10.24. Влияние линейной плотности нитей	76

2.10.25. Влияние толщины нити	77
2.10.26. Гибридные материалы	78
2.10.27. Тип, качество и толщина слоя пластилина	78
2.10.28. Пластилин	78
2.11. Литература	79
Глава 3. Поведение материалов при баллистическом ударе (А.П. Мосиав)	80
3.1. Введение	80
3.2. Глобальные процессы	81
3.2.1. Упругость	84
3.2.2. Диссипация энергии	84
3.3. Локальные механизмы диссипации энергии	86
3.3.1. Растрескивание матрицы	86
3.3.2. Разрыв волокон и образование лепестка разрыва	88
3.3.3. Срез	88
3.3.4. Раздвигание нитей	89
3.3.5. Трение на границе отверстия	90
3.4. Влияние других параметров	90
3.4.1. Свойства материала	90
3.4.2. Параметры мишени	96
3.4.3. Граничные условия	97
3.4.4. Свойства снаряда	98
3.5. Литература	102
Глава 4. Моделирование баллистического удара (д. ф.-м. н. С.Л. Баженов)	108
4.1. Введение	108
4.2. Особенности вычислительных методов	109
4.2.1. Пространственная сетка	110
4.2.2. Методы интегрирования по времени	112
4.2.3. Описание проблемы	113
4.2.4. Переопределение узлов сетки	115
4.2.5. Выбор сетки и граничные условия	116
4.2.6. Моделирование поведения материала	116
4.3. Численное моделирование баллистического удара	117
4.4. Заключение и тенденции развития	125
4.5. Литература	126
Глава 5. Стандарты и спецификации легких бронезащитных материалов (д. ф.-м. н. С.Л. Баженов)	131
5.1. Введение	131
СТАНДАРТЫ	132
5.2. Военный стандарт MIL-STD-662F. Баллистический предел V_{50}	132
5.2.1. Назначение	132
5.2.2. Определения	132
5.2.3. Требования	136
5.2.4. Отчет о баллистических испытаниях	137
5.2.5. Принятие к производству или отклонение	138

5.3. Стандарт NIJ 0101.04	138
5.3.1. Выбор бронежилетов для испытания и сертификации	138
5.3.2. Материалы поддержки брони	139
5.3.3. Метод испытания и измерение запреградной деформации	139
5.3.4. Определение пробития и измерение запреградной деформации	139
5.3.5. Вес	141
5.3.6. Измерение скорости	141
5.3.7. Условия испытаний	141
5.3.8. Подготовка поддерживающего материала	141
5.3.9. Испытания бронежилета	141
5.3.10. Вычисление баллистического предела	142
5.3.11. Отчет	142
5.4. PSDV стандарт испытания бронежилетов	142
5.4.1. Общие требования	142
5.4.2. Другие требования	143
5.5. Соглашение НАТО STANAG 2920 для баллистических испытаний индивидуальной брони	144
5.5.1. Цель	144
5.5.2. Общее	144
5.5.3. Испытательное оборудование	144
5.5.4. Методы испытания	145
5.5.5. Отчет	145
5.6. Международный стандарт ISO/FDIS 14876. Бронезащита тела	146
5.6.1. Введение	146
5.6.2. Предмет	146
5.6.3. Классы бронежилетов	146
5.6.4. Размеры	147
5.6.5. Ограничения	147
5.6.6. Эргономические требования	147
5.6.7. Методы испытаний	147
5.6.8. Уровни защиты	148
5.6.9. Крепление испытываемых образцов	148
5.6.10. Поддерживающий материал	148
5.6.11. Восстановление поддерживающего материала	148
5.6.12. Точки удара	149
5.6.13. Испытания во влажных условиях	149
5.6.14. Отчет	149
5.7. Стандарт испытаний касок NIJ 0106.01	150
5.7.1. Уровни защиты	150
5.7.2. Выборка и метод испытания	150
5.7.3. Манекен головы	150
5.7.4. Испытания на пробитие	151
5.8. Бронезащита транспортных средств	152
5.9. Стандарт испытания брони NIJ 0108	152
5.9.1. Классификация	153
5.9.2. Баллистические испытания	153

СПЕЦИФИКАЦИИ	154
5.10. Бронезащита тела «Перехватчик»	154
5.10.1. Компоненты	154
5.10.2. Размеры	154
5.10.3. Особенности	154
5.10.4. Площадь защиты и вес	155
5.10.5. Внешние условия	155
5.11. Вставки	156
5.11.1. Конструкция защитных вставок	156
5.11.2. Процесс формования защитных вставок	156
5.11.3. Вес	156
5.11.4. Толщина	157
5.12. Нагрудные пластины, используемые в странах Тихоокеанского кольца	157
5.12.1. Форма нагрудных бронепластин	157
5.12.2. Размеры пластин	157
5.12.3. Толщина пластин	157
5.12.4. Вес пластины	157
5.12.5. Баллистическая стойкость	157
5.12.6. Образцы	157
5.12.7. Баллистические испытания	157
5.13. Европейский бронезилет	158
5.13.1. Типы военных бронезилетов	158
5.13.2. Размеры бронезилетов	158
5.13.3. Внешний слой бронезилета	158
5.13.4. Баллистическая стойкость	158
5.13.5. Слои	158
5.13.6. Количество бронепластин	158
5.13.7. Размеры жестких бронепластин	158
5.13.8. Поверхностная плотность бронеконспекта	159
5.13.9. Толщина	159
5.13.10. Баллистическая стойкость	159
5.13.11. Маркировка	159
5.14. Азиатский бронезилет	159
5.14.1. Баллистические испытания нагрудных пластин	160
5.14.2. Размеры пластины	160
5.14.3. Количество пластин	160
5.14.4. Материал пластин	160
5.14.5. Вес бронепластин	160
5.14.6. Площадь защиты	160
5.14.7. Размеры	160
5.14.8. Внешний слой гибкого бронезилета	160
5.14.9. Материал гибкого бронезилета	160
5.14.10. Испытания	160
5.14.11. Травмозащитный материал	160
5.14.12. Запреградная деформация	161

5.14.13. Общий вес гибкой и жесткой брони	161
5.14.14. Другие особенности	161
5.15. Спецификации касок	161
5.15.1. Размеры касок	161
5.15.2. Корпус каски	161
5.15.3. Отделка каски	162
5.15.4. Испытания	162
5.16. МП-Л-62474В. Многослойный органопластик на основе арамидной ткани	163
5.16.1. Классификация	163
5.16.2. Требования	163
5.16.3. Изготовление	164
5.16.4. Вариация толщины	164
5.16.5. Вес	164
5.16.6. Процесс формования ламината	164
5.16.7. Окончательная обработка ламинатов	165
5.16.8. Характеристики ламината	165
5.17. Литература	166
Глава 6. Испытание легких противобаллистических материалов (С.С. Евстифоров)	167
6.1. Введение	167
6.2. Пробитие брони	167
6.3. Броня	168
6.4. Испытание брони	168
6.5. Баллистическая угроза	168
6.6. Методы испытаний	169
6.7. Баллистическая стойкость	170
6.8. Измерение баллистического предела V_{50}	171
6.8.1. Метод Пробита	171
6.8.2. Метод Лэнгли	171
6.8.3. Метод OSTR	172
6.8.4. Метод Брюстона	172
6.9. Методика определения стойкости к удару острым предметом	174
6.10. Сравнение композитной и монолитной брони	175
6.11. Дополнительные проблемы	175
6.11.1. Определение скорости пули	175
6.11.2. Энергия	175
6.11.3. Расстояние до цели	176
6.11.4. Испытания касок	176
6.11.5. Испытания светопрозрачного щитка шлема	177
6.11.6. Испытания бронежилетов	177
6.11.7. Испытания вставных бронепластин	178
6.11.8. Испытания брони транспортных средств и конструкционной брони	178
6.11.9. Защита от фрагментов	178

6.11.10. Методы испытания бронезилетов	179
6.11.11. Сравнение новой и бывшей в эксплуатации брони	181
ЧАСТЬ II. МАТЕРИАЛЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	183
Глава 7. Противобаллистические волокна (С.С. Евстифоров)	184
7.1. Введение	184
7.2. Традиционные высокопрочные волокна	184
7.2.1. Стекланные волокна	184
7.2.2. Углеродные волокна	184
7.3. Жесткоцепные ароматические волокна	184
7.4. Термостойкие волокна	186
7.4.1. ПБИ волокно	186
7.4.2. ПБО волокна	187
7.5. Высокопрочные термопластичные волокна	187
7.5.1. Жидкокристаллические полимеры	187
7.5.2. СВМПЭ	188
7.6. Сравнение физических свойств	188
7.7. Требования к высокопрочным волокнам	188
7.8. Арамидные волокна	190
7.8.1. Формование арамидных волокон	191
7.8.2. Структура и морфология арамидных волокон	193
7.8.3. Морфология и ориентация арамидных волокон	194
7.8.4. Складчатые структуры	195
7.8.5. Кристаллическая структура	196
7.9. Гельформование СВМПЭ волокон	196
7.9.1. Морфология СВМПЭ волокна	198
7.10. ПБО волокна	200
7.10.1. Полимеризация и формование	200
7.10.2. Микрофибриллы и поры	201
7.10.3. Структура и физические свойства волокон	201
7.11. Дополнительная литература	203
7.12. Литература	203
Глава 8. Ткани и композиционные материалы для индивидуальной противобаллистической защиты (С.С. Евстифоров)	204
8.1. Введение	204
8.1.1. Волокна	204
8.1.2. Структура ткани	206
8.1.3. Матрицы	209
8.1.4. Броня из волокнистых композитов	211
8.2. Ударные испытания	213
8.3. Механизмы разрушения брони	213
8.3.1. Тканые бронепакеты	214
8.3.2. Броня из волокнистых композитов	216
8.4. Аналитические модели	221
8.5. Литература	226

Глава 9. Нетканые противобаллистические композиты (С.С. Евстифоров)	231
9.1. Введение	231
9.1.1. Современная броня	232
9.1.2. Начало научных исследований поведения брони	232
9.2. Требования к защитным материалам и изделиям	237
9.2.1. Традиционные подходы	237
9.2.2. Комплексные нити	238
9.2.3. Нетканые материалы	238
9.3. Выбор волокон	239
9.3.1. Арамиды	239
9.3.2. Линейный сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ)	240
9.3.3. ПБО волокна	241
9.3.4. Жидкокристаллические полимеры	241
9.3.5. Волокна М5	241
9.4. Непрерывные и рубленые волокна	242
9.4.1. Методы получения нетканых материалов	243
9.4.2. Волокна	244
9.4.3. Штапельные волокна	245
9.5. Многослойные композиты	250
9.5.1. Использование гибкой волокнистой брони	252
9.5.2. Многослойная броня III уровня защиты	252
9.6. История использования нетканой брони	252
9.6.1. Результаты испытаний центра Natick армии США	253
9.6.2. Результаты британских исследователей	253
9.6.3. Результаты различных независимых фирм	253
9.7. Использование нетканых противобаллистических материалов	254
9.7.1. Чисто волокнистые материалы	254
9.7.2. Многослойные материалы из волокон различного типа	254
9.7.3. Материалы из смеси волокон	254
9.7.4. Защита от осколков	255
9.7.5. Испытания американской армии	256
9.7.6. Комбинирование нетканых и обычных материалов	256
9.8. Перспектива развития нетканых материалов в будущем	258
9.9. Литература	258
Глава 10. Противобаллистические композиты на основе препрегов (д. ф.-м. н. С.Л. Баженов)	259
10.1. Введение	259
10.2. Гибкая броня	261
10.3. Жесткая броня	261
10.4. Препреги на основе термопластичных матриц	262
10.5. Препреги для формования жесткой брони	263
10.6. Поверхностные свойства противобаллистических материалов	265
10.6.1. Поверхностная обработка волокон	266
10.7. Контроль механического натяжения препрега	269
10.8. Сравнение препрегов противобаллистического и конструкционного назначения	269

10.9. Технология производства препрегов	269
10.9.1. Мокрая пропитка и сушка	269
10.9.2. Нанесение матрицы с помощью ножа	271
10.9.3. Нанесение матрицы с помощью острого лезвия	271
10.9.4. Валковое нанесение матрицы	272
10.9.5. Нанесение периодических полос матрицы	272
10.9.6. Нанесение матрицы реверсивными барабанами	272
10.9.7. Препреги с пленочной матрицей	273
10.9.8. Нанесение нескольких слоев матрицы	274
10.10. Термореактивные матрицы	275
10.10.1. Препреги на основе фенольной смолы	275
10.10.2. Винилэфирные матрицы	276
10.10.3. Полиэфирные смолы	277
10.10.4. Эпоксидные смолы	278
10.11. Термопластичные матрицы	279
10.11.1. Акриловые матрицы	279
10.11.2. Полиуретановые матрицы	280
10.12. Смесевые термопластично-термореактивные матрицы	280
10.13. Другие методы производства препрегов	280
10.14. Добавки в термопластичные и термореактивные смолы	281
10.15. Качество препрегов	281
10.15.1. Визуальный осмотр	281
10.15.2. Вес препрега	281
10.15.3. Содержание матрицы	281
10.15.4. Содержание летучих веществ	282
10.15.5. Плотность	282
10.15.6. Измерение вязкости	282
10.15.7. Дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК)	283
10.15.8. Инфракрасное излучение	283
10.15.9. Механические испытания	283
10.15.10. Растровая электронная микроскопия (РЭМ)	284
10.15.11. Баллистические испытания	284
10.16. Хранение препрегов	285
10.17. Перевозка препрегов	285
10.18. Вторичная переработка препрегов	285
10.19. Утилизация препрегов	286
10.20. Литература	286
10.21. Адреса поставщиков противобаллистических препрегов	286
Глава 11. Технология производства противобаллистических	
материалов (к. х. н. Г.П. Гончарук).....	287
11.1. Введение	287
11.1.1. Матрицы	287
11.1.2. Волокна	288
11.2. Композиты противобаллистического назначения	288
11.2.1. Волокна	288
11.2.2. Структура	291

11.2.3. Матрица	291
11.3. Пресс-формы	292
11.3.1. Небольшие пресс-формы	293
11.3.2. Крупные пресс-формы высокого давления	293
11.3.3. Крупные пресс-формы низкого давления	293
11.4. Нагревание и охлаждение пресс-форм	293
11.5. Извлечение детали	294
11.6. Адгезия	294
11.7. Выбор клея	295
11.8. Подготовка материала к формованию	295
11.9. Подготовка пресс-формы	296
11.9.1. Ручная выкладка	296
11.10. Противобаллистические структуры	297
11.11. Технология производства композитов	298
11.12. Методы производства	298
11.12.1. Ручная выкладка	298
11.12.2. Формование в мешке	300
11.12.3. Формование в вакуумном мешке	301
11.12.4. Формование в мешке давления	302
11.12.5. Влияние давления прессования	303
11.12.6. Прессформование	303
11.13. Пресс	305
11.14. Сравнение формования в автоклаве и прессе высокого давления	306
11.15. Влияние давления формования	306
11.16. Формование противобаллистических изделий	307
11.16.1. Формование касок	307
11.17. Переносные полицейские щиты	310
11.17.1. Изготовление щитов	310
11.18. Формование противобаллистических усиливающих вставок	310
11.18.1. Одиночные нагрудные пластины	310
11.19. Нагрудные пластины с передним керамическим слоем	311
11.19.1. Композитные нагрудные пластины с передним керамическим слоем	311
11.20. Механическая обработка композитов	313
11.20.1. Резание	313
11.20.2. Сверление	313
11.20.3. Окончательная обработка	314
11.20.4. Полировка	314
11.20.5. Покраска	314
11.21. Заключение	315
11.22. Литература	315
Глава 12. Новые материалы и изделия противобаллистического назначения (А.П. Мосиava)	316
12.1. Введение	316
12.2. Волокна	317

12.2.1. Неорганические волокна	319
12.2.2. Органические волокна	323
12.3. Сравнение тканых и нетканых материалов	326
12.4. Противобаллистические матрицы и препреги	329
12.5. Керамические и другие облицовочные материалы	331
12.6. Технология производства	334
12.7. Новые противобаллистические материалы	335
12.7.1. Бронезащита транспортных средств	336
12.7.2. Системы бронезащиты личного состава	337
12.7.3. Применение в строительстве	339
12.8. Прогноз развития волокнистых бронематериалов	340
12.9. Литература	341
Глава 13. Применение легких противобаллистических материалов (к. х. н. Г.П. Гончарук)	344
13.1. Введение	344
13.2. Армия США	345
13.2.1. Каски	345
13.2.2. Бронежилет Interseptor	346
13.2.3. Защитная вставка SAPI	347
13.2.4. Бронежилет и каска SPEAR	349
13.3. Европейский военный бронежилет	351
13.3.1. Каски	351
13.3.2. Европейский гибкий бронежилет военнослужащих	352
13.3.3. Европейские противобаллистические жилеты и усиливающие вставки	352
13.4. Войска азиатских стран	354
13.4.1. Каски войск стран Южной Азии	354
13.4.2. Бронежилеты войск стран Южной Азии	354
13.4.3. Каски стран Южной Азии	355
13.4.4. Жилеты стран Южной Азии	355
13.5. Баллистическая защита полиции	356
13.5.1. Каски для полицейских	356
13.5.2. Бронежилеты правоохранительных органов и полиции	357
13.5.3. Малогабаритные щиты	358
13.5.4. Взрывозащитные покрывала	359
13.5.5. Устройства для уничтожения бомб цилиндрической формы	360
13.6. Бронированные транспортные средства	360
13.7. Бронированные наземные и воздушные транспортные средства	361
13.7.1. Боевая машина пехоты «Страйкер»	361
13.7.2. Быстроходное многоцелевое колесное транспортное средство	362
13.7.3. Боевые системы будущего	363
13.7.4. Экспедиционные боевые транспортные средства	364
13.7.5. Корпуса транспортных средств	364
13.7.6. Бронированные вертолеты	365

13.7.7. Бронированные сидения вертолета	367
13.7.8. Вертолет «Пума»	369
13.7.9. Грузовой самолет С 130	369
13.7.10. Бронеконплекты самолета	371
13.7.11. Бронированные транспортные средства	372
13.7.12. Наземные судна на воздушной подушке	373
13.7.13. Броня судов на воздушной подушке	374
13.8. Адреса по Интернету	374
Глава 14. Формованная броня с внешним керамическим слоем (А.П. Мосица)	375
14.1. Введение	375
14.2. Типы керамики	376
14.2.1. Окись алюминия	376
14.2.2. Карбид и нитрид кремния	377
14.2.3. Карбид бора	378
14.3. Форма изделий из керамики	378
14.3.1. Плоские пластины	378
14.3.2. Керамика особой геометрической формы	379
14.4. Подложка из облегченных композиционных материалов	380
14.4.1. Стекланные волокна	381
14.4.2. Органопластики на основе арамидных тканей	381
14.4.3. СВМПЭ ткани	382
14.4.4. Многослойные СВМПЭ композиты	382
14.4.5. Многослойные органопластики на основе арамидных волокон типа gold shield	383
14.5. Технология производства брони с керамическим лицевым слоем	383
14.5.1. Средства индивидуальной бронезащиты личного состава	384
14.5.2. Бронезащита транспортных средств	386
14.6. Испытания брони с керамической облицовкой	388
14.6.1. Винтовочные пули	388
14.6.2. Бронебойные пули	389
14.6.3. Стандарты испытаний	389
14.6.4. Метрология	391
14.7. Баллистические характеристики материалов с передним керамическим слоем	392