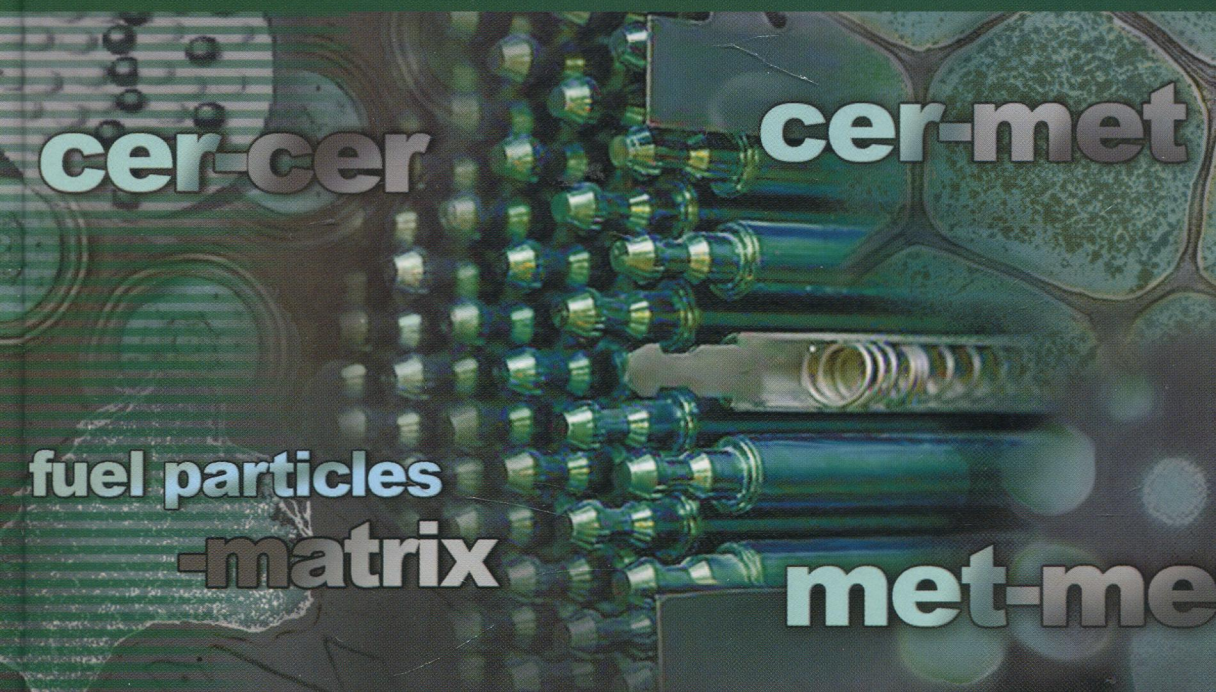


С. Алексеев, В. Зайцев, С. Толстоухов

ДИСПЕРСИОННОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО



cer-cer

cer-met

fuel particles

-matrix

met-me

С.В. Алексеев, В.А. Зайцев, С.С. Толстоухов

Дисперсионное ядерное топливо

ТЕХНОСФЕРА
МОСКВА
2015

УДК 621.039.54

ББК 31.4

А 47

А 47 Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С.

Дисперсионное ядерное топливо

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 248с. + 8 с. цв. вкл. ISBN 978-5-94836-428-5

В книге приведены сведения о роли дисперсионного топлива в ядерной энергетике. Кратко рассмотрены данные о применении дисперсионного ядерного топлива в реакторах различного назначения. Обобщены данные по свойствам и технологии получения дисперсионного ядерного топлива, в том числе для «сжигания» избыточного плутония.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, работающих в области исследования и применения ядерного топлива.

УДК 621.039.54

ББК 31.4

© 2015, Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С.

© 2015, ЗАО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-428-5

Содержание

Предисловие.....	6
Предисловие авторов	8
Основные условные обозначения и сокращения	10
Введение.....	11
Глава 1. Дисперсионное топливо в ядерной энергетике	12
1.1. Структура ядерного топлива исследовательских реакторов	13
1.2. Ядерное топливо дисперсионных твэлов исследовательских реакторов.....	18
1.2.1. Дисперсионное ядерное топливо первого поколения исследовательских реакторов.....	18
1.2.2. Исследовательские реакторы, используемые в настоящее время	20
1.2.3. Перевод исследовательских реакторов на низкообогащенное топливо.....	23
1.2.4. Модернизация исследовательских реакторов.....	25
1.3. Высокотемпературное дисперсионное ядерное топливо	26
1.4. Реакторы для ядерно-энергетических установок ВМФ.....	27
1.4.1. Атомные подводные лодки	28
1.4.2. Атомные надводные корабли ВМФ.....	30
1.5. Реакторы ядерно-энергетических установок гражданского флота	31
1.6. Использование дисперсионного топлива для региональной энергетики	35
1.7. Дисперсионное топливо атомных ракетных двигателей	37
1.8. Дисперсионное топливо высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов.....	38
1.9. Дисперсионное топливо энергетических реакторов.....	39
1.10. Топливо для «сжигания» плутония	40
1.11. Типы композиций дисперсионного ядерного топлива.....	43
Глава 2. Материалы матрицы дисперсионного ядерного топлива	45
2.1. Металлические матричные материалы ядерного топлива дисперсионного типа.....	46
2.1.1. Алюминий и его сплавы.....	46
2.1.2. Цирконий и его сплавы.....	48
2.1.3. Нержавеющие стали.....	51
2.1.4. Никель	53
2.1.5. Магний.....	55
2.2. Графит как матричный материал дисперсионного ядерного топлива	58
2.3. Матричные материалы дисперсионного топлива IMF.....	63
2.3.1. Материалы инертной матрицы на основе оксидов.....	63
2.3.2. Материалы инертной матрицы на основе нитридов	69
2.3.3. Материалы инертной матрицы на основе карбидов.....	71
2.3.4. Использование металлов в качестве инертной матрицы.....	72

2.4. Матричные материалы на основе соединений тория	73
2.4.1. Использование ThO_2 в качестве инертной матрицы	73
2.4.2. Использование карбидов тория в качестве инертной матрицы	78
Глава 3. Делящиеся материалы дисперсионного ядерного топлива	83
3.1. Уран и его сплавы	84
3.1.1. Металлический уран	84
3.1.2. Сплавы урана	85
3.2. Керамические соединения делящихся материалов	88
3.2.1. Диоксид урана	88
3.2.2. Карбиды урана	92
3.2.3. Мононитрид урана	95
3.2.4. Силициды урана	99
3.2.5. Диоксид плутония	105
3.2.6. Мононитрид плутония	106
Глава 4. Свойства дисперсионных топливных материалов	108
4.1. Свойства дисперсионного топлива на основе алюминиевой матрицы	108
4.1.1. Дисперсионные композиции на основе U-Al	108
4.1.2. Дисперсионное топливо на основе сплавов U-Mo	113
4.1.3. Дисперсионная композиция на основе UO_2	117
4.1.4. Дисперсионное топливо на основе U_xSi_y	119
4.2. Дисперсионные композиции на основе UO_2 – нержавеющая сталь	125
4.3. Дисперсионное топливо на основе урана и сплава U-Mo в матрице из магния	130
4.4. Дисперсионная композиция UO_2 -Ni	133
4.5. Топливо реакторов HTGR	134
4.6. Высокотемпературное дисперсионное топливо	137
4.7. Дисперсионные композиции IMF	141
4.7.1. Матричные материалы IMF на основе оксидов	142
4.7.2. Матричный материал IMF на основе SiC	147
4.7.3. Керметные композиции IMF	148
4.8. Матричный материал IMF на основе тугоплавких соединений тория	149
4.8.1. Дисперсионные композиции на основе ThO_2	150
4.8.2. Дисперсионные композиции на основе карбидов тория	157
Глава 5. Изготовление топливных сердечников дисперсионного типа	159
5.1. Изготовление дисперсионных топливных сердечников методом плавки и литья	159
5.1.1. Сердечники твэлов на основе сплавов Al-U	159
5.2. Изготовление дисперсионных сердечников твэлов методом порошковой металлургии	160

5.2.1. Приготовление порошковых смесей дисперсионных композиций.....	160
5.2.2. Получение гранулированного топлива	162
5.2.3. Нанесение покрытий на гранулированное топливо	164
5.2.4. Формование заготовок топливного сердечника	167
5.2.5. Спекание и горячее прессование заготовок дисперсионных композиций.....	168
5.3. Дисперсионные композиции, получаемые методом порошковой металлургии	169
5.3.1. Сердечники на основе сплавов U-Al	169
5.3.2. Сердечники на основе UO_2 -Al	170
5.3.3. Сердечники твэлов на основе U_3Si_2 -Al	172
5.3.4. Сердечники твэлов на основе (U,Mo)-Al	175
5.3.5. Сердечники твэлов на основе (U,Mo)-Mg	181
5.3.6. Сердечники твэлов на основе UO_2 – нержавеющая сталь	182
5.3.7. Дисперсионные сердечники на основе UO_2 -Ni	184
5.3.8. Дисперсионные сердечники твэлов керметного типа	184
5.3.9. Дисперсионные сердечники с керамическим топливом в матрице из графита	188
5.4. Изготовление дисперсионных сердечников IMF	189
5.4.1. Изготовление сердечников механическим смешиванием порошков.....	189
5.4.2. Изготовление сердечников из сосажденных порошков	192
5.4.3. Изготовление сердечников IMF гетерогенного типа	194
5.5. Изготовление сердечников IMF на основе соединений тория	198
5.5.1. Получение сердечников IMF на основе ThO_2	198
5.5.2. Изготовление топливных сердечников реактора HTGR из (U,Th) C_2	202
Глава 6. Изготовление твэлов дисперсионного типа	205
6.1. Производство твэлов пластинчатого типа.....	206
6.2. Производство трубчатых твэлов	210
6.3. Изготовление твэлов стержневого типа	213
6.4. Получение графитовых твэлов реактора HTGR	217
6.5. Технологический контроль твэлов	220
Заключение	223
Литература	228