



НИЯУ МИФИ
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»

А. Н. Шмелёв, Г. Г. Куликов, Е. Г. Куликов, В. А. Апсэ

ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

ПОТЕНЦИАЛ ГИБРИДНЫХ НАРАБОТЧИКОВ ТОПЛИВА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
Список литературы к введению.....	9
Глава 1. ЗАМЫКАНИЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА И ТЕНДЕНЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ НУКЛИДНОГО СОСТАВА ТОПЛИВА В СИСТЕМЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЕЛЕНИЯ. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ ГИБРИДНЫХ СИНТЕЗ-ДЕЛЕНИЕ РЕАКТОРОВ.....	12
1.1. Накопление ОЯТ в топливном цикле ЯЭ и тенденции в формировании нуклидного состава урана при его рециклировании	12
1.2. О потенциале УТС по наработке топлива со стабилизированными размножающими свойствами и с повышенной глубиной выгорания.....	14
Список литературы к главе 1.....	17
Глава 2. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ТОРИЕВОМ БЛАНКЕТЕ ГТР СИНТЕЗ-ДЕЛЕНИЕ.....	20
2.1. Цепочки нуклидных превращений при облучении тория в бланкете.....	20
2.2. Нуклидный состав топлива, накапливаемого в Th-бланкете гибридного реактора синтез-деление.....	30
Список литературы к главе 2.....	33
Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВОДНОГО И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОГРАФИТОВОГО ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ СО СВЕРХДЛИННОЙ КАПАНИЕЙ ТОПЛИВА.....	34
3.1. Нейтронно-физические характеристики топливных решёток долгоживущих активных зон легководного реактора.....	34
3.1.1. Нейтронно-физические предпосылки глубокого выгорания топлива.....	36
3.1.2. Преимущества глубокого выгорания.....	36
3.1.3. Эффекты реактивности в бесконечной решетке твэлов	42
3.2. Физико-технические особенности реализации долгоживущих активных зон.....	44

3.2.1. Техническая осуществимость глубокого выгорания топлива.....	44
3.2.2. О регенерации твэлов с использованием технологии типа DUPIC.....	47
3.2.3. Увеличение периода кампании топлива до 50 лет....	48
3.2.4. Выводы.....	49
3.3. Возможность использования ^{231}Pa и стабилизация размножающих свойств в высокотемпературном газографитовом реакторе.....	50
Список литературы к главе 3.....	54
Глава 4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В УРАНОВОМ БЛАНКЕТЕ ГТР СИНТЕЗ-ДЕЛЕНИЕ.....	
4.1. Цепочки нуклидных превращений и накопление нуклидов в U-бланкете.....	56
4.2. Сравнение нейтронно-физических свойств нуклидов цепочек, начинающихся с ^{237}Np и ^{231}Pa	59
Список литературы к главе 4.....	63
Глава 5. БАЛАНС РАСХОДА НЕЙТРОНОВ В ЦЕПОЧКАХ НУКЛИДНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА В РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАХ НЕЙТРОНОВ.....	
5.1. Баланс расхода нейтронов при нуклидных превращениях в цепочках.....	66
5.1.1. Топливные циклы и цепочки нуклидных превращений.....	66
5.1.2. Методика оценки баланса расхода нейтронов цепочек нуклидных превращений.....	67
5.2. Сравнение традиционной и нетрадиционной цепочек в топливной решетке легководного реактора с плотностью теплоносителя 0.72 и 0.1 г/см ³	73
5.3. Сравнение традиционной и нетрадиционной цепочек в резонансном спектре нейтронов.....	80
Список литературы к главе 5.....	82

Глава 6. О ЗАЩИЩЕННОСТИ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В МНОГОИЗОТОПНОМ УРАНОВОМ ТОПЛИВЕ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА И НАКОПЛЕННОЙ СМЕСИ ($^{231}\text{Pa} + ^{232,233,234}\text{U}$) В Тh-БЛАНКЕТЕ ГИБРИДНОГО РЕАКТОРА СИНТЕЗ-ДЕЛЕНИЕ.....	84
6.1. Физико-химические особенности многоизотопной смеси урана ($^{232-236,238}\text{U}$), важные для осуществления процесса обогащения.....	85
6.2. О применимости метода “несущего газа” для очистки многоизотопного урана $^{232-236,238}\text{U}$ от α -активного изотопа ^{232}U в обогатительном каскаде.....	88
Список литературы к главе 6.....	90
Глава 7. О КОНЦЕПЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЯДЕРНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ПО УТИЛИЗАЦИИ ПЛУТОНИЯ И РОЛИ ГТР СИНТЕЗ-ДЕЛЕНИЕ.....	93
7.1. Концепция международных ядерно-технологических центров по утилизации плутония и по формированию многоизотопного уранового топлива. Глобальное ядерное партнерство GNEP.....	94
7.2. О формировании многоизотопного состава топлива на основе совместного использования регенерата урана и смеси ($^{231}\text{Pa} + ^{232,233,234}\text{U}$), накопленной в гибридном реакторе синтез-деление с Th-бланкетом.....	99
7.3. Схема замкнутого топливного цикла с совместным использованием ТР, БР и ГТР синтез-деление с Th-бланкетом	101
7.4. Потенциальная системная роль гибридных синтез-деление (с Th-бланкетом) наработчиков топлива в крупномасштабной ЯЭ.....	102
7.4.1. Базовые принципы системы крупномасштабной ЯЭ.....	103
7.4.2. О выработке стратегии развития системы ЯЭ России.....	107
7.4.3. О некоторых “узких” местах в формировании системы ЯЭ с замкнутым топливным циклом и потенциальная роль гибридных синтез-деление наработчиков топлива в системе ЯЭ.....	109
Список литературы к главе 7.....	112
Послесловие.....	115