

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений	9
Предисловие	12
Введение	14

Раздел I. Теоретические основы процессов преобразования энергии в ЯЭУ КА

Глава 1. Современное развитие космонавтики	23
1.1. Отечественные ядерные источники энергии космического базирования	23
1.2. Состояние и перспективы развития космических ЯЭУ за рубежом	25
1.3. Состав космических ЯЭУ	27
Глава 2. Физические основы ядерных реакторов	31
2.1. Схема и классификация ядерных реакторов	31
2.2. Атомные ядра и ядерные силы	33
2.3. Нейтронно-ядерные реакции	39
2.4. Реакции рассеяния (замедления) нейтронов	46
2.5. Реакции радиационного захвата нейтронов	53
2.6. Реакции деления тяжелых ядер	55
2.7. Диффузия нейтронов	60
Глава 3. Расчет ядерных реакторов	70
3.1. Виды расчетов ядерных реакторов	70
3.2. Нейтронно-физический расчет ядерного реактора	71
3.3. Теплогидравлический расчет ядерного реактора	91
Глава 4. Теплоотвод в космосе	101
4.1. Условия и средства теплоотвода в космосе	101
4.2. Массогабаритные характеристики теплоизлучающих ребер	105
4.3. Потребная площадь поверхности трубчато-ребристого холодильника-излучателя	108
4.4. Холодильники-излучатели с использованием тепловых труб	114
4.5. Особенности теплоотвода при низких температурах охлаждаемых объектов	117
Глава 5. Термоэлектрические преобразователи теплоты	121
5.1. Физические основы рабочего процесса и схема термоэлемента	121
5.2. Вольт-амперная характеристика и мощность термоэлемента	127
5.3. Коэффициент полезного действия термоэлемента	131
5.4. Расчет термоэлектрических преобразователей	138

Глава 6. Термоэмиссионные преобразователи теплоты (ТЭМП)	143
6.1. Принцип действия ТЭМП	143
6.2. Протекающие процессы и классификация ТЭМП.....	146
6.3. Характеристики ТЭМП в различных режимах	154
6.4. Коэффициент полезного действия.....	164
Глава 7. Газотурбинные ЯЭУ	168
7.1. Тепловые схемы и циклы ГТУ	168
7.2. Цикл Брайтона	179
7.3. Цикл ГТУ с промежуточным охлаждением	186
7.4. Цикл ГТУ с промежуточным теплоподводом	191
7.5. Регенеративный цикл ГТУ	194
7.6. Сравнительный анализ основных показателей газотурбинных ЯЭУ, выполненных по различным тепловым схемам	200
Глава 8. Паротурбинные ЯЭУ	203
8.1. Тепловые схемы и циклы паротурбинных ЯЭУ	203
8.2. Расчет циклов Ренкина с рабочим телом типа <i>A</i> и <i>B</i>	212
8.3. Расчет цикла с промежуточным теплоподводом на калии	220
8.4. Расчет регенеративного цикла ПТУ на даутерме	224
Глава 9. Оптимизация параметров и расчет ЯЭУ	226
9.1. Задачи и особенности оптимизации	226
9.2. Оптимизация параметров газотурбинных ЯЭУ	229
9.3. Оптимизация параметров паротурбинных ЯЭУ	232
9.4. Оптимизация параметров ЯЭУ с прямыми преобразователями теплоты	234

Раздел II. Основы конструкции ЯЭУ

Глава 10. Основные требования и принципы компоновки	238
Глава 11. Конструкция ядерных реакторов	251
11.1. Требования к конструкции ядерного реактора.....	251
11.2. Корпус ядерного реактора.....	251
11.3. Тепловыделяющие элементы ядерного реактора.....	257
11.4. Отражатель нейтронов ядерного реактора	263
11.5. Органы регулирования ядерного реактора.....	264
11.6. Конструктивные особенности ядерных реакторов с гетерогенной активной зоной.....	265
Глава 12. Конструкция термоэмиссионных ядерных реакторов-генераторов	267
12.1. Электрогенерирующие элементы и электрогенерирующие каналы встроенных термоэмиссионных ядерных реакторов-генераторов	267
12.2. Компоновка реакторов-генераторов.....	278

Глава 13. Расчет конструкций ядерных реакторов космического назначения на прочность.....	281
13.1. Общие положения	281
13.2. Краткие сведения из теории ползучести.....	286
13.3. Днища и обечайка корпуса ядерного реактора космического назначения	297
13.4. Тепловыделяющие элементы ядерного реактора космического назначения.....	301
13.5. Перфорированные опорные решетки ядерного реактора космического назначения	305
Глава 14. Конструкции термоэлектрических элементов и преобразователей	309
14.1. Термоэлектрические элементы	309
14.2. Термоэлектрические преобразователи.....	313
14.3. Термоэлектрические преобразователи, совмещенные с ядерным реактором.....	315
14.4. Термоэлектрические преобразователи, совмещенные с холодильником-излучателем.....	322
14.5. Термоэлектрические преобразователи, связанные с ядерным реактором и холодильником-излучателем при помощи контуров с жидкометаллическим теплоносителем.....	325
14.6. Термоэлектрические преобразователи с тепловыми трубами	327
Глава 15. Конструкции газотурбинных ЯЭУ	331
15.1. Основные особенности конструкций газотурбинных преобразователей космического назначения.....	331
15.2. Корпус компрессора.....	333
15.3. Ротор компрессора	338
15.4. Корпус турбины.....	340
15.5. Ротор турбины	343
15.6. Опоры роторов.....	346
Глава 16. Расчет прочности и колебаний элементов турбогенераторных преобразователей	347
16.1. Долговечность дисков турбины и осевого компрессора	347
16.2. Ресурс рабочих лопаток турбины	350
16.3. Вибрация рабочих лопаток турбины и компрессора	354
16.4. Расчет вала ротора турбины на ползучесть	345
16.5. Критическая скорость ротора.....	367
16.6. Расчет критических скоростей сложной конструкции ротора методом начальных параметров	379

Глава 17. Конструкция радиационной защиты КА.....	387
17.1. Радиационная защита необитаемых КА.....	387
17.2. Особенности радиационной защиты обитаемых КА.....	389
17.3. Расчет размеров радиационной защиты.....	390
17.4. Расчет прочности корпуса блока защиты	394
Глава 18. Конструкция холодильников-излучателей	
и элементов жидкометаллических контуров ЯЭУ	397
18.1. Конструктивные формы ХИ ЯЭУ.....	397
18.2. Выбор материалов для ХИ ЯЭУ	402
18.3. Пути повышения метеорной неуязвимости ХИ ЯЭУ	404
18.4. Элементы жидкометаллических контуров ЯЭУ	410

Раздел III. Основы эксплуатации ЯЭУ

Глава 19. Подготовка к действию	417
19.1. Краткая характеристика основных этапов.....	417
19.2. Физический пуск реактора	420
19.3. Подготовка ЯЭУ к натурным испытаниям	427
Глава 20. Испытания с имитацией реальных условий	
работы в космосе	429
20.1. Особенности и содержание основных операций	429
20.2. Стендовые комплексы	432
20.3. Методы обработки данных испытаний в ВК	
для реальных условий работы в космосе	435
Глава 21. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности	440
21.1. ЯЭУ как источник ядерной и радиационной опасности	440
21.2. Ядерная безопасность	440
21.3. Подготовка и проверка системы автоматического управления.....	443
21.4. Радиационная безопасность	444

Раздел IV. Методы и модели управления рисками при создании и эксплуатации ЯЭУ космического базирования

Глава 22. Обеспечение надежности на стадиях жизненного цикла.....	448
22.1. Содержательный анализ задач управления техническими рисками	
при создании и испытаниях ракетно-космической техники	448
22.2. Постановка задачи обоснования инновационных решений, связанных	
с обеспечением надежности изделий РКТ на стадиях их жизненного цикла.	
Показатели качества, надежности, риска.....	451
22.3. Разработка методик обоснования инновационных решений	
по обеспечению надежности РКТ с учетом неопределенности	467

Глава 23. Методики оценки показателей безопасности по трассам пусков и в районах падения отделяющихся частей РН с учетом характеристик объектов на притрассовых территориях	514
23.1. Показатели и критерии рисков в различных сферах деятельности....	514
23.2. Предлагаемая номенклатура показателей и критериев безопасности трасс пусков и РП ОЧ РН	522
23.3. Методика оценки показателей безопасности вдоль трасс пусков и на прилегающих к ним территориях из-за полетных аварий РН	525
23.4. Оценка размеров зон поражения при аварии РН	558
23.5. Методика оценки безопасности в РП и выбора новых РП с учетом фактора безопасности	576
23.6. Методики и алгоритмы поиска возможных мест расположения РП.....	586
Глава 24. Основные положения методики приближенной оценки рисков возникновения ситуаций, сопряженных с человеческими жертвами, при непрогнозируемом сходе с орбиты и падении остатков космических объектов на земную поверхность	589
24.1. Модель расчета распределения точек падения фрагментов РБ в условиях неопределенности	589
24.2. Модель распределения населения	600
24.3. Модель расчета риска поражения человека.....	601
24.4. Пример расчета риска для РБ.....	604
 Раздел V. Основные направления создания специализированных космических систем с использованием ЯЭУ среднего уровня мощности	
Глава 25. Роль и место космической ядерной энергетики среднего уровня мощности с прямым преобразованием энергии в решении перспективных задач освоения космического пространства.....	611
Глава 26. Перспективы создания космических систем различного назначения на основе ядерных энергетических установок среднего уровня мощности.....	623
26.1. Космические системы и комплексы, требующие создания источников энергии большой мощности на орбите.	623
26.2. Рациональное построение орбитальных группировок....	624
26.3. Перспективные радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли.....	626
26.4. Летный эксперимент Techsat 21	628
26.5. Принципы построения и обработки информации в многопозиционных РСА.....	634
Список использованных источников	664

Приложения

Приложение 1. Плазмообразование в многополостных электродах и физические концепции процессов в ТЭП	668
П.1.1. Общая характеристика процессов плазмообразования в режимах с тянущим электрическим полем	668
П.1.2. Экспериментальные исследования параметров плазмы многополостных катодов в режимах с тянущим полем.....	676
П.1.3. Процессы плазмообразования в кнудсеновских ТЭП	679
П.1.4. Процессы плазмообразования в дуговых ТЭП с многополостными катодами.....	682
П.1.5. Процессы токопереноса в дуговых ТЭП с многополостными анодами	685
П.1.6. Теория расчета параметров плазмы и энергетических характеристик ТЭП с многополостными электродами	687
Приложение 2. Результаты экспериментальных исследований ТЭП с гладкими и многополостными электродами	742
П.2.1 Экспериментальные вольт-амперные характеристики ТЭП в кнудсеновском цезий-бариевом режиме.....	742
П.2.2–2.9 Экспериментальные вольт-амперные характеристики ТЭП в дуговом цезиевом режиме.....	752
Приложение 3. Состояние проектных работ по созданию отечественных КА с ЯТЭУ и модернизация космодрома «Плесецк» для осуществления их предстартовых испытаний и запуска	803
П.3.1. Современное состояние работ по космическим ЯТЭУ	803
П.3.2. Основные положения проектирования космических комплексов для работ с КА, имеющими СЭС на основе ядерного реактора	809
П.3.3. Описание специальной технической позиции для подготовки к запуску КА с ЯЭУ	811
Приложение 4	814
П.4.1. Метод выбора направлений работ на ранних этапах проектирования сложной технической системы — термоэмиссионной ЯЭУ	814
П.4.2. Оценивание альтернатив и анализ результатов выбора наилучшего варианта проектирования ЯЭУ КА с учетом предпочтений заказчика	820
П.4.3. Определение весовых коэффициентов при переходе от одномерных функций полезности проектируемых сложных технических систем к многомерным	825
Литература	838