

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ЗАДАЧА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ АВИАЦИИ. МОТИВАЦИЯ ПЕРЕХОДА НА ВОДОРОД В КАЧЕСТВЕ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА.....	20
2. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ВОДОРОДА КАК АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ОБРАЩЕНИЯ С ВОДОРОДОМ.....	44
2.1. Преимущества водорода как авиационного топлива. Сравнительный анализ водорода и других видов авиационного топлива.....	44
2.2. История применения водорода в воздухоплавании, космонавтике и авиации.....	60
2.3. Факторы, сдерживающие внедрение водородных технологий в гражданской авиации.....	74
2.4. Вопросы безопасного обращения с водородом.....	89
3. РАЗРАБОТКА КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОРОДНОГО САМОЛЕТА.....	104
3.1. Критические технологии водородного самолета.....	104
3.2. Прямое сжигание водорода в турбореактивном двигателе.....	106
3.2.1. Основные сведения о горении водорода.....	106
3.2.2. Организация горения водорода.....	108
3.2.3. Особенности термодинамических циклов двигателей, работающих на водороде.....	121
3.2.4. Влияние водорода на снижение эмиссии вредных веществ.....	123
3.2.5. Особенности конструкции водородных силовых установок.....	130
3.2.6. Вопросы моделирования водородных двигателей.....	134
3.3. Преобразование химической энергии водорода с помощью топливных элементов в электрическую энергию, вращающую винт.....	136
3.3.1. Водородные топливные элементы.....	140
3.3.2. Разработки высокотемпературных топливных элементов компанией ХайПойнт.....	145

3.4. Сравнительный анализ технологий прямого сжигания водорода и его использования в топливных элементах.....	147
3.5. Разработка и системная интеграция водородных топливных баков в конструкцию планера .....	151
3.5.1. Размещение и системная интеграция водородных топливных баков в конструкцию планера.....	151
3.5.2. Конструкция и теплоизоляция водородного бака .....	157
3.6. Концептуальное моделирование водородного самолета в зависимости от характеристик топливных баков .....	162
3.7. Разработка элементов топливной системы.....	177
3.7.1. Теплообменники .....	179
3.7.2. Насосы и механические компрессоры .....	183
3.7.3. Трубопроводы.....	188
3.8. Водородное охрупчивание .....	189
3.9. Разработка технологий сверхпроводимости. Концепция сверхпроводящего самолета .....	191
3.10. Вопросы построения бортовых сетей электропитания.....	200
3.11. Концепция «водородно-водородного» самолета .....	202
4. СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ, ОТРАБОТКА И КОМПЛЕКСНАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	207
4.1. Системная интеграция, отработка и комплексная демонстрация технологий прямого сжигания водорода.....	207
4.1.1 Экспериментальный самолет В-57В (США).....	208
4.1.2. Экспериментальный самолет Ту-155 (СССР) .....	213
4.1.3. Беспилотный самолет Фантом Ай компании Боинг .....	218
4.1.4. Разработки компании CFM.....	226
4.1.5. Разработки компании Роллс-Ройс .....	231
4.1.6. Разработки компании Пратт-Уитни .....	235
4.2. Системная интеграция, отработка и комплексная демонстрация технологий водородных топливных элементов .....	238

4.2.1. Водородный самолет Diamond HK36 .....	238
4.2.2. Водородный самолет Rapid200-FC .....	240
4.2.3. Водородные разработки компании DLR.....	251
4.2.4. Водородные разработки компании ЗероАвиа .....	258
4.2.5. Водородные разработки компании ХайПойнт .....	266
4.2.6. Водородные разработки компании Универсал Хайдроджен.....	271
4.2.7. Водородный самолет AOS-H2 .....	279

5. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ И МОДЕЛИ ВОДОРОДНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БУДУЩЕГО .....	284
5.1. Проекты водородных самолётов компании Эрбас .....	284
5.2. Концептуальное моделирование «водородизации» самолета A330-800 компании Эрбас.....	291
5.3. Проекты водородных самолётов компании Эмбраер.....	293
5.4. Концептуальное моделирование «водородизации» самолета E175 компании Эмбраер.....	297
5.5. Проекты водородных самолетов, разработанных Институтом аэрокосмических технологий (Великобритания) .....	301
5.5.1. Проект регионального водородного самолета .....	305
5.5.2. Проект узкофюзеляжного водородного самолета .....	313
5.5.3. Проект среднеразмержного водородного самолета.....	321
5.6. Проекты водородных самолётов компании GKN Аэроспейс (Великобритания).....	332
5.7. Проект водородного самолета H2ERA компании Электрик Эйвиэйшн Груп (Великобритания).....	338
5.8. Проекты водородных самолётов Alerion M1h и Alcyon M3c компании Avions Mauboussin (Франция).....	340
5.9. Проект водородного самолета Element One компании HES (Сингапур).....	342
5.10. Проект водородного самолета Полярис Штутгартского университета (Германия) ...	345
5.11. Проекты водородных самолетов компании H2FLY (Германия) .....	353
5.12. Проекты водородных самолетов i-2 и i-5 компании APUS (Германия) .....	355

5.13. Проект водородного самолета Flying-V Делфтского технологического университета (Нидерланды) .....	359
5.14. Проект водородного самолета Miniliner компании Pipistrel (Словения).....	363
5.15. Проект HAPSS по «водородизации» самолета (Нидерланды).....	366
5.16. Программный комплекс обликочных исследований и концептуального моделирования сценариев декарбонизации авиации компании Боинг. Концепция регионального водородного самолета и отработка критических технологий.....	367
5.17. Проект водородного вертолета компании Пясецки (США).....	373
Литература .....	379