

ЦВЕТКОВ АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

**ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР
КОМБИНИРОВАННОЙ КРИОГЕННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
НА ОСНОВЕ ПЕНОПЛАСТОВ И ЭВТИ**

05.07.11 Тепловые режимы летательных аппаратов

**Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
Доктор технических наук
чл.-корр. АН СССР
Н.А. АНФИМОВ**

О Г Л А В Л Е Н И Е

СТР.

ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. КОНЦЕПЦИЯ КРИОГЕННОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ (ККТИ) НА ОСНОВЕ ЭВТИ И ПЕНОПЛАСТА (АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ККТИ)	
1.1. Назначение ККТИ.....	16
1.2. Свойства криоизоляции на основе ЭВТИ.....	21
1.2.1. Назначение и структурный состав ЭВТИ.....	23
1.2.2. Теплообмен излучением.....	23
1.2.3. Теплоперенос остаточным газом.....	27
1.2.4. Кондуктивный теплоперенос по твердому телу.....	35
1.2.5. Конвективный теплоперенос в газонаполненной ЭВТИ.....	37
1.2.6. Испытания ЭВТИ на модельных ёмкостях.....	40
1.3. Свойства криоизоляции на основе пенопластов	41
1.3.1. Структура и назначение криоизоляции на основе пенопластов.....	42
1.3.2. Исследование массопереноса в пенопластах	43
1.3.3. Исследование теплопереноса в пенопластах	49
1.3.4. Исследование нарушения целостности криоизоляции при термоциклировании.....	56
1.4. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в криоизоляциях.....	58
1.5. Экспериментальные установки для исследования криоизоляции и их компонентов	59
Выводы к разделу 1	60

Раздел 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СЛОЙСТО-ПОРИСТЫХ КРИОТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ	64
2.1. Экспериментальное исследование пенопластовой криоизоляции на модельных ёмкостях.....	65
2.1.1.Описание экспериментальных средств.....	65
2.1.2 Методики экспериментальных исследований.....	71
2.1.2.1 Методика определения температуропроводности.....	71
2.1.2.2 Методики определения теплопроводности и газопроницаемости КТИ в условиях имитации воздействия природных факторов	74
2.1.2.3 Методика разделения основных факторов механического нагружения на КТИ при её термоциклировании.....	79
2.1.2.4 Методика комплексного исследования эффективных коэффициентов теплопроводности и диффузии воздуха в пенопластах-компонентах КТИ, основанная на решении обратных задач	83
2.2. Экспериментальное исследование теплопереноса в комбинированной криогенной теплоизоляции на основе пенопласта и ЭВТИ.....	100
2.2.1.Исследование ККТИ в стационарном тепловом режиме испытаний	101
2.2.2.Исследование теплопереноса в комбинированной криоизоляции в переходных условиях при криогенных температурах	110
2.3.Исследование влияния массопереноса в пенопластах на тепловую эффективность ККТИ.....	127
2.3.1. Экспериментальная установка.....	129
2.3.2. Исследование кинетики газовыделения пенопластов.....	133
2.3.3. Исследование газопроницаемости пенопластов.....	141
Выводы и рекомендации к разделу 2	150

Раздел 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА (ТМП) В КОМБИНИРОВАННОЙ КРИОГЕННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ.....	156
3.1.Тепломассоперенос в газонаполненной ККТИ.....	156
3.2.Тепломассоперенос при вакуумировании ККТИ.....	161
3.3.Обобщенная формулировка основного уравнения математической модели ТМП в ККТИ	166
3.4.Методика расчета тепломассопереноса в ККТИ.....	169
3.5.Апробация модели и методики расчета тепломассопереноса в ККТИ	174
Выводы к разделу 3	177
Раздел 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ККТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЙ ТЕПЛОМАССОВЫЙ РЕЖИМ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ КОСМИЧЕСКИХ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ С КРИОГЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ТОПЛИВА.....	179
4.1. Теплопередача через ККТИ при предстартовой стоянке изделия	180
4.2. Влияние влаги, содержащейся в продувочном азоте, на тепловые характеристики ЭВТИ в составе ККТИ.....	186
4.3. Исследование очистки ЭВТИ от атмосферного кислорода при предстартовой подготовке изделия.....	187
4.4. Теплопередача через ККТИ на орбитальном участке эксплуатации разгонных блоков	192
Выводы к разделу 4	200
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	203
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	207