ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРЫВА

ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Специальность 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и

комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: КАРТАШЕВ Александр Леонидович доктор технических наук, доцент

ЧЕЛЯБИНСК-2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 4

ВВЕДЕНИЕ 5

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 13

1.1 Численные методы моделирования внешнего обтекания 14

1.2 Методы определения параметров пограничного слоя 19

1.3 Выводы 21

2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ КОРПУСОВ И ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТ 22

2.1 Модель течения, основанная на уравнениях Навье-Стокса 23

2.2 Модель течения, основанная на уравнениях Рейнольдса 24

2.3 Двухпараметрическая модель турбулентности 28

2.4 Модель невязкого газа 33

2.5 Модель турбулентного погранично слоя 34

3 АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО АНАЛОГА МОДЕЛИ НЕВЯЗКОГО ГАЗА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТУРБУЛЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ 39

3.1 Расчет распределения давления по поверхности элементов ЛА при использовании уравнений Эйлера 41

3.1.1 Двумерное обтекание профилей RAE 2822, NACA 0012 и МВВ-АЗ 41

3.1.2 Трёхмерное обтекание тел вращения конус - цилиндр, оживало - цилиндр 52

3.2 Расчёт силового воздействия потока на элементы ЛА с помощью уравнений Эйлера 58

3.2.1 Двумерное обтекание профилей RAE 2822, NACA 0012 и МВВ-АЗ 59

3.2.2 Трёхмерное обтекание тел вращения оживало-цилиндр 62

3.3 Выводы 64

4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТРЫВА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ С УРАВНЕНИЯМИ ЭЙЛЕРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ

АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 65

4.1 Двумерное обтекание профилей RAE 2822, NACA 0012 и МВВ-АЗ 67

4.2 Трёхмерное обтекание тел вращения конус - цилиндр, оживало - цилиндр 77

4.3 Математическая модель отрыва пограничного слоя 86

5 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА УРАВНЕНИЯХ ЭЙЛЕРА И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТРЫВА 88

5.1 Расчёт ромбовидных крыльев конечного размаха 92

5.2 Определение аэродинамических характеристик корпуса летательного аппарата 106

5.3 Формулировка метода математического моделирования внешнего обтекания летательных аппаратов с использованием уравнений Эйлера и

математической модели отрыва пограничного слоя 115

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ 118

ЛИТЕРАТУРА 121

ВЫВОДЫИЗАКЛЮЧЕНИЕ

КакотмечалосьвовводнойчастидиссертационнойработыэффективноеприменениесовременныхмоделейописывающихтурбулентныетечениядлямногопараметрическихзадачнепредставляетсявозможнымиззатребуемоговременивычисленийПоэтомувглавебылпроведенобзорсуществующихметодовиподходовописывающихтурбулентныетеченияИзрассмотренныхвглаведифференциальныхматематическихмоделейприменяемыхдляопределенияАДХракетнаиболееэкономичнойявляетсямодельнаосновеуравненийЭйлераЗасчетотсутствиявязкостныхслагаемыхиспользованиеуравненийневязкогогазапозволяетсущественносократитьвремярешениязадачвнешнейаэродинамикиПроведенныевглаветестовыерасчётыобтеканийпрофилейкрыльевителвращениясприменениемданныхуравненийпоказалихорошеесовпадениеполученныхАДХсэкспериментальнымиданнымидлябезотрывныхтечениймаксимальноерасхождениекоторыхнепревышалоВыявлениебезотрывныхтеченийпроводитсяпутемопределенияналичияотрывапограничногослояспомощьюразработаннойвглавематематическоймоделиотрываДаннаямодельосновананаобобщенииидополнениисуществующихуравненийтеориипограничногослояМодельотрываотвечаеттребованиямсовместногоприменениясуравнениямиЭйлераиневлечетувеличениявычислительноговремениЗакритерийхарактеризующийотрывпограничногослоявыбранкоэффициентповерхностноготренияУсловиемотрываявляетсяобращениекоэффициентавнольВтестовыхрасчетахобтеканийпрофилейкрыльевителвращениямодельотрывадостоверноопределилаотрывыпограничногослояИспользованиеуравненийЭйлеравотдельностиотматематическоймоделиотрывавлечеткполучениюнедостоверныхрезультатовчисленногомоделированияПоявлениекоэффициентаповерхностноготренияврасчетахоснованныхнауравненияхЭйлерапозволяетиспользоватьрезультатывычисленийдляотрывныхтеченийвкачествепредварительныхданныхЭтодобавляетуниверсальностииэффективностипримененияпредложенныхуравнений

ДлясовместногоиспользованиеуравненийЭйлераиматематическоймоделиотрывадляопределенияАДХЛАразработанметодматематическогомоделированияПроведенноевглаветестированиепоказалочтометодикаматематическогомоделированиясиспользованиемматематическоймоделиотрывапограничногослояиуравнениямиЭйлерауменьшаетвремяпроведениярасчетоввнешнегообтеканияминимумвразаиснижаетпотребнуюоперативнуюпамятьЭВМпримерновразДлясмешанныхслучаевобтеканиякогдаимеютсятечениясотрывамиибезотрывапограничногослоявремярасчетовуменьшаетсяпримерновразаПриэтомнеобходимоотметитьчтоверхняяграницаувеличенияпроизводительностизависитоттиповтеченийихарактерамногопараметричностирешаемойзадачи

Такимобразомподводяитогпроведенныхисследованийвыделимосновныеэтапыработы

 проведенанализрежимовобтеканиядлякоторыхдопустимоприменениеуравненийЭйлера

 проведенанализсуществующихполуэмпирическихметодовописаниятурбулентногопограничногослояпозволяющихвыявитьграницыпримененияуравненийЭйлераиотвечающихтребованиямсовместногорешенияприпроведениирасчётов

 разработанаматематическаямодельотрывапограничногослояотвечающаятребованиямэффективногоприменениясовместноссистемойуравненийЭйлера

 разработанметодматематическогомоделированиясиспользованиеммоделиотрывапограничногослояиуравненийЭйлерадляопределенияаэродинамическиххарактеристиклетательныхаппаратов

 проведенотестированиепредложеннойматематическоймоделиотрывапограничногослояиметодаматематическогомоделированиясиспользованиеммоделиотрываиуравненийЭйлераУстановленэффектпримененияуравнений

Эйлераиматематическоймоделиотрываприопределенииаэродинамическиххарактеристиклетательногоаппаратанапримерекорпусакрылатойракетыикрылаконечногоразмаха