

гации летательных аппаратов. – Самара: Издательство самарского университета, 2023. – С. 114-119.

2. King R.H. Finite Element Analysis with Solidworks Simulation. – Boston, MA: Cengage Learning, 2018. – 432 p.

3. Schijve J. Fatigue crack propagation in light alloy sheet material and structures. Advances in Aeronautical Sciences. Pergamon. 1962. – Pp. 387-408.

УДК 629.78

Е.А. Пупков, В.И. Куренков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПО ЗАДАНЫМ ЦЕЛЕВЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Введение. В настоящее время наблюдается тенденция сокращения времени проектирования космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за счёт автоматизированного расчёта тех или иных проектных характеристик КА. При этом безусловно необходимо обеспечить требования по заданным целевым характеристикам космической системы наблюдения, в которую должен войти проектируемый КА ДЗЗ в качестве элемента этой системы. В качестве основного методического подхода к проектированию КА ДЗЗ выбран подход: «на основе компоновки КА «вокруг» оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК)» [1].

Формирование проектного облика КА из новых элементов. В качестве основной составной части КА ДЗЗ выбирается ОЭТК, который для КА оптического высокодетального оперативного наблюдения занимает наибольший объём и имеет наибольшую массу по сравнению с массами элементов других бортовых систем. Для этого сначала задаётся высота орбиты, выбирается оптическая схема телескопа, производится габаритно-массовый расчёт ОЭТК, обеспечивающий заданные показатели линейного разрешения на местности, ширины полосы обзора и др. Производится расчёт потребных (для реализации) значений массы, габаритов и энергетики элементов систем приёма, преобразования, хранения и передачи видеoinформации. Далее производится расчёт потребных (для ре-

лизации) значений массы, габаритов, энергетики и моментов инерции элементов бортовых обеспечивающих систем (БОС) [1].

Затем КА «наращивается» путём расположения «вокруг» ОЭТК элементов БОС сначала с наибольшими, затем с меньшими массами и габаритами. Компоновка осуществляется по критерию минимума моментов инерции КА (исходя из необходимости высокой динамичности при выполнении программных разворотов).

Для проведения итерационных циклов расчёта в процессе синтеза массогабаритных и др. характеристик бортовых систем и контроля за «увязкой» проекта вводится так называемая «фиктивная масса КА» (а также фиктивные значения объёма, энергопотребления и моментов инерции). Фиктивная масса КА – это текущее (переменное) значение массы КА в процессе последовательного синтеза массогабаритных параметров бортовых систем КА и «наращивания» конструктивно-компоновочной схемы. Фиктивная масса КА в процессе итерационных циклов проектирования постоянно изменяется (уточняется).

Выбирается будущая форма корпуса КА (цилиндр, параллелепипед, шести или восьмиугольная призма и др.) исходя из полученных в процессе первой итерации масс, объёмов и энергопотребления целевой аппаратуры и БОС. Формируется облик силовой конструкции и рассчитывается масса корпуса КА по статистическим моделям, которая добавляется к массе, объёмам, энергопотреблению и пр. КА.

Во втором и последующих итерационных циклах проектирования в качестве фиктивной массы КА используют массу, полученную в конце предыдущего итерационного цикла. Стабилизированное значение массы КА по окончании итерационных циклов (а также объёма, энергопотребления и моментов инерции) принимается за проектную массу КА (а также проектные значения объёмов, энергопотребления и моментов инерции составных частей КА). Последовательность проектных работ при использовании этого подхода показана на рис. 1

Если при создании новых КА не используются заимствованные элементы, и нет существенных ограничений по форме и размерам корпуса, то, благодаря описанному выше подходу, можно получить проект КА, обладающий лучшими массогабаритными, инерционными, энергетическими и другими характеристиками по сравнению с КА, спроектированными, например, на основе совершенствования аналога. При такой подходе, в принципе, можно создать КА ДЗЗ с массогабаритными и

инерционными характеристиками, близкими к оптимальным. В таком КА все элементы бортовых систем выполняют функции в оптимальных режимах, как бы «без избытка и недостатка» масс, объёмов, моментов инерции, энергетики и пр.

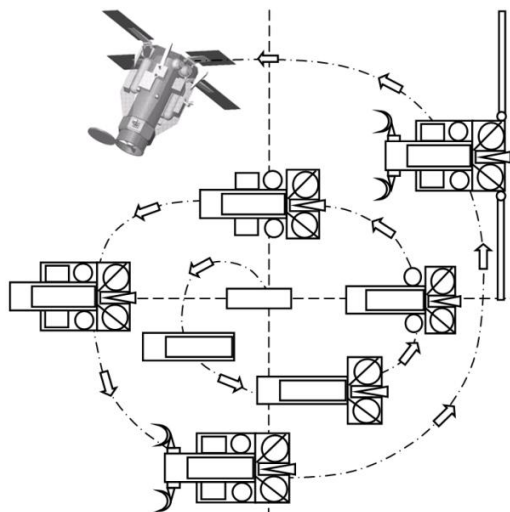


Рис. 1. Последовательность формирования проектного облика КА

Практически это означает, что *осуществляется оптимизация основных проектных характеристик КА в неявной форме*. Теоретически это означает, что производится оптимизация проектных характеристик *без формализации задач математического программирования*, в которых требуются построения целевых функций и функций ограничений.

Такой проект КА ДЗЗ можно рассматривать как «эталонный» по массогабаритным, объёмным, инерционным, энергетическим и другим характеристикам, то есть рассматривать его как виртуальный аппарат, характеризующий меру совершенствования выпускаемых изделий ракетно-космической техники по критериям минимума массы, габаритов, моментов инерции, среднесуточной мощности системы электропитания при обеспечении заданных целевых показателей.

Недостатком проектирования без заимствованных элементов и ограничений является то, что экономически не всегда целесообразно создавать новые элементы БОС, если можно заимствовать существующие, от-

работанные, хотя и с менее совершенными массогабаритными и энергетическими характеристиками. Кроме того, «эталонный» КА не будет оптимальным по надёжности, так как все новые элементы бортовых систем надо будет обрабатывать заново.

Формирование проектного облика КА с использованием заимствованных элементов. Если при проектировании КА используются заимствованные изделия и составные части (из других КА), то их характеристики считаются заданными. В этом случае в итерационных циклах не требуется расчёта потребных массогабаритных параметров для реализации той или иной функции составной части КА. Поэтому масса, габариты, энергопотребление и т. п. заимствованных элементов просто добавляются к текущим значениям соответствующих параметров КА. Практически это означает, что *осуществляется условная оптимизация основных проектных характеристик КА в неявной форме* (при выполнении условий по ограничениям варьирования параметров составных частей КА, которые заимствованы). Теоретически это означает, что производится условная оптимизация проектных характеристик *без формализации задач математического программирования и математической формулировки ограничений*.

Заметим, что, строго говоря, термин оптимизация в данном случае не совсем точен, поскольку речь идёт об улучшении проекта, которое проводится в неявном виде в рамках совершенствования характеристик отдельных составных частей КА.

Для реализации данного подхода к расчёту основных проектных характеристик КА ДЗЗ разработано программное обеспечение (ПО). На рис. 2 представлено окно ПО, открытое на закладках «Целевая аппаратура» и «ОЭТК». На поле окна, а также на следующих рисунках приведены сокращения в соответствии с [1].

В левой части окна показаны кнопки для ввода либо характеристик известных (заимствованных) элементов, либо новых (подлежащих расчёту характеристик). В правой части окна имеется поле для ввода исходных данных для расчёта, и поле для вывода результатов расчёта, которые появляются после нажатия на кнопку «Расчёт». На поле представлены пояснения, какие именно исходные должны быть введены в соответствующие окна и какие получаются в результате расчёта. На рис. 3 в качестве примера показан фрагмент окна ПО для расчёта параметров силовых силового гироскопического комплекса.

Синтез массогабаритных характеристик бортовых систем КА на основе физических моделей (третье приближение)

Назад

Ограничения | Целевая аппаратура | Бортовой комплекс управления | СОТР | СЭП | КДЫ | Конструкция | БКС и АФУ | Прочие элементы КА | Резерв | Результаты

Назад | Далее

ОЭТК | СПИМ | ВРП | Прочие элементы | Результаты расчета

Характеристики ОЭТК:
☐ Известны (заменены)
☒ Подлежит расчету

Расчет характеристик ОЭТК

Исходные данные	Результаты расчета
Детальность (в надира), м	2
Высота орбиты, км	700
Размер элемента линейки ПЗС, мк	6
Коэффициент увеличения длины ОЭТК за счет использования вторичных зеркал и линзовых корректоров	4
Относительное отверстие (светосила оптической системы)	13
Средняя плотность компоновки ОЭТК, кг/м ³	180
Удельная мощность энергопотребления, Вт/кг	0.02
Коэффициент рациональности компоновки (отношение момента инерции реального КА к моменту инерции тела с "размеченной" массой)	1.3
Коэффициент превышения диаметра конструкции отсека ОЭТК над диаметром ОЭТК	1.2
Коэффициент превышения длины конструкции отсека ОЭТК над длиной ОЭТК	1.2
Фокусное расстояние, м	4.20
Длина ОЭТК, м	1.05
Диаметр телескопа, м	0.32
Масса телескопа, кг	15.4
Объем телескопа, м ³	0.0
Максимальный приведенный момент инерции ОЭТК, кг м ²	1.1
Средняя мощность энергопотребления, Вт	0.30
Диаметр отсека КА с телескопом, м	0.38
Длина отсека КА с телескопом, м	1.26
Объем отсека КА с телескопом, м ³	0.14

Рис. 2. Начальное окно программы, открытое на закладке ОЭТК

Ввод ИД и расчет

Для расчета нажмите кнопку **Расчет**

Исходные данные для расчета

Количество снимаемых объектов за виток: 10

Время целевой работы на одном витке, мин: 20

Максимальный угол поворота КА от надира, град: 60

Допустимая угловая скорость прецессии рамки СГК, град/с: 8

Угловая скорость ротора гиросприбора, об/мин: 7200

Средняя плотность ротора гиросприбора, кг/м³: 2700

Коэффициент превышения массы ГП над массой ротора ГП: 1.3

Масса электронного блока в % от массы ГП: 40

Удельная мощность потребления энергии приборами, Вт/кг: 2

Плотность электронного блока гиросприбора, кг/м³: 700

Результаты расчета

Среднее время между съемками кадров, с: 120.0

Максимальное угловое ускорение при повороте КА, град/с²: 0.016

Максимальная угловая скорость поворота КА, град/с: 1.000

Управляющий момент, Нм: 0.092

Кинетический момент КА, Нмс: 5.5

Потребный кинетический момент ротора гиросприбора, Н м с: 0.6

Момент инерции ротора гиросприбора, кг м²: 0.000

Радиус ротора гиросприбора, м: 0.046

Объем ротора гиросприбора, м³: 0.000

Масса ротора гиросприбора, кг: 0.826

Масса гиросприбора, кг: 1.074

Масса электронного блока гиросприбора, кг: 0.429

Масса одного ГП с СЭП, кг: 1.504

Масса СГК (4 ГП с СЭП), кг: 6.016

Объем гиросприбора, м³: 0.000

Объем электронного блока ГП, м³: 0.000

Мощность потребления электроэнергии, Вт: 12.032

Средний диаметр гиросприбора, м: 0.100

Рис. 3. Окно программы для расчета СГК

Для получения результатов нажмите кнопку

Ограничения		Уточненные данные, полученные в результате итерационных циклов расчета	
Масса КА, кг	0.0	Расчетное текущее значение массы КА, кг	300.1
Средний объем КА, м ³	0.0	Расчетное текущее значение объема КА, м ³	0.83
Средний диаметр КА, м	0.0	Расчетное текущее значение среднего диаметра КА, м	0.731
Средняя длина КА, м	0.0	Расчетное текущее значение средней длины КА, м	1.976
Средняя плотность компоновки КА, кг/м ³	0.0	Максимальное значение момента инерции КА, кг м ²	316.6
Максимальный приведенный момент инерции КА, кг м ²	0.0	Среднесуточная мощность электропотребления, Вт	78.64

Для корректировки рассчитанных характеристик нажмите кнопку "Итерации" несколько раз (пока результаты не прекратят изменяться)

Внимание!
скорректированные массогабаритные характеристики и характеристики электропотребления можно посмотреть на соответствующих закладках

Рис. 4. Окно программы для вывода результатов расчёта по КА

На рис. 4 приведён фрагмент окна ПО с результатами одного из расчётов (после проведения серии итерационных циклов). Отметим, что расчёт проводился без каких-либо ограничений, поэтому в левой части окна стоят нулевые значения (ограничений).

Заключение. В настоящей статье предлагается подход к проектированию КА ДЗЗ по заданным целевым показателям и программное обеспечение, с помощью которых можно формировать облик КА по критериям минимума массы, моментов инерции, объёма и энергетики без постановки математических задач проектирования в явном виде.

Список использованных источников

1 Куренков, В.И. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли. Расчёт основных характеристик и формирование проектного облика: учебное пособие / В. И. Куренков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 461 с.