

$$\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i}{\eta_i}$$

Для получения эффективной системы энергопитания КА полученный результат по формуле 11, наиболее приближенный к 1, определит самую эффективную конфигурацию системы.

ПРИМЕНЕНИЕ МАХОВИЧНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Смирнов Д.П., Зеленский А.В.

В настоящее время в зависимости от класса КА применяются или проектируются следующие виды бортовых энергетических установок: аккумуляторные батареи (АБ), топливные элементы, панели солнечных элементов с АБ, солнечные концентраторы, радиоизотопные генераторы и другие установки. Если программой полета предусматривается проведение нескольких разнесенных во времени и напряженных по ёмкости сеансов, то для этого может быть использована серебряно-цинковая АБ, обладающая большой удельной энергией. Наибольшие же по ёмкости, но частые сеансы могут обеспечиваться никель-кадмиевой АБ, основное преимущество которой – большое количество зарядно-разрядных циклов (до 2000).

Бортовая энергетическая установка включает в себя основной и вспомогательный источник энергии и преобразователи электрической энергии, зарядные и разрядные устройства для АБ, устройства защиты и коммутации.

Основной источник обеспечивает электропитание при средней мощности, а вспомогательный – при пиковых нагрузках. Для нормального функционирования источников энергии необходимо согласовать режим первичного источника, а также предусмотреть изменение напряжения на выходе АБ.

Масса АБ определяется расчетной энергоемкостью, а их ресурс уменьшается с увеличением глубины разряда и скорости заряда-разряда. Для увеличения ресурса АБ уменьшают глубину разряда, что приводит к увеличению ее массы до 30..40% суммарной массы СЭП. Кроме того, для обеспечения стабильности характеристик АБ необходимо их термостатирование.

Идеальным накопителем можно считать устройство, позволяющее разделить во времени процессы выработки и потребления энергии, имеющие высокий КПД и вступающее в работу мгновенно.

Использование накопителя энергии позволит удовлетворить потребность КА в маневренной мощности для покрытия пиков нагрузки, компенсировать ее кратковременные изменения. Это первая часть задач, решаемых с помощью накопителя. Вторая важная часть – повышение стати-

ческой и динамической устойчивости также решается с помощью накопителей.

Инерционные накопители инвариантны к месту установки и в силу большой удельной энергоемкости компактны. Время реверса мощности определяется возможностью перевода разгонного двигателя накопителя в режим генератора (и наоборот) и составляет десятые доли секунды. Уже существуют установки энергоемкостью до 10^9 Дж (0,25 МВт·ч) при КПД до 85%. Первоначально в качестве бортовых энергоустановок использовались комбинации панелей солнечных элементов с серебряно-цинковыми АБ. Однако из-за необходимости увеличения сроков службы КА (увеличения количества разрядно-зарядных циклов) в СЭП стали применять никель-кадмиевые АБ, например, на КА "Скайлеб" (США). В некоторых случаях оказывается целесообразным применение на одном КА различных АБ.

В настоящее время нет накопительных систем более экономичных, чем АБ. Однако исследования последних лет показывают, что должным образом спроектированный маховичный накопитель будет конкурентоспособным не только по отношению к существующим АБ, но и к разрабатываемым, если накопитель будет выполнять одновременно роль преобразователя постоянного тока низкого напряжения в переменный более высокого напряжения.

Использование маховичных накопителей энергии в КА обосновано тем, что в качестве основного источника питания на КА используются СБ.

Маховики позволяют реализовать высокие значения удельной мощности, как в режиме заряда, так и разряда, количество циклов при этом определяется только ресурсом используемых подшипников.

Маховичные накопители выполняются взаимно компенсирующими парами и разгоняются или тормозятся синхронно, обеспечивая снабжение энергией и вырабатывая сравнительно малые остаточные векторы управляющих моментов. Управляющие гироскопы-накопители энергии работают в циклическом режиме между максимальным и минимальным моментом (кинетическим), вырабатывая управляющие моменты аналогично обычным управляющим гироскопам. Максимальный кинетический момент определяется требованием по обеспечению электроэнергией, а минимальный соответствует требованиям эффективного управления. Электронная аппаратура обеспечивает преобразование и регулирование электроэнергии, а также работу маховичных накопителей в различных режимах.

При проектировании и исследовании маховиков массовую энергоемкость системы зачастую неверно характеризуют отношением энергии, запасаемой на режиме предельно возможной угловой скорости, к массе одного лишь маховика. Это отношение можно довольно просто рассчитать или определить экспериментально по результатам разгонных испы-

таний маховиков. Однако в практике разработки и оценки маховичных систем его целесообразно применять лишь для сопоставления разных по конструкции маховиков.

Маховики классифицируют по их массовой энергоемкости. Хотя единого соглашения об уровнях, соответствующих низкой, средней и высокой энергоемкости, нет, все же можно дать им следующие оценки:

- а) низкая массовая энергоемкость — менее 10 Вт·ч/кг (36 кДж/кг);
 - б) средняя массовая энергоемкость — от 10 до 25 Вт·ч/кг (36—90 кДж/кг);
 - в) высокая массовая энергоемкость — выше 25 Вт·ч/кг (90 кДж/кг).
- Поскольку эти оценки обычно относят только к маховику, они определяют, по существу, максимальное эксплуатационное значение массовой энергоемкости маховика, т. е. величину $K\sigma_{\text{н}}/\rho$.

Отсутствие побочных выделений при работе, неограниченная глубина разряда, способность автоматически переходить с режима генерирования на режим аккумуляирования энергии, стабильность эксплуатационных характеристик в широком диапазоне температур объясняет широкий интерес к использованию маховиков в составе СЭП КА.

Создание высокопрочных материалов и опор обусловило возникновение предпосылки для создания перспективных инерционных аккумуляторов энергии.

В общем случае под «инерционным» («динамическим») аккумулятором энергии понимается устройство, накапливающее ее во вращающейся массе. Из этого определения следует, что инерционный аккумулятор содержит тело вращения, обладающее значительным моментом инерции — маховик, и систему для подвода и отведения энергии — трансмиссию. Маховик разгоняется путем подключения к источнику энергии, после отключения, от которого накопленная энергия сохраняется длительное время и при необходимости используется. Таким образом, инерционный накопитель можно схематично представить как «двигатель — маховик — генератор».

Накопление энергии осуществляется с помощью вращательного движения махового колеса. Запасаемая маховиком энергия на единицу массы выражается формулой:

$$W_0 = k_s \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right),$$

где k_s — коэффициент формы колеса; σ — допустимое механическое напряжение материала; ρ — плотность материала маховика.

Максимально возможное количество энергии маховик определенной массы способен накопить в случае, если он изготовлен из материала малой плотности, но обладающего большой удельной прочностью. С конца 70-х годов в исследованиях маховиков произошел настоящий взрыв, вы-

званный возрастающей доступностью композиционных материалов, имеющих большую удельную прочность.

Принято считать, что в силу различных технических условий наибольшее количество энергии, запасаемой маховиком, составляет не более 10 МВт·ч, примерно равное нижнему пределу того количества энергии, которое выгодно использовать в бытовой электросети. Такие показатели имеет маховик, изготовленный из специального композиционного материала, вращающийся со скоростью 3000 об/мин. Конструкция маховика — многокольцевая, усиленная креплениями в виде ободов; в материале использованы волокна Кевлара и эпоксидный наполнитель. Наружный диаметр маховика равен примерно 5 м, длина — около 5 м, общая масса — около 130 т. Если маховик такой же мощности изготовить из стали, то он будет в 10 раз тяжелее и в 4 раза дороже.

Проекты конструкций современных инерционных накопителей основаны на применении анизотропных материалов (стекла, стеклопластиков и усиленных графитовых пластинок), которые при одной и той же массе в несколько раз прочнее, чем изотропные материалы. Инерционный накопитель большой энергоемкости (супермаховик) должен состоять из одного или более тонких твердых стержней, каждый из которых сделан из максимально возможного числа высокопрочных волокон оптимальной формы, расположенных в одном и том же направлении. Энергия передается через герметический корпус посредством магнитной муфты, электромагнитного мотор-генератора или гидромуфты. Суммарная масса маховика зависит от соотношения рабочих скоростей. Возможна и конструкция, основанная на использовании концентрических колец из волокнистых материалов, разделенных небольшими зазорами из склеивающего материала. Супермаховики будут иметь диаметр 4—5 м и располагаться в подземных камерах. Считают, что стоимость системы аккумулирования на супермаховиках составит 40 долл/(кВт·ч) (400 долл/кВт).

Путем создания вакуума и, соответственно, снижения потерь на трение до минимума потери энергии доводятся до наименьшего значения. Постоянная частота выдаваемой энергии поддерживается за счет применения полупроводниковых преобразователей или генераторов с переменным полем. Супермаховики, предназначенные для сглаживания максимума нагрузки системы (при разряде в течение 10ч с полной нагрузкой), должны иметь следующие характеристики:

Энергоемкость	До 1000 МВт·ч ($3,6 \cdot 10^{12}$ Дж)
Примерные капиталовложения	400-700\$/кВт
Вероятный срок службы	30 лет
Вероятная удельная емкость	3,5 кВт·ч/м ³ (10^7 Дж/м ³)
Возможный КПД	80-85 %

Созданию крупных инерционных накопителей сопутствуют следующие трудности: сложность повышения удельной энергоемкости маховика; обеспечение безопасности вращающихся маховиков, поскольку осколки разорвавшегося маховика обладают большой убойной силой; необходимость максимального снижения внутренних потерь путем применения специальных подвесок маховиков.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Матюнин С.А., Барынкин В.В.

Вопросам технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей посвящено большое количество работ. При разработке тонкопленочных оптических элементов (спектроформирующих элементов) особый интерес представляет вопрос нанесения многослойных диэлектрических покрытий /1-3/. Среди всего многообразия конструктивных вариантов спектроформирующих элементов наиболее перспективными являются интерференционные.

В ближней инфракрасной и видимой областях спектра спектроформирующие элементы изготавливаются из систем тонких пленок, получаемых осаждением испаряемых в вакууме материалов. Технология изготовления таких систем имеет ряд особенностей. К ним относятся: методы получения высокого вакуума, способы испарения материалов; методы контроля толщины пленок и их оптических постоянных во время осаждения и др. На рисунке 1 приведена схема установки вакуумного осаждения

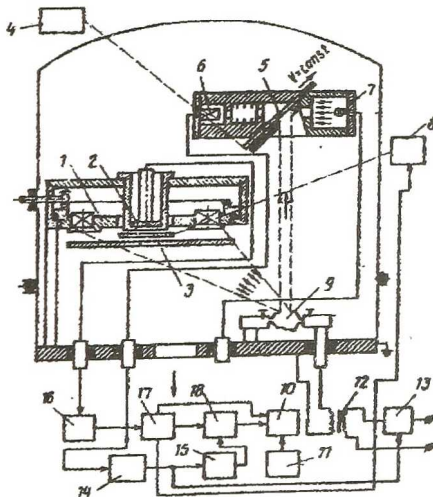


Рисунок 1 – Схема установки вакуумного осаждения оптических пленок