

рующего действия возможно применение нескольких стоячих волн, пересекающихся под выгодным нам углом. Оценочные расчеты показывают, что требуется создание ПАВ с частотой гигагерцового диапазона, примерно около трёх – десяти гигагерц. Создание ПАВ такой частоты на сегодняшний день проблемы не составляет. Требование к потоку осаждаемого материала также ниже, чем в предыдущем методе.

В заключении хочется отметить, что создание теории атомномолекулярных механизмов роста в таких системах требует значительного времени и материальных затрат и в настоящее время находится в зачаточной стадии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры./Под ред. Л.Ченга, К.Плога – М.: Мир, 1989.
2. Гиваргизов Е.И. Искусственная эпитаксия – новое направление кристаллизации пленок в технологии микроэлектроники и вычислительной техники – М.: 1987.
3. Иевлев В.М. и др. Структурные превращения в тонких пленках – М.: Металлургия, 1988.
4. Осянов А.В. Коалесценция кластеров в тонких пленках // Металлофизика 1990 – т.12 - № 4.
5. Жигалка А.М. Распределение дислокаций несоответствия при частичной релаксации напряжений в гетероэпитаксиальной системе // ЖТФ – 1991. – т.61 – вып.7 – с. 48-56.

### ГЕОМАГНИТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**Шарафеев Н.В., Иванов В.В.**

С 9 по 24 сентября 1999 года на околоземной орбите находился космический аппарат «Фотон-12». Эксперименты, проводимые на борту, использовали микрогравитацию, уровень которой на «Фотонах» в тысячи раз меньше, чем на пилотируемых объектах. Одной из составляющих, вызывающих микрогравитацию, является магнитное поле. Для контроля магнитного поля внутри космического аппарата на борту был установлен прибор «Мираж».

Общее магнитное поле внутри космического аппарата складывается, во-первых, из поля намагниченных во время изготовления ферромагнитных деталей КА и приборов, во-вторых, электрическими токами, протекающими внутри приборов, и, в-третьих, магнитным полем Земли, искаженным ферромагнитными деталями. В присутствии ферромагнитных деталей общее магнитное поле испытывает усиление в десятки и сотни

раз [1]. Ферромагнитные вещества обладают также остаточной намагниченностью, т.е. сохраняют свою намагниченность после того, как действие намагничивающего поля прекратилось.

Обработка данных, полученных с помощью прибора "Мираж", показала, что значительная часть магнитного поля внутри космического аппарата составляет магнитное поле Земли. Чтобы определить поле, создаваемое приборами, необходимо из общего поля вычесть геомагнитное поле. Землю можно принять за стержнеобразный магнит, который смещен примерно на 400 км от центра в сторону Тихого океана и наклонен от оси вращения приблизительно на 12 градусов [1].

Для удобства магнитное поле Земли представляется обычно магнитным склонением  $D$ , магнитным наклоном  $I$ , напряженностью магнитного поля Земли  $T$ , вертикальной составляющей магнитного поля  $V$  и горизонтальной составляющей магнитного поля  $H$ . Магнитное склонение  $D$  — это угол между астрономическим (географическим) меридианом и горизонтальной составляющей магнитного поля. Геомагнитные элементы связаны между собой следующим образом:

$$T = (H^2 + V^2)^{1/2},$$

$$\operatorname{tg} I = V/H.$$

Магнитное поле намагниченного шара имеет простое математическое выражение

$$T = M^*(1 + 3*\sin^2 \varphi)^{1/2} / R^3,$$

$$V = 2M*\sin\varphi / R^3,$$

$$H = M*\cos\varphi / R^3,$$

где  $M$  — магнитный момент,  $R$  — расстояние от центра шара до точки наблюдения,  $\varphi$  — магнитная широта.

Как видно из формул, напряженность магнитного поля максимальна на магнитных полюсах и минимальна на магнитном экваторе при одинаковом расстоянии от центра. Максимум в два раза больше минимума. Напряженность магнитного поля в перигее на высоте 232 км от поверхности Земли, чей средний радиус 6367 км, в  $((6367+232)^3)/(6367^3) = 1,113$  раз меньше, чем на поверхности. Напряженность магнитного поля в апогее на высоте 385 км от поверхности Земли в  $((6367+385)/(6367))^3 = 1,193$  раз меньше, чем на поверхности. Перигей расположен в самой северной точке орбиты, а апогей — в самой южной.

Согласно справочным данным [2] максимальная напряженность полного геомагнитного поля в северном полушарии равна 0,6 эрстеда или

единицах СИ около 48 А/м, в южном – 0,7 эрстеда (56 А/м). Поле в перигее 1,113 раза меньше, т.е. 43 А/м, в апогее в 1.193 меньше и равно 48 А/м. В системе СИ первичной величиной является магнитная индукция, а не напряженность магнитного поля как в СГСМ, гауссовой и других. Магнитная индукция в вакууме в перигее равна  $43(4\pi \cdot 10^{-7}) = 54$  микротесла, в апогее – 60 мкТл. Минимальное поле на поверхности Земли в районе Южной Америки 0,25 эрстед, на средней высоте орбиты  $0,25/1,153 = 0,22$  э или 22 мкТл.

Для круговой орбиты с наклоном плоскости орбиты  $Q$ , периодом обращения  $T_b$ , долготой восходящего узла  $Д_0$  и временем прохождения восходящего узла  $t_0$ , согласно [3] и [4], для момента времени  $t$  в первом приближении можно определить координаты космического аппарата: долготу  $Д_c$  и широту  $Ш_c$  по следующим формулам:

$$Д_c = \arctg(\operatorname{tg}(2\pi(t-t_0)/T_b) * \cos Q) - 2\pi(t-t_0)/T_z + Д_0 ;$$

$$Ш_c = \arccos(\sin(2\pi(t-t_0)/T_b) * \sin Q) .$$

Угол  $S$  между меридианом и осью  $X_c$  стабилизированного КА согласно расчетам равен

$$S = \arctg(\cos Q / (\sin Q * \cos(2\pi(t-t_0)/T_b) * (1 - (\sin Q * \sin(2\pi(t-t_0)/T_b))^2)))^{1/2} .$$

Если не учитывать смещение от центра Земли воображаемого земного магнита, то относительно просто рассчитать характер магнитного поля вокруг космического аппарата для двух крайних случаев положения магнитных полюсов относительно плоскости орбиты. Наклон магнитной оси Земли относительно своей оси вращения эквивалентен изменению наклона орбиты к магнитному экватору. Из-за вращения Земли наклонение к магнитному экватору то увеличивается на 12 градусов, то уменьшается на такую же величину. При наклонении орбиты "Фотона-12" в 62,8 градусов крайние углы наклона плоскости орбиты к плоскости магнитного экватора равны максимальный – 74,8 градусов, минимальный – 50,8 градусов

На участке стабилизированного полета ось  $Y$  в связанной системе координат направлена от центра Земли, следовательно, величина геомагнитного поля по этой оси  $F_y$  равна вертикальной составляющей поля  $V$  со знаком минус, то есть

$$F_y = -V = -2M * \sin\phi / R^3 .$$

Ось  $X$  космического аппарата на этом участке полета лежит в плоскости орбиты, то есть угол между этой осью и меридианом равен  $S$ . Угол между осью  $Z$  и меридианом  $S + 90^\circ$ , так как эта ось перпендикулярна плоскости орбиты. Исходя из горизонтальной составляющей геомагнит-

ного поля  $H = M \cdot \cos \varphi / R^3$ , можно определить величину поля в связанной системе координат по осям  $X$  и  $Z$  аппарата по следующим формулам:

$$F_x = M \cdot (\cos S \cdot \cos \varphi) / R^3;$$

$$F_z = M \cdot (\sin S \cdot \cos \varphi) / R^3$$

Графики зависимостей геомагнитных полей, наблюдаемых на космическом аппарате, от углового положения КА на орбите на участке стабилизированного полета даны на рисунках 1 и 2.

Относительная величина напряженности магнитного поля Земли вдоль оси  $Y_c$  стабилизированного космического аппарата равна относительной величине вертикальной составляющей магнитного поля с противоположным знаком.

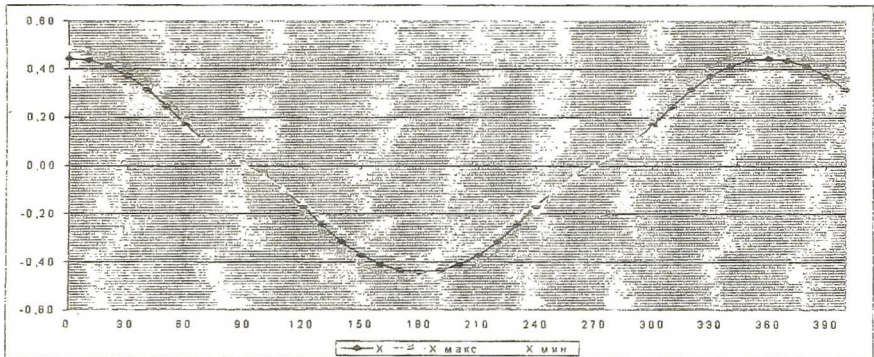


Рис. 1. Относительная величина напряженности магнитного поля Земли вдоль оси  $X_c$  КА для трех наклонений  $Q_m$ .

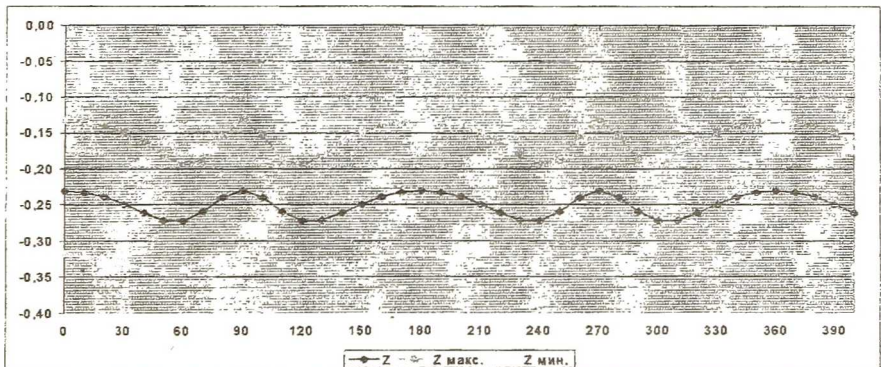


Рис. 2. Относительная величина напряженности магнитного поля Земли вдоль оси  $Z_c$  КА для трех наклонений  $Q_m$ .

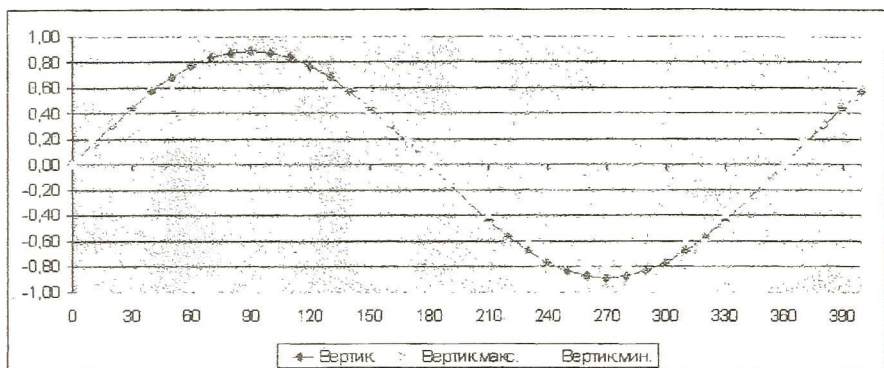


Рис.3. Относительная величина напряженности магнитного поля Земли вдоль оси  $Y_c$  КА для трех наклонений  $Q_m$ .

Магнитное поле Земли в действительности имеет более сложный характер. Только в первом приближении с точностью до 30% его можно принять за поле однородно намагниченного шара. Чтобы более точно определить величину магнитного поля Земли вокруг космического аппарата, необходимо использовать карты магнитного поля. Из-за векового хода геомагнитного поля такие карты приходится менять через каждые 10 лет. При применении старых карт следует учитывать, что за сто лет магнитное поле изменилось не более чем на 5%. Вследствие суточных вариаций и магнитных возмущений магнитные полюса смещаются в течение суток относительно среднего положения примерно на 100 км [1]

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Почтарев В.И. Магнетизм Земли и космического пространства. М.: Наука, 1966. - 144с.
2. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К.Коксяна. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
3. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. - М.: Наука, 1981.- 720 с.
4. Левантовский В.И., Механика космического полета в элементарном изложении. - М.: Наука, 1980.- 512 с.

### МЕТОДИКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ 142ЕН5

Плотников В.Б., Пиганов М.Н., Жувак А.И.

Анализ тенденций развития радиоэлектронных устройств (РЭУ), устанавливаемых на борту космических аппаратов (КА), показывает пер-