

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИИ РС-5 В ТОЧКЕ СТОЯНИЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА «ЭЛЕКТРО»**

А.А. Воронин

Исследуются геомагнитные пульсации, зарегистрированные бортовым магнитометром в точке стояния геостационарного спутника «Электро» в 1997-1998 годах. После корректировки магнитометрических данных на неточную ориентацию штанги магнитометра были отобраны интервалы времени, во время которых в магнитометрических данных не просматривалось реакции на включение/выключение бортовой аппаратуры спутника. На выбранных таким образом интервалах времени был выполнен спектральный анализ и цифровая фильтрация данных. В результате впервые в данных магнитных измерений с борта российского геостационарного спутника удалось идентифицировать пульсации типа РС-5.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ, МАГНИТОМЕТР, ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДАННЫХ.

ВВЕДЕНИЕ

Геомагнитные пульсации – это отражение процессов в магнитосфере. Они регистрируются независимо от местного времени и при различных обстоятельствах. Понимание физической природы пульсаций затруднительно без наблюдения колебаний вблизи их источника непосредственно в космическом пространстве. Космические геомагнитные наблюдения показали, что, несмотря на малую амплитуду на земной поверхности, амплитуда геомагнитных пульсаций в космическом пространстве составляет от 5% до 10% величины локального магнитного поля, а временами достигает 50%. В 1954 году Данжи предсказал, что такие осцилляции возникают в магнитосфере в виде магнитогидродинамических (МГД) волн. Первые же спутниковые наблюдения магнитного поля Земли подтвердили это теоретическое предсказание. В настоящее время магнитометры, установленные на борту научных спутников, регулярно фиксируют низкочастотные пульсации в магнитосфере.

Космические наблюдения пульсаций не имеют завершённого характера и в ряде случаев представляют собой одиночные пробы. Существует целый ряд трудностей, препятствующих получению исчерпывающей информации о структуре волн в космическом пространстве. Одна из них состоит в том, что движение спутника в пространстве не позволяет разделить временные и пространственные вариации магнитометрических данных. Исключение,

когда разделение временных и пространственных вариаций возможно – это геомагнитные измерения с борта геостационарного спутника. Большинство спутниковых данных о геомагнитных пульсациях получено с борта геостационарных спутников, так что наиболее подробно изученная область околоземного космического пространства соответствует узкому кольцу в экваториальной плоскости.

Типы и периоды пульсаций собраны в таблице 1.

Таблица 1. Типы и периоды пульсаций.

Название	Период, сек
РС-4	40 – 150
РС-5	150 – 600
РС-6	> 600
Рi-2	40 – 150
Рi-3	> 150

В данной статье мы ограничимся рассмотрением пульсаций РС-5. Колебания в диапазоне периодов РС-5 могут представлять собой поперечные волны [3], волны сжатия или волны смешанного типа.

Наиболее детальные исследования пульсаций РС-5 по данным геостационарного спутника АТС-1 выполнены в работах [4, 5, 6]. Колебания имеют период ~ 150-350 сек. Обычно амплитуда колебаний не превышает 10 нТ, но в отдельных случаях она может достигать и 20 нТ. Колебания происходят вблизи меридиональной плоскости, вертикальные и горизон-

тальные составляющие пульсаций примерно равны. Тем самым рассматриваемый вид Рс-5 отождествляется с МГД-волной смешанного типа, имеющей как продольную, так и перпендикулярную составляющие. Форма колебаний квазисинусоидальная с резким началом и концом. Амплитуда колебаний примерно одинакова в течение всего случая. В спектре колебаний, как правило, более чётко выражена одна спектральная составляющая. В ряде случаев спектр состоит из дискретных гармоник. Все гармоники поляризованы эллиптически. Направление главных осей их эллипсов поляризации совпадает. Большинство случаев наблюдения спутником АТС-1 пульсаций Рс-5 (67%) регистрировалось в интервале 16 часов 30 мин – 18 часов местного времени.

Предметом настоящей статьи является идентификация геомагнитных пульсаций Рс-5 на геостационарной орбите в точке стояния российского геостационарного спутника «Электро».

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Первым отечественным геостационарным спутником, на котором проводились геомагнитные измерения, был «Электро», запущенный с космодрома Байконур ракетой-носителем «Протон» 31 октября 1994 года. Точка стояния спутника – на экваторе на 76 градусах восточной долготы – находилась над Индийским океаном к югу от Индии. Магнитные измерения проводились на борту спутника с марта 1997 по август 1998 года. В число экспериментов, проводимых на спутнике, входило измерение магнитного поля. Датчики бортового магнитометра были установлены на специальной немагнитной штанге на расстоянии более 2 метров от спутника. Для проведения магнитных измерений с борта ИСЗ «Электро» был выбран трехкомпонентный феррозондовый магнитометр СГ-76, изготовленный в НПО «Рудгеофизика». Прибор преобразует напряженность магнитного поля в пределах ± 180 нТл по каждой из трех ортогональных компонент в аналоговые напряжения от 0 до 6 В. Бортовая система телеметрии ИСЗ «Электро» принимала сигналы в форме частотной модуляции. Поэтому магнитометр СГ-76 был дополнен блоком аналого-частотного преобразования, преобразующем аналоговые напряжения 0-6 В в частотно-модулированный сигнал 900-2700 Гц [1]. В эксплуатации на спутниках типа «Прогноз» и станциях «Венера-9, 10» прибор показал высокую надежность и стабильность параметров.

Измерения трёх компонент геомагнитного поля в точке стояния геостационарного метеорологического спутника «Электро» проводились один раз в минуту. Поэтому по данным геомагнитных измерений с борта этого спутника можно идентифицировать только пульсации с периодами, превышающими 120 секунд. К таким пульсациям относятся Рс-4, Рс-5, Рс-6, Рi-2, Рi-3. Как уже отмечено выше, предметом исследования в этой статье будут пульсации Рс-5.

Для проведения спектрального анализа данных геомагнитных наблюдений необходимо иметь непрерывную последовательность данных. Пример непрерывного участка скорректированных на неточную ориентацию штанги магнитометра [2] данных измерений показан на рис.1.

На рисунке хорошо видны возмущения во всех компонентах магнитного поля. Помимо этого, на рисунке видно, что в компонентах магнитного поля присутствуют прямоугольные импульсы. Поэтому спектр сигнала магнитометра получается сильно зашумленным (см. рис.2).

Просмотр магнитометрических данных показал, что подобные импульсы появляются в разные дни в одно и то же время. В связи с чем было сделано предположение о том, что данные выбросы в компонентах магнитного поля есть реакция на периодические включения / выключения бортовой аппаратуры спутника. Таким образом, эти выбросы не имеют отношения к магнитометрическим данным и могут быть устранены без потери информативности.

ФИЛЬТРАЦИЯ

Поскольку нас интересуют пульсации Рс-5 с периодами 150–600 секунд, то можно ограничить рассматриваемую область спектра частотами 2-7 мГц. Для этого необходимо пропустить компоненты магнитного поля через полосовой фильтр. В качестве такого фильтра был выбран фильтр Чебышева II рода с полосой пропускания 2-7 мГц. Импульсная характеристика фильтра показана на рисунке 3. Фильтры данного типа могут быть небольшого порядка (что критично при малой длительности фильтруемого сигнала), обеспечивая при этом хорошее подавление частот, выходящих за пределы полосы пропускания. К тому же фильтр Чебышева II рода не имеет пульсаций АЧХ в области пропускания.

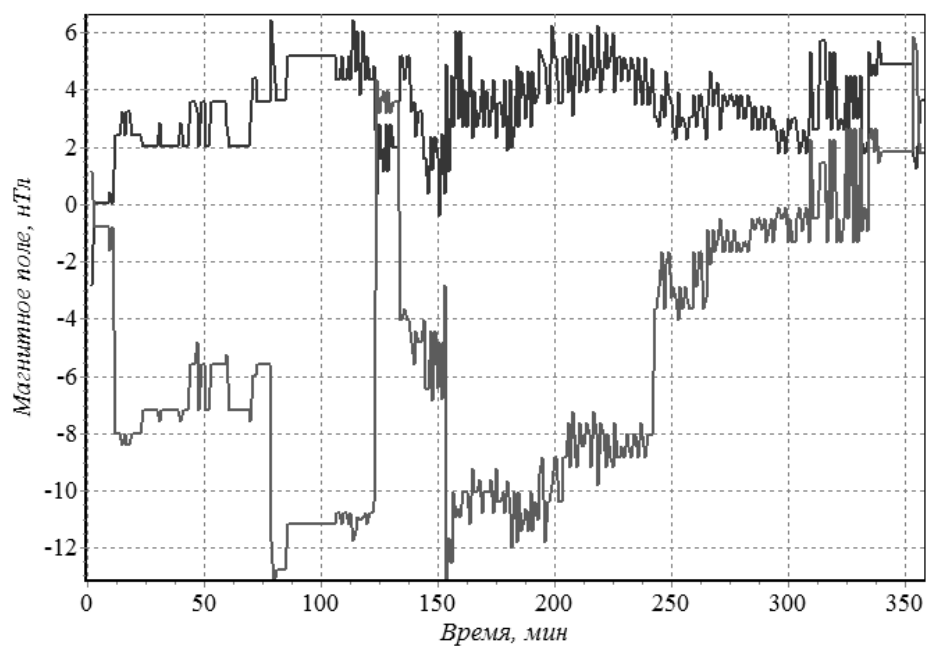


Рис. 1. Непрерывный участок данных.

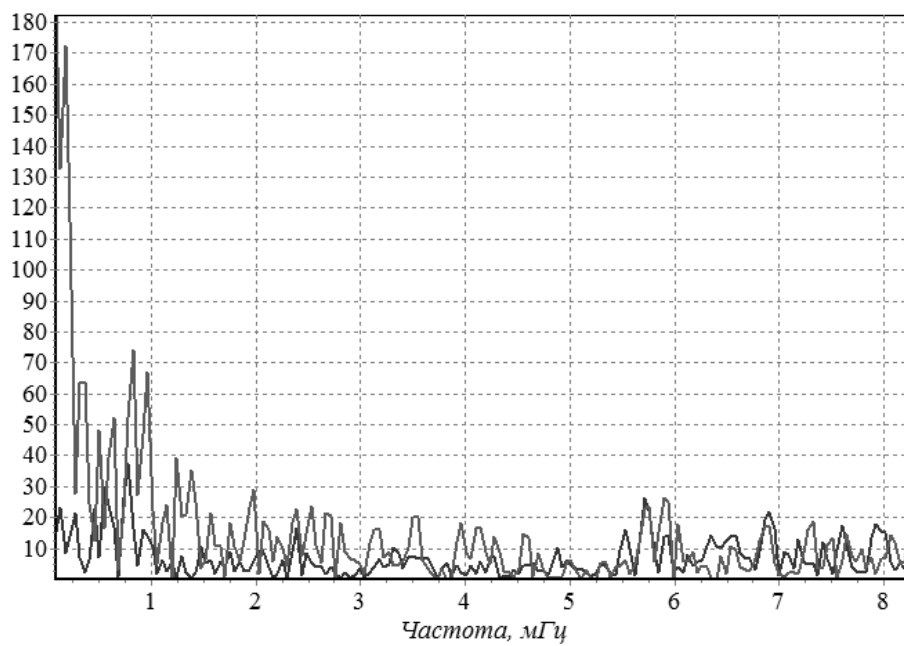


Рис. 2. Спектр компонент магнитного поля.

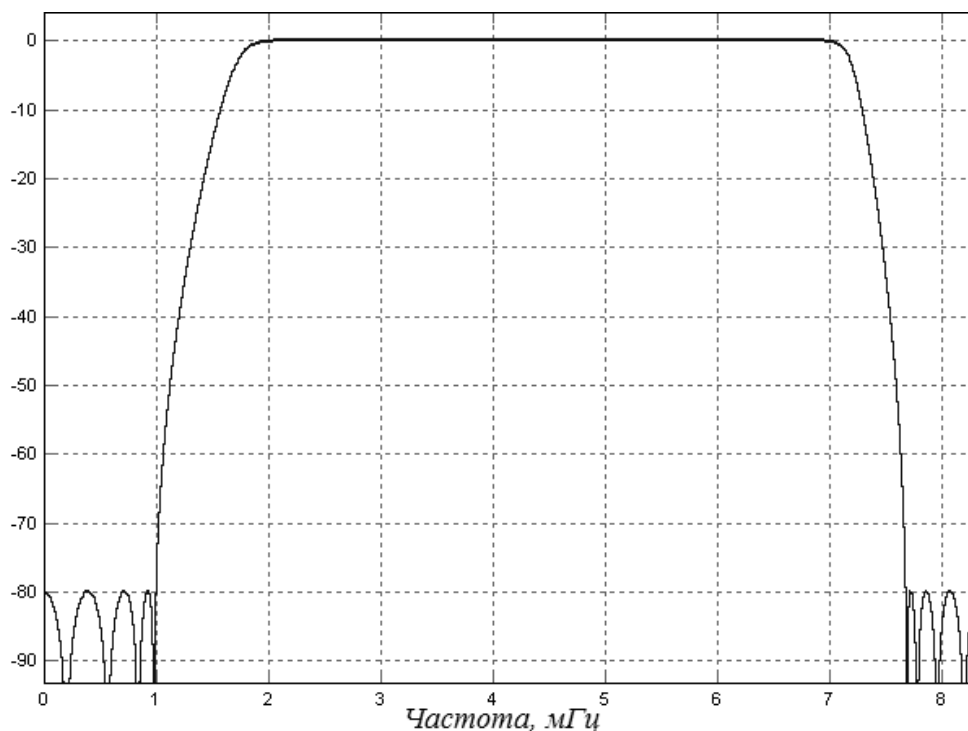


Рис. 3. Импульсная характеристика фильтра.

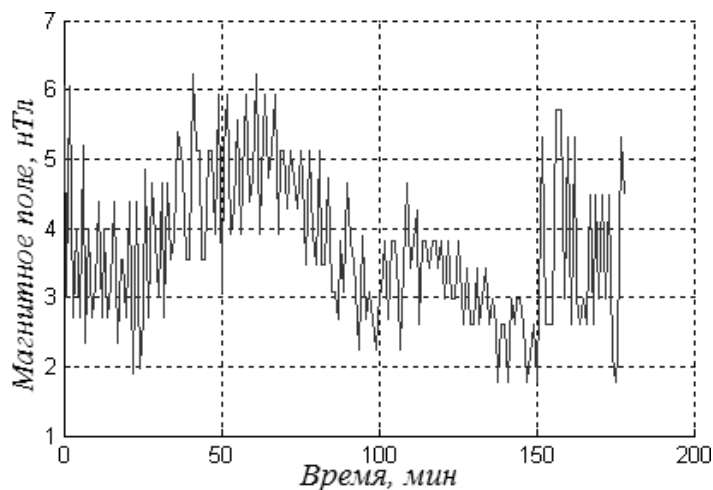


Рис. 4. X-компонента на одном из непрерывных участков данных.

Рассмотрим один из непрерывных участков данных, на котором присутствуют пульсации, и попытаемся выделить полезный сигнал. На рисунке 4 показана X-компонента. Как видно из рисунка, в сигнале присутствуют значительные помехи. Спектр этого сигнала показан на рисунке 5. В спектре присутствует множество частот, не попадающих в требуемый диапазон и, соответственно, не представляющих интереса для анализа.

После фильтрации сигнала с помощью полосового фильтра Чебышева из X-компоненты

удалось убрать все частоты, не попадающие в требуемый диапазон (см. рисунок 6). Значения X-компоненты после фильтрации показаны на рисунке 7.

В спектре отчетливо видны пики в районе 5 и 5,8 мГц, что соответствует периодам 200 и 172 секунды соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что зарегистрированные бортовым магнитометром колебания относятся к пульсациям типа Pc-5.

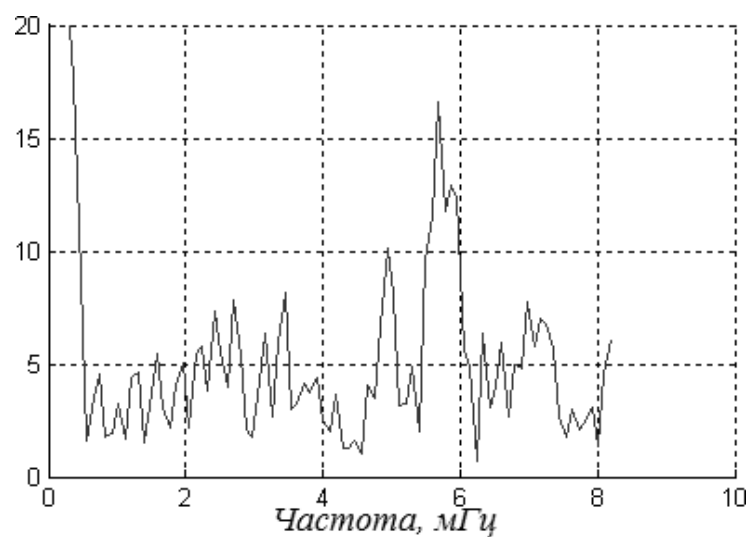


Рис. 5. Спектр X-компоненты после фильтрации.

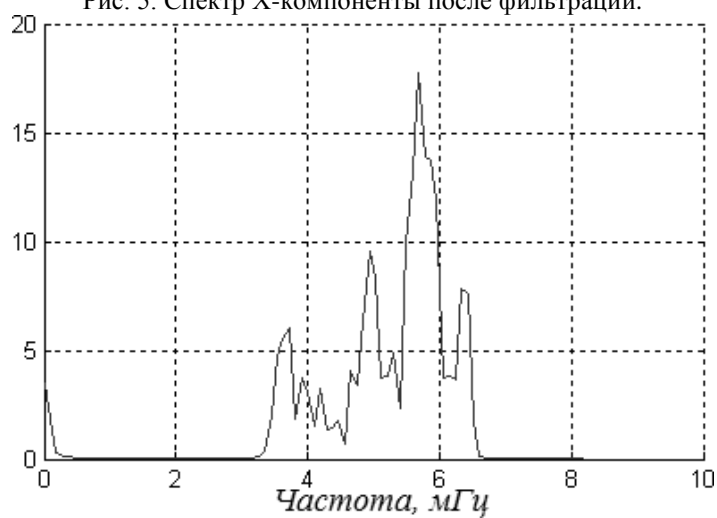


Рис. 6. Спектр X-компоненты после фильтрации.

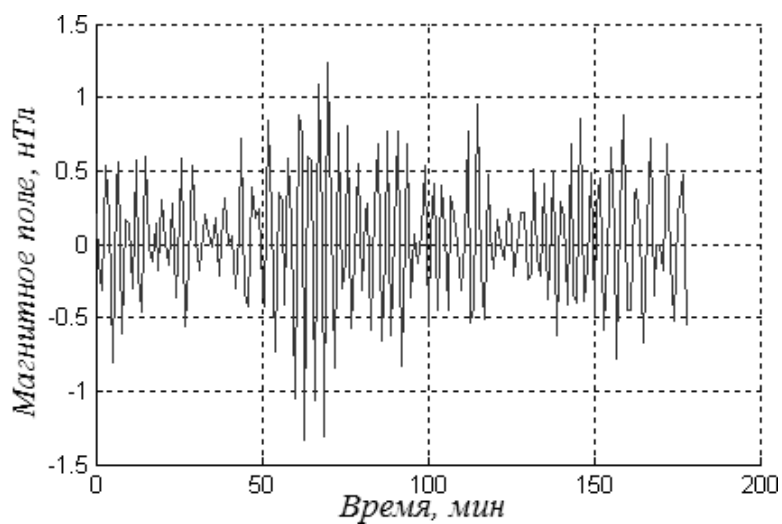


Рис. 7. Значение X-компоненты после фильтрации.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Было проанализировано множество участков данных, на которых удалось идентифицировать геомагнитные пульсации Pc-5, с разными периодами. На рисунках, представленных ниже, в левом верхнем углу показано значение

компоненты магнитного поля, в правом верхнем углу – спектр, в левом нижнем – значение компоненты после фильтрации, в правом нижнем – спектр отфильтрованных данных.

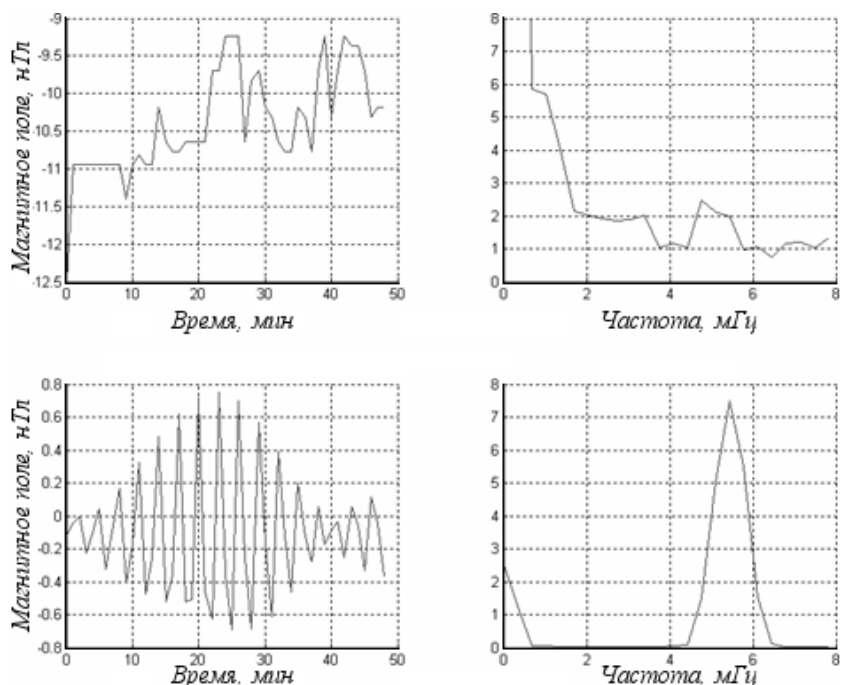


Рис. 8. Пульсация с периодом 180 секунд.

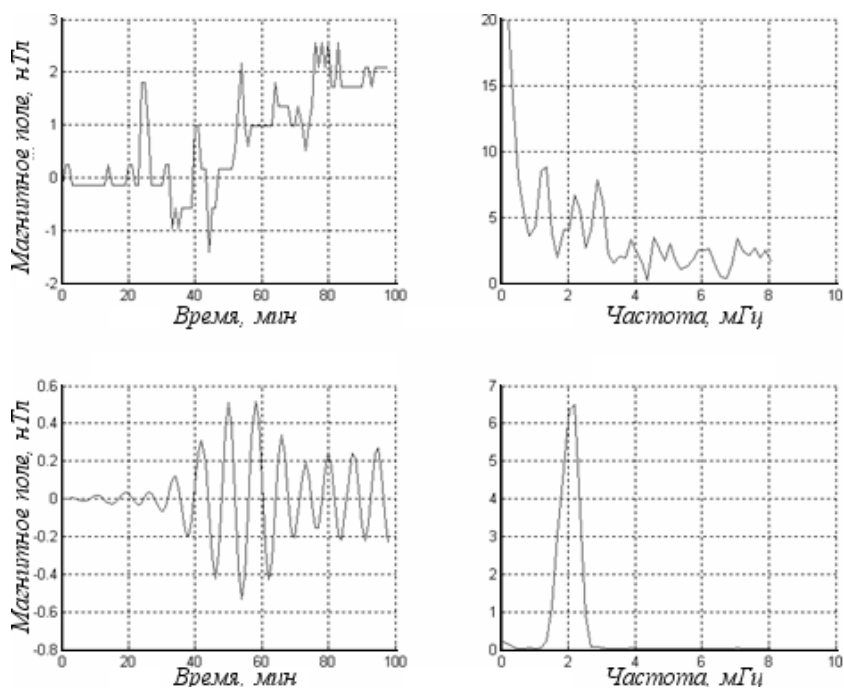


Рис. 9. Пульсация с периодом 490 секунд.

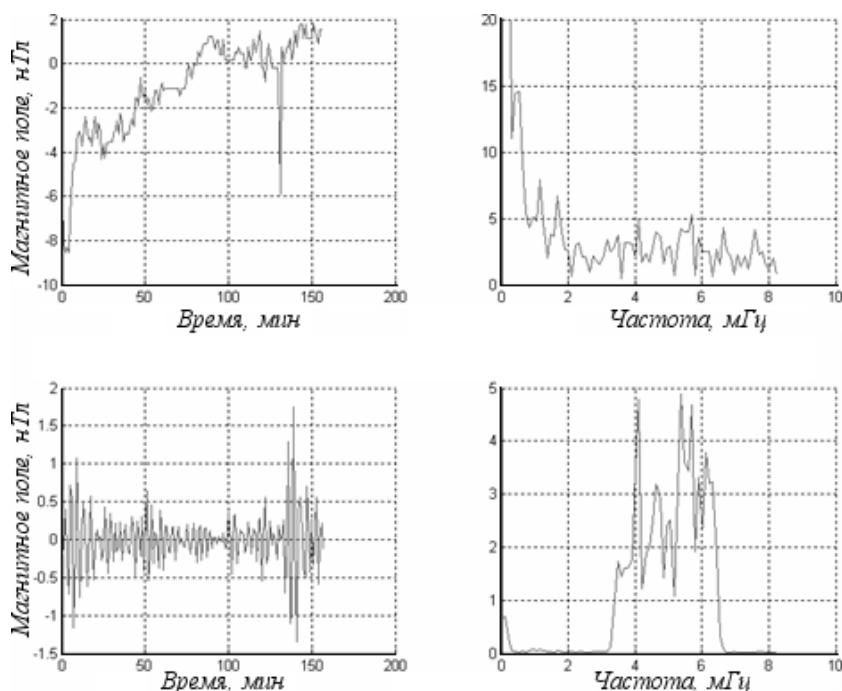


Рис. 10. Множество пульсаций с разными периодами.

ВЫВОДЫ

Несмотря на неточную ориентацию штанги магнитометра геостационарного метеорологического спутника «Электро» и значительные помехи, вносимые работой бортовой аппаратуры, впервые удалось идентифицировать

геомагнитные пульсации Pc-5 на геостационарной орбите по данным геомагнитных измерений с борта российского спутника.

IDENTIFICATION OF GEOMAGNETIC PULSATIONS PC-5 AT THE GEOSTATIONARY SATELLITE "ELECTRO" STANDING POINT

The subject of the paper is geomagnetic pulsations registered by the magnetometer onboard the geostationary satellite "Electro" in 1997-1998. After the magnetic data correction on the incorrect magnetometer boom orientation selected were time intervals when magnetometer did not indicate turns on/off of the satellite utility systems. For the selected time intervals the spectral analysis and the digital filtration of the magnetic data were carried out. As a result the Pc-5 geomagnetic pulsations were for the first time identified in magnetic data obtained at the standing point of the geostationary satellite "Electro".

KEYWORDS: GEOMAGNETIC PULSATIONS, MAGNETOMETER, DIGITAL FILTRATION.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Борец, Л. Н. Жузгов, В. А. Крутов. Средства и методы магнитных измерений на орбите геостационарного ИСЗ. Препринт ИЗМИРАН № 7(892), Москва, 1990.
2. Воронин А.А., Коррекция магнитометрических данных, полученных с борта метеорологического геостационарного спутника «Электро», Труды ГГО, вып.563, 2011, в печати
3. Cummings W.D., Mason F, Coleman P.J. Some characteristics of low-frequency oscillations observed at ATS-1., J. Geophys. Res., 1972, v.77, №4, pp.748-750
4. Barfield J.N., McPherron R.L. Investigation of interaction between Pc-1 and 2 and Pc-5 micropulsations at the synchronous orbit during magnetic storms. J. Geophys. Res., 1972, v.77, №25, pp.4707-4719.
5. Barfield J.N., McPherron R.L. Statistical characteristics of storm-associated Pc-5 micropulsations observed at the synchronous equatorial orbit. J. Geophys. Res., 1972, v.77, №25, pp.4720-4733.
6. Barfield J.N., McPherron R.L., Coleman P.J., Southwood D.J. Storm-associated Pc-5 micropulsation events observed at the synchronous equatorial orbit. J. Geophys. Res., 1972, v.77, №1, pp.143-158.