

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СКАНИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРА ОМЕГА С УМЕНЬШЕНИЕМ ЕГО ГАБАРИТОВ

Э.И. Рожавский, П.П. Моисеев, В.А. Котцов

Институт космических исследований РАН, Москва

Видеоспектрометр ОМЕГА на КА «Марс-Экспресс» был разработан для картографирования минералогического состава поверхности и молекулярного состава атмосферы планеты Марс. Он имеет три спектральных канала с диапазонами: VNIR 0,38–1,05 мкм, IR1 1,05–2,7 мкм и IR2 2,7–5,1 мкм. Угловое разрешение $4'$, что дает пространственное разрешение 0,4–4 км в зависимости от высоты орбиты.

Сканирующее устройство (СУ) является важной частью этого прибора. Оно обеспечивает просмотр поверхности планеты, сканирование поперек трассы полета и позволяет развернуть спектрометрические данные в изображение. Угловой размер полосы обзора на поверхности $4,4^\circ$. Формируется многомерное изображение, которое характеризует не только спектральный состав принимаемого излучения, но и особенности его пространственного распространения. Это дает возможность картографировать наблюдаемую территорию, оценивать изменчивость и протяженность природных образований. Задача картографирования выдвигает высокие требования к качеству развертки изображения, которое в значительной степени определяется техническими характеристиками СУ.

Выбор типа конструкции СУ вытекает из технических требований к разрабатываемой съемочной системе по скорости сканирования, линейности, по размаху и точности развертки, по габаритам, оптическому диапазону. Для инфракрасного диапазона это зеркальная система с механической разверткой. К настоящему времени в Институте космических исследований накоплен значительный опыт разработки и применения таких конструкций. СУ подобного типа с зеркалом существенной массы на торсионе было успешно реализовано в многозональной

съемочной системе «Фрагмент» для изучения природных ресурсов Земли, разработанной при научном руководстве Г.А. Аванесова. Оно показало высокие эксплуатационные характеристики.

Сканирующее устройство видеоспектрометра ОМЕГА выполнено в виде двух функциональных подсистем: входного оптического блока и электронного блока управления. Внешний вид двух блоков СУ видеоспектрометра ОМЕГА показан на рис. 1.

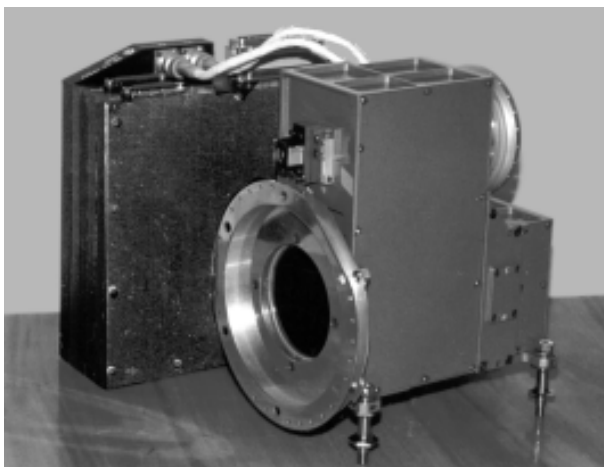


Рис. 1. Сканирующее устройство видеоспектрометра ОМЕГА

Конструкция оптико-механической части СУ в первом блоке содержит зеркало, качающееся на оси с магнитным приводом. Его особенность в том, что эта ось не закреплена в подшипниках, а упруго подвешена на торсионе. Преимуществом использования упругих элементов в подвижной части СУ является исключение случайных биений в опорах вращающейся оси и связанных с этим случайных смещений развертывающего зеркала и направления визирования. Отсутствие подшипников исключает необходимость применения смазки. Последнее свойство особенно важно при работе аппаратуры в космических условиях.

Электронный блок управления выполнен в отдельном корпусе и связан с приводом и датчиком положения в подвижной части СУ и с основным блоком управления прибора ОМЕГА электрическими кабелями. Первый вариант СУ видеоспектрометра

ОМЕГА был разработан для КА «Марс-96» и имел аналоговый блок управления. Габаритно-массовые характеристики этого блока управления, выполненного на отечественной элементной базе, были значительными.

Поскольку СУ на основе торсиона с магнитным приводом имеет существенно нелинейные собственные характеристики, то роль блока электронного управления для него очень важна. Управление не только задает режимы сканирования, но и приближает закон развертки к линейному.

Разработка нового варианта СУ видеоспектрометра ОМЕГА для КА «Марс-Экспресс» потребовала увеличения жесткости упругих элементов торсиона и существенного уменьшения габаритно-массовых характеристик прибора. Поскольку оптическая часть не могла быть уменьшена, то это требование для блока электроники ужесточилось. Разработка нового варианта этого блока была выполнена на цифровой элементной базе.

В отличие от непрерывной аналоговой системы управления СУ прибора ОМЕГА КА «Марс-96», цифровая система управления разверткой СУ видеоспектрометра ОМЕГА КА «Марс-Экспресс» обеспечивает сканирование, при котором контроль и управление движением осуществляется в дискретной последовательности угловых положений. Это позволило создать более гибкую систему управления с высокой степенью линейности развертки, что обеспечивает получение правильной геометрии по полю изображения. Некоторые отклонения от линейности наблюдаются только на краю полосы изображения.

Блок управления СУ задает выполнение 12 режимов сканирования, которые выбирают при проведении наблюдений в зависимости от параметров орбиты. Характеристики режимов сканирования СУ прибора ОМЕГА показаны в табл. 1.

В зависимости от высоты марсианской орбиты угол сканирования можно изменять от $\pm 0,275$ до $\pm 2,2^\circ$ с коэффициентом 2, что обеспечивает выбор ширины просматриваемой полосы поверхности планеты. При этом число элементов разрешения формируемого изображения вдоль строки изменяется от 16 до 128. Для согласования со скоростью перемещения вдоль орбиты эти параметры обеспечиваются для трех скоростей сканирования.

Оптическая схема СУ содержит перископическую зеркальную систему блока входной оптики, помещенную перед зеркальным входным объективом блока спектрометра, со щелью в

его фокальной плоскости. Первое по ходу лучей зеркало снабжено сканирующим механизмом. Габаритные размеры перископической зеркальной системы определяются световым диаметром входного объектива видеоспектрометра с учетом максимального угла сканирования.

Таблица 1

Режимы работы сканирующего устройства видеоспектрометра ОМЕГА

№ режима	Угол сканирования, град	Скорость сканирования, град/с	Время прямого хода, с	Число тактов на прямом ходе	Общее время прямого и обратного хода, с
1	$\pm 2,2$	6,8750	0,64	128	0,80
2	$\pm 1,1$	6,8750	0,32	64	0,40
3	$\pm 0,55$	6,8750	0,16	32	0,20
4	$\pm 0,275$	6,8750	0,08	16	0,10
5	$\pm 2,2$	3,4375	1,28	128	1,60
6	$\pm 1,1$	3,4375	0,64	64	0,80
7	$\pm 0,55$	3,4375	0,32	32	0,40
8	$\pm 0,275$	3,4375	0,16	16	0,20
9	$\pm 2,2$	1,7187	2,56	128	3,20
10	$\pm 1,1$	1,7187	1,28	64	1,60
11	$\pm 0,55$	1,7187	0,64	32	0,80
12	$\pm 0,275$	1,7187	0,32	16	0,40

Блок входной оптики задает направление наблюдения видеоспектрометра, поэтому все оптические элементы юстировались в корпусе блока относительно его оптической оси. Направление оптической оси для монтажа и последующего контроля направления визирования прибора закрепляется контрольным оптическим кубиком на передней стенке оптического блока.

Внутри этого оптического блока СУ размещены электромагнитный привод сканирующего механизма и узел контроля углового положения зеркала, работающий на датчиках Холла.

Для повышения эффективности магнитная система привода выполнена в виде набора пластин, втягиваемых в щели электромагнита, с согласованной формой магнитных элементов. Ширина щелей требует высокой точности сборки магнитного механизма и отсутствия люфтов качающейся оси с зеркалом. Сложность заключается в том, что пластины не должны касаться поверхности магнитов в щелях при колебаниях оси, вызванных внешними

воздействиями. Кроме точности сборки, необходимо еще и отсутствие свободного состояния упругих элементов привода.

Электронный блок управления выполнен по схеме с холодным резервированием. Выбор осуществляется сигналом от основного блока управления видеоспектрометра. Монтаж блока выполнен на миниатюрных планарных элементах. При изготовлении процессорной части блока управления использовались программируемые логические матрицы (ПЛМ) фирмы Actel, которые применяются с однократной прошивкой. Сложность технологии изготовления СУ заключалась в том, что сканирующий механизм требует индивидуальной настройки режимов сканирования в зависимости от реальных свойств упругих и магнитных элементов сборки. Поэтому на этапе настройки использовался перепрограммируемый аналог ПЛМ фирмы Xilinx, а в конструкции электронных плат было предусмотрено их временное подключение. После настройки отлаженная программа прошивалась в рабочую ПЛМ, с которой она проходила все последующие испытания. Изменение конструкции электронного блока управления по сравнению с аналоговым вариантом позволило вдвое уменьшить его габаритно-массовые характеристики.

Функционирование СУ с упругим элементом имеет свои особенности. При отсутствии питания зеркало в исходном состоянии под действием заданной начальной небольшой упругости торсиона находится в отклоненном (крайнем) положении, опираясь на упор. Оно не фиксируется дополнительно при запуске КА и может совершать колебательные движения. При включении питания зеркало устанавливается в среднее положение, которое стабилизируется и, при необходимости или в случае частичного отказа механизма развертки, позволяет выполнять постоянное наблюдение в надир вдоль трассы полета.

При сканировании поверхности планеты, перед началом каждого прохода зеркала, магнитная система привода СУ взводит пружинный механизм торсиона с зеркалом на заданный угол отклонения. Затем пружинный механизм совершает прямое рабочее движение под действием упругих сил. Процесс этого рабочего движения непрерывно оценивается следящей системой контроля углового положения. Определяемое текущее угловое положение сравнивается в блоке управления с заданным положением при сканировании, в результате сравнения формируется корректирующий сигнал. Этот сигнал подается на

цепь управления электромагнитом привода и обеспечивает ли-
неаризацию разветки.

Сканирующее устройство видеоспектрометра ОМЕГА обеспечивает работу инфракрасного канала прибора, поэтому важным требованием является тепловой режим и обеспечение правильного функционирования сканирующего механизма при возможно низких температурах. Дополнительное радиационное охлаждение оптического блока происходит за счет излучения через входное отверстие. Стабилизация теплового режима работы оптического блока в составе видеоспектрометра обеспечивается температурой, заданной на его посадочном месте. Контроль теплового режима осуществляется термодатчиками, размещенными внутри блока. Обеспечение необходимых требований и проверка их выполнения оказались непростой задачей. СУ видеоспектрометра ОМЕГА КА «Марс-Экспресс» работает в полете при температуре в оптическом блоке -15°C , что существенно ниже, чем в СУ прибора ОМЕГА КА «Марс-96».

Одно из важных требований к космической аппаратуре — выдерживание механических нагрузок при запуске. Как показал опыт испытаний, упругие свойства СУ с торсионом позволяют ему выдерживать рекордные вибрационные нагрузки. При этом с использованием упругих свойств можно обходиться без арретирования подвижных элементов. Механические испытания блоков СУ проводились в особо жестких условиях. В качестве примера можно указать, что при проведении конструкторско-доводочных испытаний (КДИ) СУ прибора ОМЕГА оптический блок выдержал вибрационные нагрузки 18 g по каждой из трех осей при частоте 100 Гц. Испытания проводились как на синусоидальные, так и на случайные воздействия. На рис. 2 показан рабочий момент этих испытаний.

Объем данных, получаемых видеоспектрометром ОМЕГА только в одном сеансе наблюдения, составляет 46 Мбит. Это вызвано тем, что данные представляют множество слоев изображений, каждое из которых получено в одной из длин волн в области от 0,38 до 5,2 мкм. Уникальные информационные возможности видеоспектрометра позволяют интерпретатору визуально выбирать характерную точку на изображении наблюдаемой поверхности, а затем анализировать ее спектр в широком спектральном диапазоне: например, при интерпретации получаемых данных связать составляющие поверхностный слой

породообразующие минералы, распознаваемые по спектральному признаку, со структурными морфологическими характеристиками наблюдаемого участка поверхности.



Рис. 2. Рабочий момент вибрационных испытаний

Таблица 2

Итоги работы сканирующего устройства видеоспектрометра ОМЕГА на марсианской орбите в январе 2004 г.

Виток	Дата	Район наблюдения	Ориентация	Объем данных, Мбит
6	8.01	Isidis	Надир	46
18	13.01	E Valles Marineris	Надир	46
22	14.01	W Hellas	Надир	46
24	16.01	Gusev.Spirit	Надир	46
30	18.01	Hellas + S pole	Надир	46
32	19.01	E Elysium	Надир	46
37	21.01	Olympus	Надир	46
41	22.01	Hellas + S pole	Надир	46
44	23.01	Limb sounding	По 3 осям	46
49	25.01	N.S dichotomy W Tharsis	Надир	46
56	27.01	Elysium	Надир	46

Летом 2003 г. СУ видеоспектрометра ОМЕГА было запущено на КА «Марс-Экспресс» и в конце года успешно начало съемку

Марса. Уже первые месяцы функционирования прибора на марсианской орбите дали большой объем высококачественной информации о поверхности планеты. В табл. 2 приведены итоги за один (первый) месяц работы прибора.

Опыт разработки, испытаний и использования СУ прибора ОМЕГА показал, что описанная конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами. СУ с торсионными элементами могут эффективно применяться в условиях вакуума и низких температур, при отсутствии смазки и больших механических нагрузках, обладают линейностью, достаточной для развертки мелкомасштабного изображения.