

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «МЕТЕОР-2»

Л.А. Макриденко, С.Н. Волков,
А.В. Горбунов, В.П. Ходненко
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)
Р.С. Салихов
(ОАО «НИИЭМ»)

Показана эффективность Государственной метеорологической космической системы «Метеор-2» и изложены принципы её создания. Приведены назначение и основные характеристики, представлена перспектива её развития.

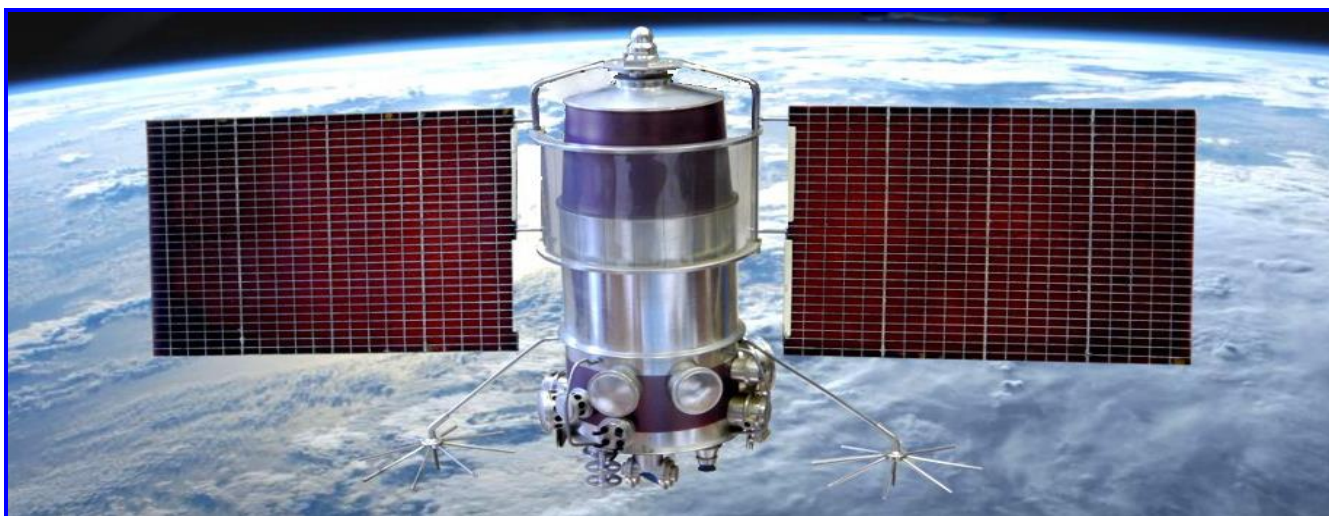
Ключевые слова: космический аппарат, метеорологическая космическая система, дистанционное зондирование, корректирующая двигательная установка, орбита, ракета-носитель, стартовый комплекс, наземный комплекс приёма, обработки и распространения информации.

Опыт практического использования спутниковой информации показывал, что в интересах службы погоды, она должна собираться с территории всего земного шара несколько раз в сутки.

Естественно, что это можно осуществить только с помощью системы из нескольких одновременно функционирующих оперативных метеорологических КА.

Действительно, оперативный КА, выведенный на орбиту высотой около 900 км, имеет период обращения $T = 102,5$ мин, и за это время Земля успевает повернуться вокруг своей оси на угол около $25^{\circ}6'$, что соответствует линейному смещению ~ 2800 км на экваторе и ~ 1500 км на широте Москвы. В то же время ширина полосы обзора бортовой научной аппаратуры КА «Метеор-2» [1] равнялась для ТВ-аппаратуры 2100 и 2200 км, а для ИК-

аппаратуры – 2600 км. Это заметно меньше межвиткового смещения проекции орбиты КА на экваторе. Следовательно, с помощью одного КА «Метеор-2» (рисунок), нельзя без пропусков в экваториальной зоне «осматривать» всю поверхность Земли. Это говорит о том, что необходимо было создавать метеорологическую космическую систему (МКС), которая требует, чтобы плоскости орбит входящих в неё КА были определённым образом разнесены по долготам восходящих узлов. Так, например, при создании системы из двух КА восходящие узлы их орбит должны быть разнесены на $90 - 100^{\circ}$ по долготе на экваторе, а при создании системы из трёх КА – на 60° . Кроме того, известно, что через некоторое время после запуска КА, вследствие прецессии орбит, их проекции на земную поверхность (трассы) будут сходиться вместе или, наоборот,



Общий вид космического аппарата «Метеор-2»

расходиться на недопустимые расстояния.

В результате этого КА будут осматривать одну и ту же местность или оставлять не просмотренными значительные территории.

Такое нежелательное явление возникает из-за разности высот орбит, на которые выводятся КА. Чтобы избежать этого явления, необходимо после запусков КА проводить коррекцию параметров их орбит. Для этой цели на борту метеорологических КА должны быть установлены корректирующие двигательные установки (КДУ), позволяющие изменять высоту орбиты КА до требуемых значений.

В настоящее время для этих целей всё большее применение находят так называемые электроракетные двигатели (ЭРД) различных типов, в которых используется принцип ускорения ионизированного (в состоянии плазмы) с помощью электромагнитного или электростатического полей или нагретого до высокой температуры газа.

На КА «Метеор», запущенном 29 декабря 1971 г., был установлен один из указанных выше ЭРД, а именно стационарный плазменный двигатель (СПД), и с помощью КДУ на базе СПД с 14 по 22 февраля 1972 г. (за 170 ч. работы) была увеличена высота орбиты на 16,5 км [2].

Это позволило КА ежесуточно (через 14 витков) проходить экватор по одной и той же долготе. В результате была обеспечена жёсткая сетка трасс, улучшился обзор земной поверхности в заданные синоптические сроки, возросла точность географической привязки. Таким образом, появилась возможность получать метеорологическую информацию из одних и тех же районов земного шара в одно и то же время суток, что очень удобно для прогноза погоды.

В дальнейшем КДУ этого типа успешно применялись в системах коррекции орбит КА, предназначенных для изучения природных ресурсов Земли, а электронагревные двигатели (ЭНД) на аммиаке, относящиеся к классу тепловых ЭРД, использовались для коррекции орбит КА «Метеор-2» – метеорологических спутников второго поколения, входящих в МКС.

Расчётные оценки и многолетняя практика показали, что в составе МКС практически достаточно иметь два оперативных КА и один – два экспериментальных.

С помощью двух оперативных КА, плоскости орбит которых по экватору отстоят друг от друга примерно на $90 - 100^\circ$, возможно в течение суток дважды собирать информацию примерно с 80% поверхности Земли. При этом каждый из районов планеты может наблюдаться с интервалом около 6 ч.

Прямая передача ТВ- и ИК-изображений может приниматься во время пролёта КА в зоне радиовидимости наземных пунктов, оснащённых простейшей аппаратурой и расположенных в любой точке земного шара.

Зона уверенного приёма такой информации имеет

радиус около 2500 км. Это позволяет любому наземному пункту осуществлять приём информации с каждого КА, как правило, на двух витках днём, и двух витках – ночью.

За один сеанс съёма информации, который продолжается в среднем около 10 мин, принимается информация с территории, равной 9 450 000 км².

Говоря об орбитах метеорологических КА, необходимо отметить, что при разработке программ полёта каждого КА, а тем более при разработке заданий по созданию МКС, наиболее пристальное внимание каждый раз должно уделяться выбору оптимальных орбит КА с учётом следующего:

1. Орбиты метеорологических КА желательно выбирать круговыми – для получения равномасштабных ТВ- и ИК-снимков земной поверхности и простоты их фотомонтажа.

Такие орбиты позволяют в большинстве случаев избежать необходимости вводить поправки на изменение высоты полёта.

2. При выборе угла наклона орбиты наибольший интерес представляют квазиполярные (близкие к полярным) и геостационарные (геосинхронные) экваториальные орбиты.

При запуске спутников на орбиты, близкие к полярным, установленная на них аппаратура получает возможность обозревать всю земную поверхность.

3. При построении орбиты полёта с азимутом более 90° , т. е. с западным наклоном, удаётся создать так называемую синхронно-солнечную орбиту (ССО). Эти орбиты оказываются исключительно удобными для проведения ряда метеорологических измерений (так как наблюдения ведутся в одно и то же местное время), хотя вывод КА на такие орбиты не всегда осуществим, поскольку при этом предъявляются особые требования к местоположению полигонов запуска КА и к использованию ракет-носителей.

4. Существенное значение для проведения различных метеорологических измерений имеет высота полёта КА, так как от неё зависит не только ширина полосы обзора подстилающей поверхности, но и разрешающая способность бортовой информационной аппаратуры.

С помощью оптико-электронной сканирующей аппаратуры с одновременным увеличением высоты полёта КА оказалось возможным как существенно расширить полосу обзора, так и повысить разрешение изображений.

Кроме того, от высоты полёта КА зависит и частота обзора всей планеты. Так, например, для создания МКС, имеющей возможность осматривать всю поверхность земного шара с интервалом 3 ч, достаточно трёх КА с высотой их орбит 1400 км и более. Если же высота полёта КА будет снижена до

500 – 600 км, то общее количество КА в такой системе должно быть увеличено до 8.

5. Для создания МКС очень важно добиться исключительно точного «разноса» орбит КА по долготе относительно друг друга, о чем речь шла выше.

Непосредственное управление отечественными метеорологическими КА и МКС производится соответствующими центрами управления с помощью наземного аппаратного комплекса. Комплекс включает в себя вычислительные центры, командно-программные станции, станции траекторных измерений, а также станции приёма всего объёма научной и служебной информации. Для сокращения сроков получения гидрометеорологической информации созданы также специальные центры сбора, обработки и анализа метеорологических данных совместно с данными сети наземных гидрометеорологических наблюдений.

11 июля 1975 г. с космодрома Плесецк стартовал первый спутник серии «Метеор-2» (см. рисунок), разработанный и изготовленный во ВНИИЭМ. Он проработал на орбите более двух лет, полностью выполнив свои задачи, и с 1977 г. (после запуска КА «Метеор-2» № 2) началась фактическая эксплуатация МКС «Метеор-2» в интересах Гидрометеослужбы и народного хозяйства страны.

Работы над созданием усовершенствованных оперативных метеорологических спутников второго поколения «Метеор-2» велись одновременно с эксплуатацией МКС «Метеор».

МКС «Метеор-2» представляла собой существенный шаг вперед по сравнению с метеорологической системой «Метеор» первого поколения. Значительно расширились функции и информационные возможности системы, заметно повысились её качественные характеристики.

С созданием МКС «Метеор-2» появилась возможность:

- регулярного получения изображений всей Земли несколько раз в сутки;

- от чисто качественной оценки облачности по фототелевизионным изображениям перейти к количественной оценке яркости, температуры, влажности, высоты облаков, их микроструктуры, скорости перемещения (ветра);

- от интегрального исследования радиационного баланса и поля излучения Земли в целом, – к исследованию излучения планеты в узких спектральных интервалах и получению на основании этих данных сведений о вертикальном распределении температуры в атмосфере и составе атмосферы и т. п.

Таким образом, произошёл принципиальный переход от качественных к количественным методам прогнозирования погоды, как в глобальном, так и локальном масштабах, и в дальнейшем к ди-

станционному зондированию с помощью космической техники в целях исследования природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды.

В процессе получения метеорологической информации из космоса отрабатывался и облик МКС в целом, уточнялись взаимодействия между отдельными звеньями этой системы, функции отдельных комплексов, оптимальное распределение функций внутри системы, между космическими и наземными средствами.

Государственная МКС «Метеор-2» обеспечивала:

- получение два раза в сутки глобальной комплексной метеорологической информации о распределении облачности, ледового и снежного покровов по всему земному шару в виде телевизионных изображений в видимом и ИК-диапазонах спектра;

- получение два раза в сутки глобальной измерительной информации о температурных полях и высотах верхних границ облаков, а также о температуре водной поверхности;

- получение два-три раза в сутки в любых районах земного шара локальных телевизионных изображений облачного, ледового и снежного покровов, площадью 6 – 8 млн. км² каждое, принимаемых на автономных пунктах приёма информации, как стационарных, так и подвижных;

- получение два раза в сутки глобальной и каждые два часа штормовой информации о радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве для службы радиационного контроля и обеспечения безопасности пилотируемых полётов;

- оперативную обработку и распространение два раза в сутки комплексной глобальной метеорологической информации как в виде карт нефанализа, так и в виде цифровых карт отраслям народного хозяйства, подразделениям Министерства обороны и для международного обмена по радиоканалам и другим каналам связи.

В состав ГМКС «Метеор-2» входили:

- 2 – 3 автоматических космических аппарата (АКА) «Метеор-2», оснащённых аппаратурой для получения и передачи метеорологической и радиометрической информации;

- унифицированные ракеты-носители 8А92М («Восток-М»);

- технические и стартовые комплексы с необходимым оборудованием для проведения испытаний, предстартовой подготовки и осуществления пусков ракет-носителей 8А92М с КА «Метеор-2», расположенные в войсковой части 13991;

- наземный комплекс приёма, обработки и распространения (НКПОР) метеорологической и радиометрической информации Госкомгидромета, включающий:

- главный центр приёма и обработки спутниковых данных в г. Москве;
- региональные центры приёма и обработки спутниковых данных в г. Новосибирске и г. Хабаровске;
- сети стационарных и подвижных автономных пунктов приёма информации (АППИ) Госкомгидромета и Минобороны;
- наземный комплекс управления полётом АКА «Метеор-2» в войсковой части 32103.

Необходимо отметить, что основные требования тактико-технического задания (ТТЗ) на КА «Метеор-2» были подтверждены после пуска второго КА в 1977 г.

Заказчики – Госкомгидромет и Министерство обороны стали регулярно получать комплексную метеорологическую и гелиогеографическую информацию. Основные характеристики бортового информационного комплекса приведены в табл. 1.

Получение информации в режиме опытной эксплуатации продолжалось до 1981 г. ГМКС «Метеор-2» в составе постоянно работающих двух – трёх КА, наземных комплексов приёма, обработки и распространения информации, управления орбитальной эксплуатацией КА (НКУ) и сети АППИ была подготовлена к сдаче в штатную эксплуатацию. Выпущенный в 1981 г. отчёт Госкомиссии о результатах лётных испытаний ГМКС в целом зафиксировал готовность метеорологической космической системы второго поколения к штатной эксплуатации в составе орбитальной группировки из двух – трёх КА, соответствующих наземных комплексов и средств обеспечения космической информацией потребителей в народном хозяйстве и в интересах обороны страны.

В табл. 2 – 4 приведены сравнительные характеристики МКС «Метеор» и «Метеор-2», КА «Метеор» и «Метеор-2», и состава научно-информационной аппаратуры, а основные потребители в табл. 6.

В 1982 г. метеорологическая космическая система «Метеор-2» была принята Постановлением Правительства в постоянную эксплуатацию. ГМКС «Метеор-2» постоянно обеспечивала получение:

- два раза в сутки метеоинформации о распределении облачности, ледового и снежного покровов по земному шару в виде телевизионных изображений в видимом и инфракрасном спектрах;
- глобальных данных о температурных полях и высотах верхних границ облаков, а также о температуре водной поверхности;
- глобальной информации о радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве;
- в любых районах Земли на автономных пунктах приёма телевизионных изображений облачного, ледового и снежного покровов территорий 6 – 7 млн. км² каждая;
- глобальных данных о температурных полях и высотах верхних границ облаков, а также о температуре

водной поверхности;

- глобальной информации о радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве;
- в любых районах Земли на автономных пунктах приёма телевизионных изображений облачного, ледового и снежного покровов территорий 6 – 7 млн. км² каждая.

Обработка и распространение всех видов спутниковой информации, принимаемой с КА «Метеор-2», как правило, осуществлялась специалистами пунктов приёма информации (ППИ). Вся обработка спутниковой информации являлась очень трудоёмким процессом. Так, обработка аналоговой информации включала в себя преобразование радиосигналов, получаемых с КА, в ТВ- и ИК-изображения, фотохимическую обработку, временную и географическую привязку изображений, дешифрование и последующий анализ ТВ- и ИК-информации.

Результатом их дешифрования являлся так называемый нефанализ, т. е. схематическое изображение с помощью специальных обозначений на бланках географических карт или непосредственно на фотомонтажах ИК-снимков. На картах нефанализа проводились границы облачных, снежных и ледовых полей, условными знаками указывалось количество и преобладающие типы облаков, центры вихрей, предполагаемое положение осей струйных течений, характеристики облаков и т. п.

Нефанализ выполняется высококвалифицированными специалистами метеорологами-дешифровщиками [3].

Помимо визуального дешифрования ИК-снимков, осуществлялась также и цифровая обработка ИК-информации на ЭВМ. Результаты такой обработки представлялись в виде цифровых карт (для значений высот) верхней границы облаков и полей радиационных температур. На цифровых картах наносилась сетка меридианов и параллелей.

Пройдя все этапы обработки, спутниковая информация, полученная с помощью КА «Метеор-2» в виде карт нефанализа, цифровых карт полей радиационных температур и значений высот верхней границы облаков, фотомонтажей отдельных ТВ- и ИК-снимков, поступала в прогностические отделы Гидрометцентра России, и распространялась по радио и проводным каналам связи в прогностические подразделения Государственного комитета России по гидрометеорологии и контролю природной среды. Она также широко применялась для научно-исследовательских целей и для международного обмена.

Причём, поскольку диапазон соответствовал международному, и форматы изображений были аналогичны форматам, передаваемым спутниками США, эта информация принималась во всём мире.

Эффективность использования информации с ГМКС «Метеор-2» представлена в табл. 5.

ГМКС «Метеор-2» эксплуатировалась до 1995 г.

Таблица 1

Основные характеристики бортового информационного комплекса КА «Метеор-2»

Характеристика	Телевизионная система глобального обзора в видимом диапазоне «МР-2000М»	Телевизионная система локального обзора в видимом и ИК-диапазонах «МР-900Б»	Телевизионная система глобального и локального обзора в ИК-диапазоне «Чайка»	Спектрометрическая система «СМ»	Система радиационного контроля «РМК»
Спектральный диапазон и количество каналов	0,4–0,8 мкм 1 канал	0,4–0,8 мкм 1 канал 8–12 мкм 1 канал	8–12 мкм 1 канал	10,5–12 мкм 3 канала 13–15 мкм 6 каналов 18,7 мкм 1 канал	Протоны, нейтроны, электроны в диапазоне энергий 150 кэВ до 90 МэВ
Полоса обзора при высоте орбиты 900 км	2500 км	2100 км	2600 км	1200 км	–
Разрешение на местности в надире	1 × 1 км ²	1,6 × 2,8 км ² 20 × 20 км ²	8 × 8 км ²	33 × 33 км ²	–
Точность измерений	–	–	1°С	1,5–2°С	30%
Характер информации	Изображение	Изображение	Изображение Цифровые измерения	Цифровые измерения	Цифровые измерения
Режим работы	Запоминание – воспроизведение Непосредственная передача	Непосредственная передача	Запоминание – воспроизведение Непосредственная передача	Запоминание – воспроизведение Непосредственная передача	Запоминание – воспроизведение Непосредственная передача
Диапазон радиолинии	460–470 МГц	137–138 МГц	460–470 МГц	460–470 МГц	460–470 МГц

Таблица 2

Характеристика	МКС «Метеор»	МКС «Метеор-2»
Число КА в системе	1 – 2	2 – 3
Просматриваемая территория поверхности Земли за сутки	20 %	2 раза в сутки вся территория
Передача ТВ-информации в реальном масштабе времени (непосредственная передача – НП)	Нет	Есть
Пункты приёма информации	Москва, Новосибирск, Хабаровск	Москва, Новосибирск, Хабаровск
Отечественные пункты приёма в режиме НП	Нет	100
Обработка на ЭВМ	Нет	Есть
Составление глобальных карт с нефанализом	Нет	2 раза в сутки по северному и южному полушарию
Составление карт температурных полей	Нет	2 раза в сутки
Контроль радиационной обстановки	Нет	2 раза в сутки глобальная и оперативно – в случае необходимости

Таблица 3

Характеристика	КА «Метеор»	КА «Метеор-2»
Параметры орбиты: – высота, км – наклонение, град – точность географической привязки информации	650 81 – 82	900 ± 50 81 – 82 Не хуже 35 км
Вес, кг	1250	1540
Вес научной аппаратуры, кг	240	495
Мощность системы энергопитания, Вт	600	1200
Точность трёхосной ориентации, град	±3°5'	±1°5'
Точность стабилизации, град/с	0,05	0,01 – 0,02
Срок активного существования, год	0,5	1

Таблица 4

Научно-информационная аппаратура	КА «Метеор»	КА «Метеор-2»
Телевизионная: – спектральный диапазон, мкм – ширина полосы захвата, км – разрешение, км	0,5 – 0,7 1000 2	0,5 – 0,7 2400 1
Инфракрасная: – спектральный диапазон, мкм – ширина полосы захвата, км – разрешение, км	8 – 12 1100 15 × 15	8 – 12 2600 8 × 8
Телевизионная (режим НП): – спектральный диапазон, мкм – ширина полосы захвата, км – разрешение, км	– – –	0,5 – 0,7 2100 1,6 × 2,8
Спектрометрическая: – спектральный диапазон, мкм – ширина полосы захвата, км – разрешение, км	– – –	8 каналов: 11,10–18,70 1000 33 × 33
Радиометрическая	–	Измерение потоков протонов, нейтронов, электронов с энергией 0,15 – 90 МэВ

За период с 1975 по 1993 гг. было выведено на орбиты 22 КА «Метеор-2». Из них только один проработал менее года (гарантированного полётного ресурса – ГПР), а средняя наработка по всем КА составила 2 г. 10 мес. (более 200% ГПР).

По данным ряда ведомств (Госкомгидромета, Минречфлота, Минрыбхоза и др.) ежегодная экономическая эффективность ГМКС «Метеор-2» только в период ЛКИ с 1979 по 1981 гг. составила 150 – 170 млн. руб.

КА и ГМКС «Метеор-2» в целом создавались совместно с коллективами ВНИИ телевидения (Главный конструктор – д-р техн. наук И.А. Росселевич), НИИ точных приборов (Главный конструктор – А.С. Мнацаканян), НИИ космического приборостроения (Главный конструктор – член-корреспондент АН СССР М.С. Рязанский), НИИ «Альтаир» (Главный конструктор – д-р техн. наук В.Т. Родионов), ЦКБ «Геофизика» (Главный конструктор – д-р техн. наук В.А. Хрусталёв, ВНИИ источников тока (Главный конструктор – член-корреспондент АН СССР Н.С. Лидоренко), Гидрометцентра СССР (руководители: академик В.А. Бугаев, д-р физ.-мат. наук И.П. Ветлов, д-р техн. наук Г.И. Гольшев).

Направления дальнейшего развития среднеорбитальной метеорологической космической системы «Метеор-2» предусматривали [4]:

- повышение высоты орбиты КА до высот, обеспечивающих беспропускной обзор земной поверхности в экваториальной зоне;
- использование корректирующих двигательных установок для синхронизации спутников в системе из двух – трёх КА и повышения эффективности системы в целом;
- применение улучшенной, с повышенной разрешающей способностью, инфракрасной аппаратуры;
- проведение экспериментальных работ с целью введения в состав информационного комплекса микроволновой (СВЧ) аппаратуры для всепогодных наблюдений ледового и снежного покровов, определения влагосодержания облачности.

Кроме того, рассматривались вопросы создания

Таблица 5

Эффективность использования информации с ГМКС «Метеор-2»

Вид информации	Периодичность изготовления	Количество информации за 1975 – 1980 гг.
Сборные карты нефанализа северного, южного полушарий и тропической зоны	Два раза в сутки	12482
Карты радиационных температур	Один раз в сутки	2391
Карты верхней границы облачности		314
Фотомонтаж Евразии	1 – 2 раза в сутки	10472
Телеграммы о координатах тропических вихрей		3584
Информация, сбрасываемая на все АППИ (более 800)	Ежегодный объём информации, сбрасываемой на АППИ, ≈ 800000 снимкам, что соответствует 12-кратному обзору земного шара	
ТВ- и ИК-снимки для решения н/х задач		131851
ТВ- и ИК-снимки в режимах «НП» и «ЗИ» для Вашингтона		17167
		$\Sigma = 182315$ (без АППИ)

Таблица 6

Основные потребители информации

Основные потребители	Использование информации
Гидрометцентр СССР	Прогноз погоды, предупреждение стихийных бедствий и т. д. Ежегодный экономический эффект от предотвращения убытков $\approx 500 - 700$ млн. руб.
ММФ МРХ	Составление карт ледовой обстановки на основных судоходных трассах, прокладка рекомендованных курсов. Ежегодный экономический эффект ≈ 40 млн. руб.
Лесное хозяйство	Обнаружение лесных пожаров, водосодержащих облаков с целью вызова искусственных осадков, выбор стратегии борьбы с огнём и т. д.
Гражданская авиация	Определение метеорологической обстановки на трассах полёта (обнаружение грозных очагов, определение вида и границ осадков и т. д.)
Вооружённые силы	Метеообеспечение родов войск
Более 30 организаций непосредственно использовали метеорологическую космическую информацию для решения различных народнохозяйственных и научных задач	

отечественного геостационарного оперативного метеорологического спутника (ГО МС), оснащённого телевизионной аппаратурой в видимом и инфракрасном (8 – 12 мкм) диапазонах с разрешением соответственно 1 – 2 и 5 – 8 км, а также системами получения и передачи информации с платформ сбора данных и ретрансляции факсимильной метеорологической информации.

Также обсуждался вопрос о выводе подобных КА на орбиту с полярным наклоном и суточным периодом обращения для постоянного метеорологического наблюдения районов Земли, расположенных соответственно севернее и южнее 50° северной и южной широт, которые, как известно, с геостационарных КА не наблюдаются.

В заключение следует отметить, что создание ГМКС

«Метеор-2» имело большое практическое значение для науки, народного хозяйства и вооружённых сил страны и хорошую перспективу её дальнейшего развития.

Литература

1. Румянцев П. А. Космическая система «Метеор» / П. А. Румянцев. – М.: Знание, 1983. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. Космонавтика, астрономия № 10).
2. Разработка стационарного плазменного двигателя (СПД) и его испытания на ИСЗ «Метеор» / Л. А. Арцимович, К. Н. Козубский, А. И. Морозов, В. П. Ходненко и др. // Космические исследования. – 1974. – Т. XII. – Вып. 3.
3. Процессоры цифровой обработки сигналов. <http://279680.dyn.ufanet.ru/shpor/ooci/33.htm>.
4. Советские космические аппараты для дистанционного зондирования типа «Метеор» / Н. Н. Шереметьевский, А. Г. Иосифьян, Ю. В. Трифонов // Электротехника. – 1982. – № 6.

Поступила в редакцию 03.06.2013

Леонид Алексеевич Макриденко, д-р техн. наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.
Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора, т. (495) 366-42-56.
Александр Викторович Горбунов, канд. техн. наук, зам. генерального директора, т. (495) 623-41-81.
Владимир Павлович Ходненко, д-р техн. наук, главный научн. сотрудник, т. (495) 624-94-98.
Рашид Салихович Салихов, канд. техн. наук, зам. генерального директора.
E-mail: vniem@orc.ru.