

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ

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

Рассмотрено создание экспериментальной оперативной космической системы изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ) как первый этап к началу функционирования постоянно действующей космической системы (КС) ИПРЗ «Ресурс-О».

Изложены назначение и основные требования к КС ИПРЗ, показано совершенствование системы КС ИПРЗ.

Ключевые слова: изучение природных ресурсов Земли, космический аппарат, многозональная съёмка, информационно-измерительная аппаратура, наземный комплекс, приём и регистрация информации.

В 1976 г. была разработана новая космическая программа исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ), которая основывалась на возможностях метода многозональной съёмки в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра с помощью сканирующей оптико-механической аппаратуры телевизионного типа.

На первом этапе ставилась задача получения многозональных снимков земной поверхности с достаточно большой обзорностью при относительно низком разрешении, чтобы, с одной стороны, иметь возможность проследить состояние достаточно крупных природных объектов и динамику изменения кратковременных и сезонных явлений на больших территориях, а с другой стороны, получить определённый опыт в использовании многозональной космической информации и определить требования к постоянно действующей космической системе (КС) исследования природных ресурсов Земли.

Программа предусматривала, наряду с проводившимися исследованиями [1], создание в будущем оперативной постоянно действующей КС ИПРЗ «Ресурс-О», обеспечивающей на регулярной основе получение раз в 5 – 7 суток данных о «ресурсах Земли», в понятие которых, в широком смысле, включались земные ресурсы и ресурсы окружающей среды, неразрывно связанные с существованием всего человечества, а именно:

– ресурсы, которые являются основой существования людей – леса, посевы, животноводство, морские ресурсы (продовольственные), чистый воздух, вода и т. д.;

– основные ресурсы, необходимые для сохранения человеческой цивилизации – полезные ископаемые, энергетические ресурсы;

– природные явления, которые могут содействовать повышению жизненного уровня человечества благодаря тому, что они имеют самые тесные отношения к жизни людей, как-то: атмосферные и океанические явления, геологическое строение Земли, – при условии, что эти явления будут правильно поняты, оценены и поставлены под контроль человека.

Но если по «форме», по своему конечному результату – получению изображений поверхности Земли и данных об окружающей среде, по самой структуре получения и обработки данных – КС ИПРЗ близка к метеорологической, то для её реализации требовалось решение принципиально новых научно-технических и научно-методических проблем как по системе в целом, так и по её отдельным составляющим. Это определялось, прежде всего, существенным повышением требований к космическим аппаратам (КА) и информационной аппаратуре КС ИПРЗ.

В таблице приведены для сравнения основные требования к метеорологической космической системе (МКС) на базе КА «Метеор-2» и КС ИПРЗ. При этом следует отметить, что во многом требования к КС ИПРЗ основывались не на необходимых, а на предельно достижимых характеристиках при современном уровне мировой техники (конец 1970-х годов) [2].

Из таблицы видно, насколько сложные проблемы необходимо было решить, чтобы обеспечить выдвинутые потребителем требования.

Создание оперативной КС ИПРЗ «Ресурс-О», в силу сложности многообразия решаемых задач научно-технического и организационного плана, осуществлялось в несколько этапов.

Основные требования к МКС «Метеор-2» и системе ИПРЗ

Характеристики	МКС «Метеор-2»	КС ИПРЗ
Орбита	Приполярная	Солнечно-синхронная
Эксцентриситет (допустимый)	0,007	0,0013
Точность ориентации КА, град	1 – 1,5	0,1 и лучше
Угловая скорость стабилизации, град/с	0,01 – 0,02	0,005
Точность географической привязки, км	30 – 50	1 – 3
Температурная стабилизация, град	10 – 35	До 0,1
Число одновременно работающих спектральных каналов	1 – 4	8 – 20
Разрешающая способность:		
– в видимой области, км;	1	0,03 – 0,05
– в инфракрасной области, км	5	0,2 – 0,25
Информативность радиолиний, Мбит	1	120 – 140
Ёмкость запоминающих устройств, бит	10^8	–
Требования к точности измерения энергетических потоков, %	5 – 10	1–3
Диаметр наземных антенн, м	до 10 – 12	до 60
Необходимое быстродействие наземных ЭВМ, опер/с	$(2 – 3)10^6$	$(2 – 3)10^7$
Число потребителей	10^2	10^3

На первом этапе, о чём в основном пойдёт речь ниже, была создана и начала функционировать экспериментальная КС ИПРЗ (см. рисунок), спутники которой были оснащены многозональными сканирующими устройствами малого и среднего разрешения. На основе получаемой информации уточнялись прогнозы по выявлению рудоносных и нефтегазоносных районов Сибири, Казахстана и Монголии, алмазоносных районов Якутии, составлялись карты загрязнений и состояния вод Каспийского моря, озёра Байкал, водный режим рек Сибири и Дальнего Востока, оценка состояния лесов Сибири.

Эта информация широко использовалась в весенне-осенние периоды для картографирования границ затопленных речных пойм, ледовой обстановки на озёрах и водохранилищах, границ снежного покрова.

Полученные многозональные снимки были эффективно использованы при решении ряда агрометеорологических задач (уточнение площадных запасов снега, влагообеспеченности сельскохозяйственных культур), при оценке сезонного развития сельскохозяйственных культур и ходе сельскохозяйственных работ и др.

Экономическая эффективность для народного хозяйства уже на этапе экспериментальной системы оценивалась многими десятками миллионов рублей (в ценах конца 1970-х годов).

Одновременно как в научно-исследовательских, так и в народнохозяйственных организациях, про-

изводился анализ и уточнение облика оперативной КС ИПРЗ, состава входящих в неё бортовых и наземных технических средств, требований к КА, видам и порядку использования космической информации.

18 июня 1980 г. был запущен на орбиту экспериментальный КА «Метеор-Природа» № 3–1 [3] с новым поколением бортовой информационной аппаратуры – многофункциональными сканирующими системами, работающими в восьми, четырёх и трёх каналах видимого и инфракрасного участков спектра, и обладающими измерительными свойствами.

Разрешение на местности, в зависимости от аппаратуры и спектрального диапазона, составляло 80, 50 и 150 м соответственно.

Достигнутые на этом этапе характеристики были близки к требуемым характеристикам информационно-измерительной аппаратуры системы «Ресурс-О».

Одновременно проводилась отработка методов предварительной обработки информации, а также машинных и инструментально-визуальных методов дешифрирования и интерпретации получаемых данных.

Приём и обработка информации

Приём и регистрация информация ИПРЗ осуществлялась наземным комплексом приёма, обработки и распространения (НКПОР) космической информации.

Структура оперативной КС ИПРЗ представлена на рисунке.

Как известно, различают два типа наземных комплексов:

- наземный комплекс, предназначенный для приёма и регистрации информации, поступающей как в режиме запоминания, так и в режиме непосредственной передачи (пункты приёма информации – ППИ);

- наземный комплекс, предназначенный для приёма информации только в режиме непосредственной передачи (автономные пункты приёма информации – АППИ).

Размещение ППИ в трёх городах страны обусловлено необходимостью обеспечения взаимного перекрытия их зон радиовидимости, а также получения общей радиовидимости всех трёх ППИ, простирающейся на долготе с запада на восток на расстояние, близкое к 160° . Это позволяет осуществлять приём информации, снятой с помощью КА, как со всей нашей территории без пропусков, так и с территории земного шара (примерно с 80%) несколько раз в течение суток [4].

Приёмные антенны ППИ вынесены в районы с меньшими промышленными помехами радиоприёму. Такими районами выбраны для Москвы – г. Обнинск, для Новосибирска и Хабаровска – пригородные пункты, удалённые на 20 – 30 км.

Таким образом, аппаратура ППИ территориально размещалась в двух пунктах:

- аппаратура для приёма информации непосредственно с КА – на выносимых пунктах;

- аппаратура для обработки и анализа информации – в ГосНИЦИПР (сейчас НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы») и в региональных гидрометеорологических центрах Хабаровска и Новосибирска.

НКПОР осуществлял:

- управление КС ИПРЗ;
- контроль и корректировку параметров орбит КА «Метеор-Природа»;

- приём научной информации;
- приём телеметрической информации, необходимой для обработки целевой информации (телевизионной, спектрометрической и инфракрасной) и контроля за работой систем КА;

- выдачу в соответствующие подразделения службы погоды и научно-исследовательские учреждения информации по мере её обработки.

Ретрансляция и обмен информацией между пунктами приёма осуществлялись по нескольким каналам связи.

Для регистрации информации с экспериментальных КА «Метеор-Природа» на пунктах приёма

использовалась как штатная, так и специальная аппаратура.

Так, например, СИ-информация принималась только на Московском (Обнинском) ППИ и в г. Потсдаме (ГДР).

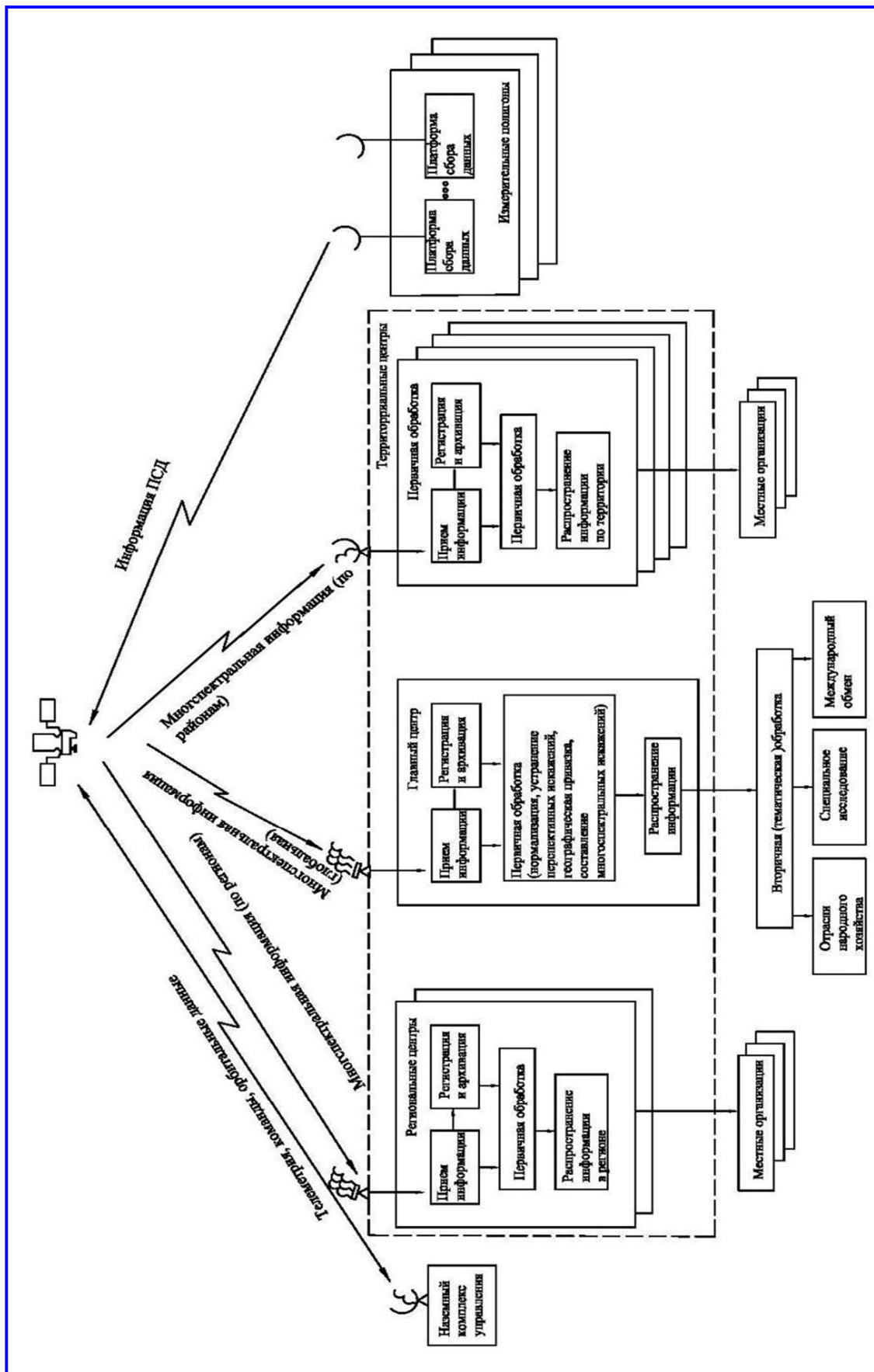
Приём этой информации осуществлялся специальными антенными системами, приёмной и регистрирующей аппаратурой. Обработка СИ-информации производилась в СССР и ГДР. Необходимо отметить, что предварительный анализ многозональных снимков, полученных с помощью штатного радиотелевизионного комплекса экспериментальных КА «Метеор-Природа», показал, что по сравнению с однозональными они обладают большей информативной ёмкостью, особенно для изучения состояния объектов земной поверхности.

По этой причине многозональная информация, принятая с помощью аппаратуры МСУ-М и МСУ-С на всех трёх ППИ, по окончании межотраслевой обработки в большей своей части оперативно передавалась в прогностические подразделения Москвы, Новосибирска и Хабаровска, а снимки районов с ясной и малооблачной погодой передавались на тиражирование с целью получения необходимого количества экземпляров дубли-негативов и фотоснимков с каждого кадра для их высылки в соответствующие министерства – геологии, сельского хозяйства, мелиорации и водного хозяйства, а также в институты Академии наук СССР и союзных республик и в другие ведомства. В общей сложности многозональная информация после тиражирования высылалась в более 70 адресатов: заинтересованных организаций, министерств и ведомств для отраслевого её использования.

Цифровая информация, полученная с помощью экспериментальных КА «Метеор-Природа», обрабатывалась на ЭВМ. Так, например, получаемая с помощью СИ-аппаратуры, а также других видов экспериментальной аппаратуры, подвергалась обработке на ЭВМ по алгоритмам и программам, разработанным сотрудниками ГосНИЦИПР.

Обработка информации от аппаратуры «Фрагмент», её визуализация выполнялись с помощью специализированных дисплейных комплексов в ИКИ АН СССР и ГосНИЦИПР.

Для указанных вычислительных комплексов специалистами этих организаций были разработаны проблемно-ориентированные системы математического обеспечения. Подобные системы позволяют в так называемом интерактивном режиме (в виде диалога специалиста с ЭВМ) решать широкий



Структура оперативной космической системы ИПРЗ

круг задач по служебной обработке и коррекции видеоинформации, её координатной (географической) привязки и по преобразованию в заданные картографические проекции и масштабы.

Все виды цифровой информации, получаемой с помощью экспериментальных КА «Метеор-Природа», после обработки на ЭВМ использовались как для отработки методов дистанционных измерений параметров подстилающей поверхности, так и для научно-исследовательских целей, а также в соответствующие организации различных отраслей народного хозяйства для целевого использования.

Можно привести несколько конкретных примеров эффективности использования различными потребителями информации, полученной от КА ИПРЗ.

Телевизионная информация достаточно широко применялась отечественным полярным флотом для прокладки рекомендованных курсов в Ледовитом океане, для продления сроков навигации в полярном бассейне.

По данным Минморфлота, только за один год использование информации с КА для указанных целей сэкономило 40 млн. рублей (около 60 млн. долларов) в ценах конца 1970-х – начала 1980-х гг. [5].

Широко использовалась информация от экспериментальной КС ИПРЗ для оценки состояния лесов и, в особенности, защиты от пожаров лесных массивов, составлявших в СССР, как известно, сотни миллионов гектаров.

На изображениях, полученных от КА «Метеор-Природа», были хорошо видны фазы развития групп пожаров.

Оперативное использование этих снимков наряду с полученной по космическим снимкам оценкой облачности, пригодной для искусственного дождевания, приносили значительную экономию средств.

Ещё более эффективно ощущалось применение широкозахватных космических снимков малого и среднего разрешения в геологии.

По этим методикам были составлены геологические карты всей территории нашей страны в масштабах 1 : 2 500 000 и 1 : 5 000 000, которые невозможно было создать другими способами. Эти карты позволили решить ряд геологических задач первостепенной важности. Экономия, полученная от создания таких карт на основе космических снимков, составила десятки миллионов рублей.

В целом необходимо отметить, что уже первые шаги использования космических средств дистан-

ционного зондирования дали значительный эффект. Опыт показал, что по мере развития этих средств, создания и отработки техники и методик дешифрирования космических снимков, этот эффект стремительно возрастал.

Эксперименты со спектрометром-интерферометром Фурье (СИ-аппаратура), разработанными институтами ГДР и прошедшим всестороннюю отработку и исследования на КА «Метеор-Природа», могут служить хорошим примером международного сотрудничества по бортовой информационной технике.

Исключительно интересным результатом сотрудничества в области создания прикладных КА явилась международная программа «Интеркосмос – Болгария-1300». Научные и технические коллективы СССР и НРБ в ознаменование 1300-летия образования болгарского государства создали и успешно ввели в эксплуатацию два КА. С помощью первого КА было проведено детальное изучение солнечно-земных связей, а с помощью второго КА измерение спектральных характеристик земной поверхности в 32 спектральных диапазонах.

Перспективы развития КС ИПРЗ

Опыт убедительно показал высокую эффективность методов изучения Земли из космоса. Возникли новые направления в изучении Земли и окружающей среды: космическая метеорология, космическое землеведение, космическая океанология, обусловившие принципиально новый подход к познанию природных процессов, ускорившие развитие целого ряда естественных наук и поставившие новые проблемы перед многими областями техники – оптики, электроники, радиотехники, электро-механики, вычислительной техники и др.

Произошёл заметный толчок в развитии и совершенствовании КС, как метеорологических, так и природоресурсных. Наметилось и расширение состава информационной аппаратуры среднеорбитальных метеорологических КА. Обозначилась перспектива освоения радиодиапазона, создания аппаратуры измерения малых газовых компонентов атмосферы. Метеорологи уже к тому времени испытывали потребность в многозональной телевизионной информации с разрешением 0,2 – 0,5 км, получаемой на регулярной основе в глобальном масштабе. Появилась перспектива дальнейшего развития спектрометрических методов исследования атмосферы и подстилающей поверхности, создания измерительной метеорологической аппаратуры во всём диапазоне дистанционного зондирования – от видимого до сантиметрового. Это были

основные направления развития среднеорбитальных метеорологических космических систем.

Новое качество – непрерывность просмотра поверхности Земли и подстилающей поверхности – должны были получить КС при использовании геостационарных КА.

В перспективе КС должны были состоять из одного-двух среднеорбитальных метеорологических КА, находящихся на приполярных или солнечно-синхронных орбитах высотой 1200 – 1400 км и 4 – 5 высокоорбитальных ($H \approx 36\,000$ км) КА, находящихся на геостационарных и суточных приполярных орбитах.

Среднеорбитальные КА должны были быть оснащены комплексами спектрометрической, спектрофотометрической и теплорадиолокационной аппаратуры активного и пассивного типа.

На высокоорбитальных КА наиболее целесообразной представлялась установка многозональной телевизионной аппаратуры видимого и ИК-диапазонов с разрешением 0,5 – 5 км, а также и радиотехнической аппаратуры сбора и обмена информацией между КА, наземными измерительными станциями различного назначения, центрами обработки метеоро- и природоресурсной информации потребителями.

Совершенствование КС ИПРЗ должно было быть в основном направлено на улучшение технических характеристик информационно-измерительной аппаратуры, таких как точность измерений, повышение геометрических свойств изображения, точности географической привязки, уточнения величины и границ спектральных диапазонов.

Особой проблемой являлось создание бортовых запоминающих устройств, основанных на новых принципах регистрации – голографических, термопластических и др. Состав аппаратуры КА ИПРЗ должен был быть расширен за счёт включения в

него спектрофотометрической аппаратуры и аппаратуры для учёта влияния атмосферы.

В перспективе можно было использовать в составе КА ИПРЗ лазерной аппаратуры как для исследования характеристик окружающей среды и подстилающей поверхности, так и для обеспечения межспутниковых информативных линий связи.

В целом научно-технические перспективы совершенствования метеорологических и природоресурсных КС должны были, прежде всего, быть связаны с созданием новых поколений информационно-измерительной аппаратуры, цифровых высокоинформативных радиотехнических систем, вычислительных комплексов обработки больших массивов информации и ряда других новейших технических средств.

Стратегия совершенствования указанных космических систем требовала сочетания как постепенного совершенствования существующих систем, так и создания новых поколений составных частей этих больших систем.

Литература

1. Программа «Метеор-Природа» // Космический бюллетень. – 1998. – Т. 5. – № 4.
2. Шереметьевский Н. Н. Развитие космических аппаратов и систем для исследования окружающей среды и природных ресурсов Земли / Н. Н. Шереметьевский. – М.: ВНИИЭМ, 1982.
3. Румянцев П. А. Космическая система «Метеор-М»: / П. А. Румянцев. – М.: Знание, 1983.
4. Герман М. А. Космические методы исследования в метеорологии / М. А. Герман. – Л.: Гидрометеоздат, 1985.
5. Шереметьевский Н.Н., Иосифьян А.Г., Трифонов Ю.В. Советские космические аппараты для дистанционного зондирования типа «Метеор» / Н. Н. Шереметьевский, А. Г. Иосифьян, Ю. В. Трифонов // Электротехника. – 1982. – № 6.

Поступила в редакцию 05.06.2014

*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.
E-mail: vniiem@orc.ru.*