

**Белоусов К. Г., Галабурда Д. А., Зайцев С. С., Зайцева А. Ю.,
Маслей В. Н., Москалев С. И., Шовкопляс Ю. А.**

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»,
49008, ул. Криворожская, 3, г. Днепропетровск, Украина, UA

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОРБИТАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО СЕРВИСА

В настоящее время формируется новое перспективное направление использования космической техники — обеспечение орбитального сервисного обслуживания (ОСО) функционирующих спутников. Создание средств для ОСО находится сегодня в сфере научных и практических интересов ведущих мировых космических держав. Появляются проекты специальных сервисных космических аппаратов (КА), предназначенных для решения таких задач ОСО, как:

- ✓ доведение спутников на целевые орбиты в случае их неточного выведения (например, вследствие отказов разгонных блоков ракет-носителей);
- ✓ продление орбитального ресурса спутников путем коррекции их орбит или/и поддержания ориентации;
- ✓ увод с орбиты или перевод на орбиты захоронения отработавших спутников (крупногабаритного космического мусора);
- ✓ орбитальная инспекция спутников.

Решение задач ОСО связано с необходимостью выполнения сервисным КА таких операций в космосе, как сближе-

ние обслуживаемыми (клиентскими) спутниками (рис. 1), их захват/стыковка с ними, а также межорбитальные транспортировки спутников (рис. 2).

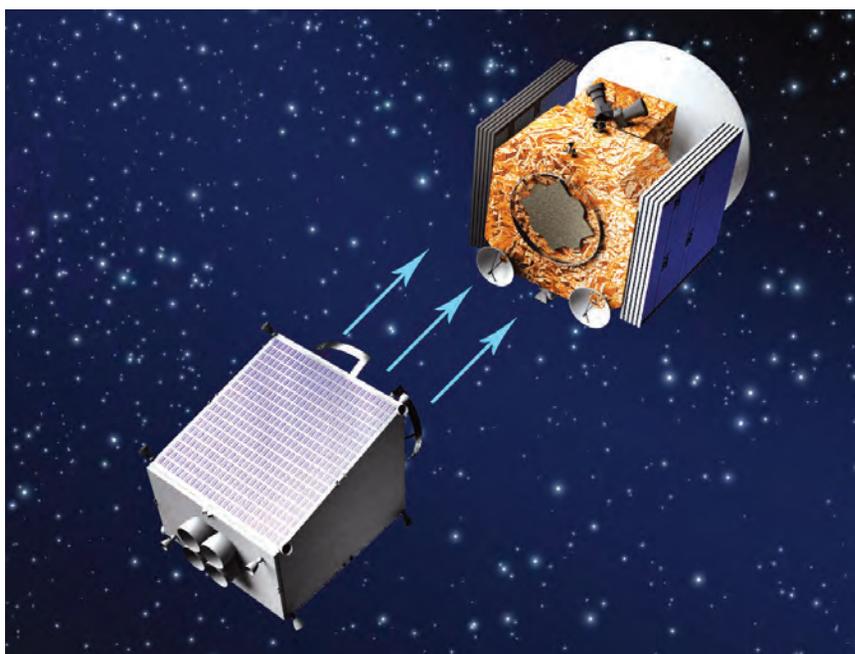


Рис. 1. Сближение с клиентским спутником.



Рис. 2. Транспортировка клиентского спутника.

Над вопросами создания средств для обеспечения ОСО работают также и в Украине. Ведущее предприятие украинской ракетно-космической отрасли КБ «Южное» разрабатывает проект космической системы для выполнения межорбитальных транспортных операций (МТО) в окрестности геостационарной орбиты (ГСО), на которой находится большое количество дорогостоящих спутников с большим сроком службы, предназначенных для длительного решения задач связи, навигации и метеорологии. В состав системы будут входить сервисный КА и наземный комплекс управления (НКУ).

В исходном состоянии сервисный КА находится на Земле и запускается на орбиту клиентского спутника для выполнения ОСО после заключения контракта на оказание одной или нескольких из указанных услуг. В дальнейшем сервисный КА находится на дежурной орбите в окрестности ГСО и выполняет ОСО клиентских спутников по мере заключения контрактов на оказание услуг.

В качестве орбиты ожидания сервисного КА целесообразно принять круговую орбиту, лежащую в плоскости ГСО (наклонение 0°), но высотой ниже ГСО на 200–300 км. Находящийся на такой орбите сервисный КА будет пролетать мимо каждого геостационарного спутника.

Рассмотрим последовательность операций, которые должен выполнять при оказании ранее перечисленных услуг сервисный КА, находящийся на дежурной орбите.

ДОВВЕДЕНИЕ КЛИЕНТСКОГО СПУТНИКА НА ГСО

Выведение спутников на ГСО обычно выполняется по следующей схеме (рис. 3). Первые ступени ракеты-носителя (РН) выводят спутник на низкую околокруговую (опорную) орбиту высотой 150–300 км и наклоном, близким по величине геоцентрической широте точки старта. В окрестности узла (восходяще-

го или нисходящего) опорной орбиты разгонный блок РН отработывает импульс скорости (перигейный импульс), который переводит КА на переходную к ГСО эллиптическую орбиту с высотой апогея, близкой высоте ГСО (~ 35 800 км), и наклоном, близким наклону опорной орбиты. При достижении окрестности апогея (который находится в окрестности нисходящего или восходящего узла соответственно) разгонный блок РН (или двигательная установка спутника) отработывает импульс скорости (апогейный импульс), который увеличивает высоту перигея до высоты ГСО и уменьшает наклонение до 0° (переводит спутник на ГСО). Далее разгонный блок РН (или двигательная установка спутника) обеспечивает перемещение спутника в заданную точку стояния.

Потребность в услугах сервисного КА может возникнуть в следующих случаях:

1. Разгонный блок РН не полностью отработал перигейный импульс, вследствие чего произошел недобор высоты апогея орбиты спутника до высоты ГСО (нерасчетная переходная орбита).
2. Разгонный блок РН (или двигательная установка спутника) не полностью отработал апогейный импульс, вследствие чего произошел недобор высоты перигея

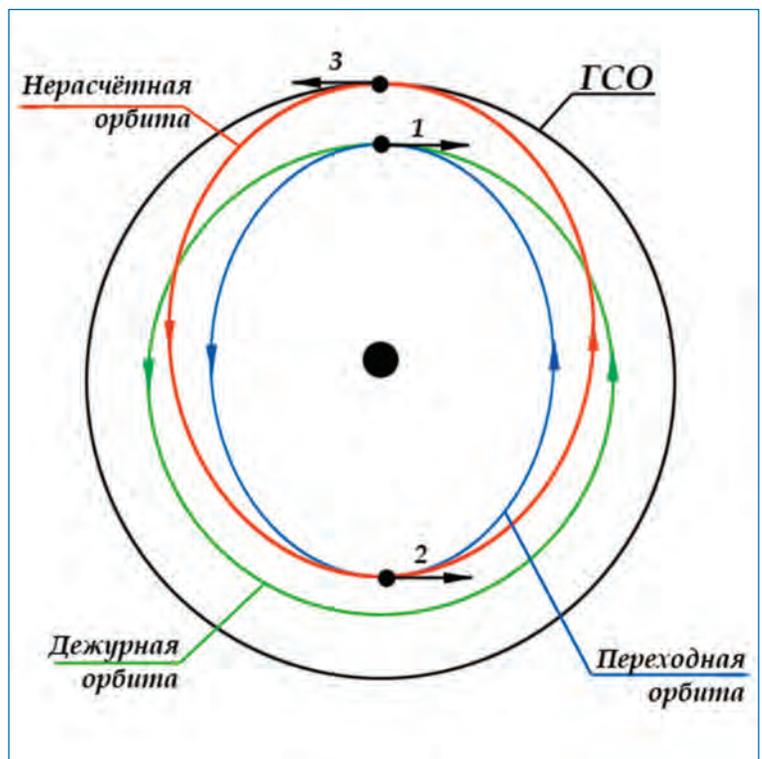


Рис. 3. Схема довыведения клиентского спутника на ГСО.

Комментарий к рисунку:

- 1 — тормозной импульс для перевода сервисного КА с дежурной орбиты на переходную орбиту, касающуюся нерасчетной орбиты клиентского спутника;
- 2 — разгонный импульс для перевода сервисного КА с переходной орбиты на нерасчетную орбиту клиентского спутника;
- 3 — разгонный импульс для перевода сервисного КА вместе с клиентским спутником с нерасчетной орбиты на ГСО.

орбиты спутника до высоты ГСО, а наклонение орбиты не уменьшилось до 0° (нерасчетная конечная орбита).

3. После выведения на ГСО разгонный блок РН (или двигательная установка спутника) не способен был обеспечить перемещение спутника в заданную точку стояния (нерасчетная точка стояния).

В первом и во втором случаях сервисный КА должен обеспечить последовательное выполнение следующих операций:

- ✓ переход на нерасчетную орбиту клиентского спутника с выходом в его окрестность;
- ✓ сближение с клиентским спутником со стороны заданного места захвата/стыковки на нем с обеспечением близкой к нулевой относительной скорости;
- ✓ захват/стыковка клиентского спутника с обеспечением требуемой жесткости связки сервисный КА–клиентский спутник;
- ✓ транспортировка клиентского спутника на ГСО;
- ✓ перемещение клиентского спутника в заданную точку стояния на ГСО;
- ✓ отпуск/расстыковка клиентского спутника;
- ✓ удаление от клиентского спутника на безопасное расстояние;
- ✓ переход на дежурную орбиту или орбиту следующего обслуживаемого спутника.

В третьем случае сервисный КА должен обеспечить переход с орбиты ожидания в нерасчетную точку стояния на ГСО клиентского спутника с последующим выполнением следующих операций:

- ✓ сближение и стыковка с клиентским спутником;
- ✓ перемещение клиентского спутника в заданную точку стояния на ГСО;
- ✓ расстыковка и удаление от клиентского спутника на безопасное расстояние;
- ✓ переход на дежурную орбиту или орбиту следующего обслуживаемого спутника.

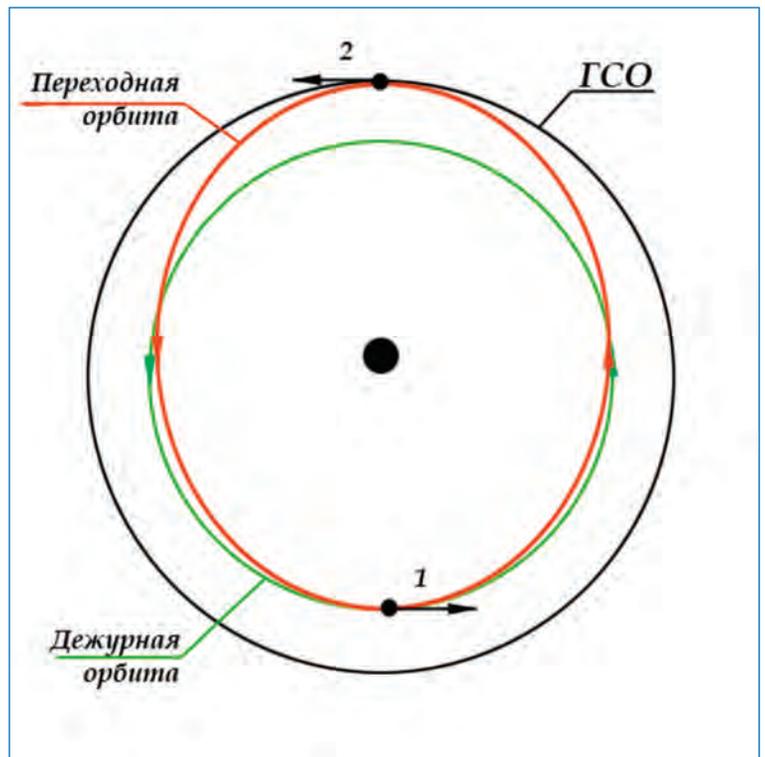


Рис. 4. Схема перехода сервисного КА в точку стояния на ГСО клиентского спутника.

Комментарий к рисунку:

- 1 — разгонный импульс для перевода сервисного КА с дежурной орбиты на переходную орбиту, касающуюся ГСО в точке стояния клиентского спутника;
- 2 — разгонный импульс для перевода сервисного КА с переходной орбиты на ГСО.

ПОДДЕРЖАНИЕ КЛИЕНТСКОГО СПУТНИКА В ТОЧКЕ СТОЯНИЯ НА ГСО

Поддержание спутника в заданной точке стояния на ГСО включает поддержание требуемых координат (положения центра масс спутника) и поддержание требуемой ориентации (углового положения спутника относительно центра масс).

Основными возмущающими факторами, которые стремятся сместить спутник из заданной точки стояния, являются нецентральность гравитационного поля Земли, влияние гравитационных полей Луны и Солнца и давление солнечного света. Поддержание координат спутника (долготы и широты) в требуемых пределах выполняется с помощью реактивных двигателей коррекции.

Основными возмущающими факторами, которые стремятся изменить угловое положение спутника, являются механические моменты,



Рис. 5. Поддержание клиентского спутника в точке стояния на ГСО.

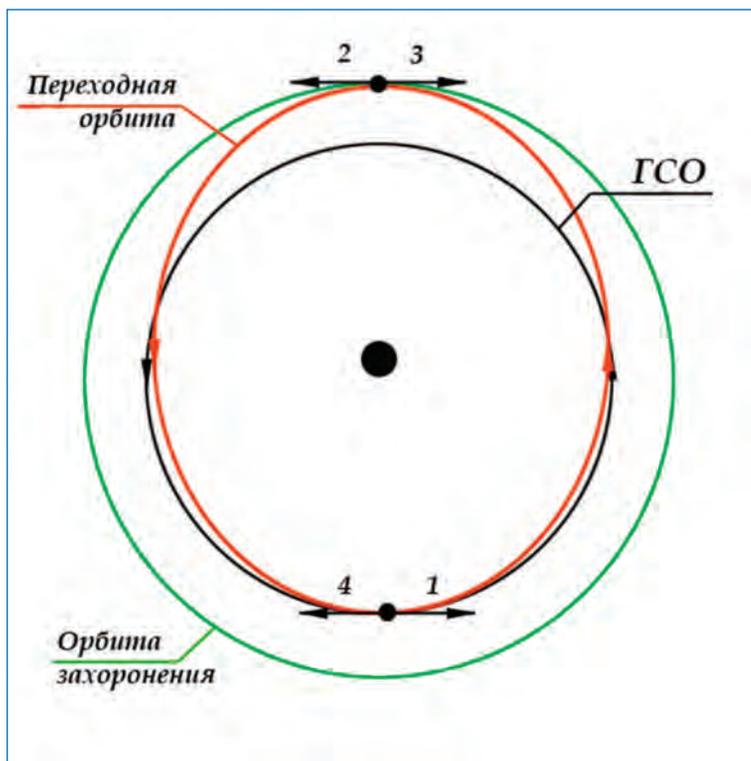


Рис. 6. Схема перевода клиентского спутника на орбиту захоронения и возврата сервисного КА на ГСО.

Комментарий к рисунку:

- 1 — разгонный импульс для перевода сервисного КА вместе с клиентским спутником с ГСО на переходную орбиту, касающуюся орбиты захоронения;
- 2 — разгонный импульс для перевода сервисного КА вместе с клиентским спутником с переходной орбиты на орбиту захоронения;
- 3 — тормозной импульс для перевода сервисного КА с орбиты захоронения на переходную орбиту, касающуюся ГСО;
- 4 — тормозной импульс для перевода сервисного КА с переходной орбиты на ГСО.

создаваемые давлением солнечного света, гравитационным и магнитным полем Земли, а также мощным радиоизлучением передатчиков бортовых ретрансляторов телекоммуникационных спутников. Поддержание углового положения спутника в требуемых пределах выполняется в настоящее время, как правило, с помощью двигателей-маховиков, периодически разгружаемых с помощью реактивных двигателей ориентации.

Потребность в услугах сервисного КА может возникнуть в случае окончания/приближения к окончанию запаса рабочего тела для двигателей коррекции и/или ориентации спутника.

В этом случае сервисный КА должен обеспечить последовательное выполнение следующих операций: перейти в точку стояния на ГСО клиентского спутника (рис. 4), сблизиться и состыковаться с клиентским спутником. Далее в течение заданного времени обеспечивается поддержание в требуемых пределах координат точки стояния и трехосной ориентации связи сервисный КА–клиентский спутник (рис. 5). После завершения поддержания обеспечивается расстыковка сервисного

КА и его удаление от клиентского спутника на безопасное расстояние, а затем переход на дежурную орбиту или орбиту следующего обслуживаемого спутника.

Если коррекция орбиты и разгрузка двигателей-маховиков производятся с некоторой периодичностью, то возможно поочередное обслуживание нескольких клиентских спутников в течение одного интервала времени.

Если запас рабочего тела клиентского спутника является отдельным для двигателей коррекции и ориентации и закончился только запас для двигателей коррекции, то возможно проведение сервисным КА только коррекции орбиты, а разгрузку двигателей-маховиков спутник будет выполнять самостоятельно (до окончания рабочего тела для двигателей ориентации). Это же возможно, если запас рабочего тела клиентского спутника является общим для двигателей коррекции и ориентации и еще не закончился.

В случае завершения срока службы клиентского спутника перед выполнением операции расстыковки с ним возможна его транспортировка на орбиту захоронения.

ПЕРЕВОД КЛИЕНТСКОГО СПУТНИКА С ГСО НА ОРБИТУ ЗАХОРОНЕНИЯ

В этом случае сервисный КА должен обеспечить последовательное выполнение следующих операций: перейти в точку стояния на ГСО клиентского спутника; приблизиться к нему и состыковаться. Далее обеспечивается транспортировка спутника на орбиту захоронения, после завершения которой выполняются расстыковка и переход на дежурную

Таблица

Характеристика	Значение
Масса клиентского спутника: ✓ максимальная ✓ средняя	7000 кг 4200 кг
Диапазон орбит функционирования (обслуживания): ✓ по высоте ✓ по наклонению ✓ по долготе	35800±1000 км ±0,5° ±180°
Срок активного существования (САС)	4 года
Количество услуг, оказываемых в течение САС: ✓ доведение спутника на ГСО ✓ поддержание спутника в точке стояния на ГСО ✓ перевод спутника с ГСО на орбиту захоронения	до 4 раз до 24 раз до 4 раз
Маршевая жидкостная двигательная установка: ✓ рабочее тело ✓ количество двигателей ✓ номинальная тяга одного двигателя ✓ суммарный импульс тяги	НДМГ+АТ 4 10 кгс 175 тс·с
Управляющая электрореактивная двигательная установка: ✓ рабочее тело ✓ количество двигателей ✓ номинальная тяга одного двигателя ✓ суммарный импульс тяги	ксенон 12 4 гс 220 тс·с
Масса сервисного КА: ✓ стартовая ✓ сухая	~1600 кг ~800 кг

орбиту или орбиту следующего обслуживаемого спутника. абонентами (центром управления полетом клиентского спутника и привлекаемыми станциями управления) с использованием телекоммуникационных средств.

ОРБИТАЛЬНАЯ ИНСПЕКЦИЯ КЛИЕНТСКОГО СПУТНИКА НА ГСО

В случае возникновения потребности в такой услуге сервисный КА должен обеспечить последовательное выполнение следующих операций: переход в точку стояния на ГСО клиентского спутника, сближение с клиентским спутником, облет клиентского КА, удаление и переход на дежурную орбиту.

Основные характеристики сервисного КА приведены в таблице.

Внешний облик сервисного КА представлен на рисунках 7 и 8.

Наземный комплекс управления предназначен для командно-программного, телеметрического и баллистико-навигационного обеспечения полета сервисного КА.

В состав наземного комплекса управления входят:

- ✓ центр управления полетом;
- ✓ станции управления;
- ✓ средства связи и передачи данных.

Наземный комплекс управления будет организован на базе Национального центра управления испытаний космических средств (НЦУИК). При обслуживании клиентских спутников для проведения сеансов связи с сервисным КА, находящимся в любой точке ГСО, кроме украинской станции необходимо привлечь дополнительно не менее трех станций управления в экваториальной зоне.

В процессе управления сервисным КА осуществляется обмен данными между составными частями наземного комплекса управления, а также центра управления полетом и внешними

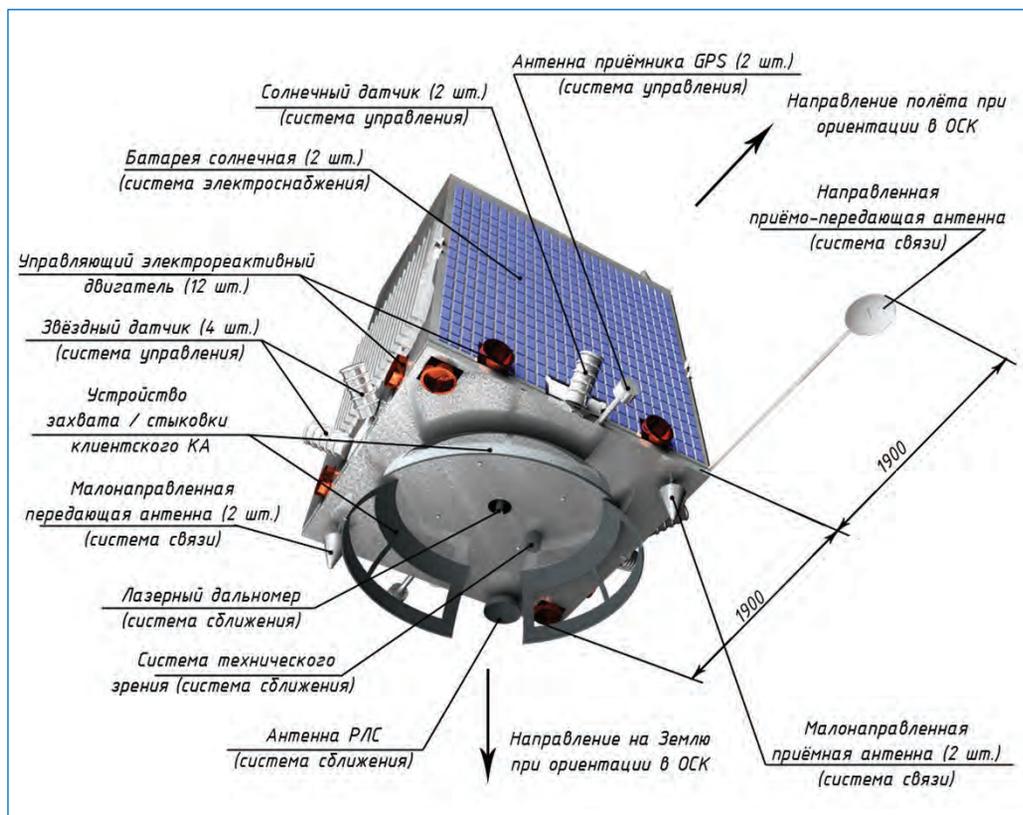


Рис. 7. Внешний облик сервисного КА (вид со стороны устройства захвата / стыковки).

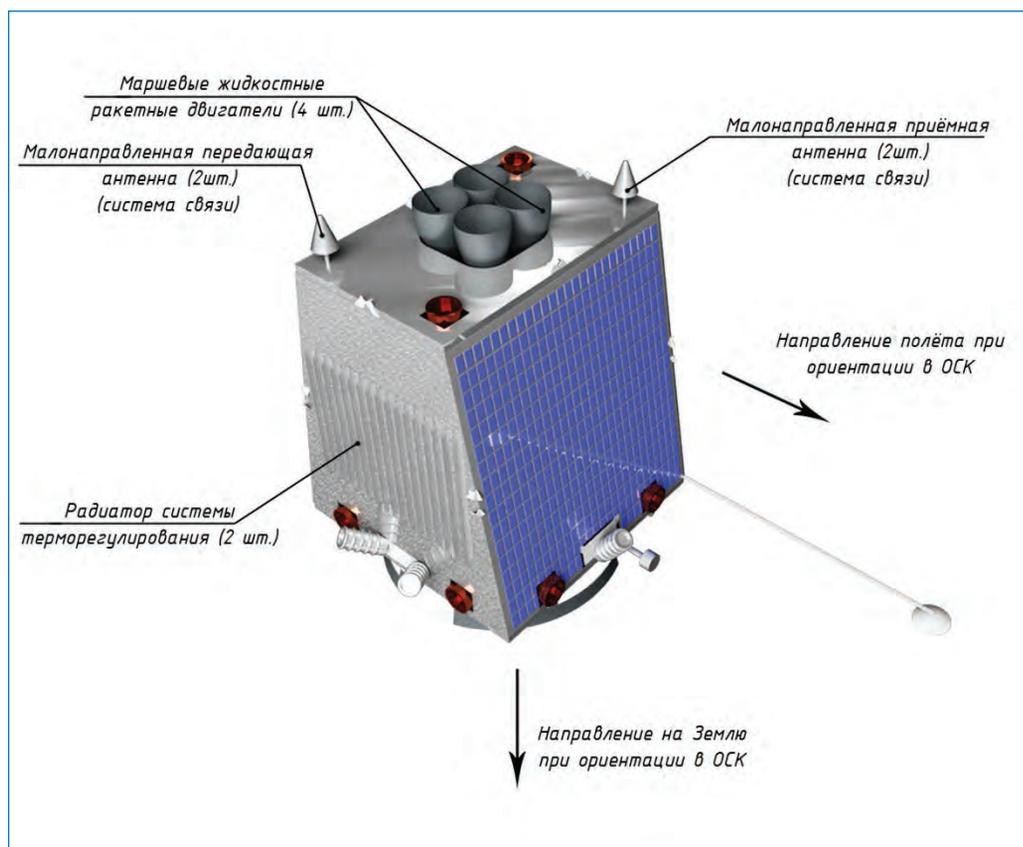


Рис. 8. Внешний облик сервисного КА (вид со стороны маршевых ракетных двигателей).