

УДК 629.783

К. Г. Белоусов, М. В. Вайсеро, В. В. Кавун, В. Н. Маслей, С. И. Москалев, Ю. А. Шовкопляс  
Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепропетровск

## КОНЦЕПЦИЯ БЕСКОРПУСНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

---

*Приведена концепция построения платформы малых космических аппаратов в бескорпусном исполнении с использованием технологии приборных рамочных модулей.*

**Ключевые слова:** малые космические аппараты, бескорпусная платформа.

---

### КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПЛАТФОРМЕ

Бурное развитие мировой космической отрасли, а также расширение задач, которые ставятся перед новой космической техникой, привели к созданию большого количества различных космических аппаратов (спутников). В то же самое время повышение технических требований к создаваемой космической технике и использование высоких технологий привели к значительному повышению стоимости производства и эксплуатации космических аппаратов (КА).

Одним из существенных способов удешевления производства, изготовления и эксплуатации КА является унификация отдельных систем, приборов и элементов конструкции КА.

Применение базовой платформы под различные типы полезной нагрузки (ПН) реализует принцип унификации при создании космической техники. Однако унификация при создании КА с использованием базовой платформы влечет за собой снижение качественных показателей по габаритным, массово-инерционным, энергетическим и другим характеристикам всего КА. Выходом из данной ситуации является создание

базовых платформ разных классов (по весу) и использование более широкой гаммы приборов базовых платформ. Анализ предлагаемых на современном этапе полезных нагрузок показывает, что большинство создаваемых в космической технике спутников относится к классу микроспутников весом до 100 кг и миниспутников (малого космического аппарата) весом до 500 кг. Исходя из этого, создание базовой платформы в этих весовых категориях является предпочтительным.

Современные малые космические аппараты (МКА) создаются, как правило, в корпусном исполнении. Корпусное исполнение МКА предусматривает наличие самостоятельного корпуса, выполняющего силовую, терморегулирующую и защитную функции. Основным несущим силовым элементом МКА может быть ферма с установленными на ней панелями с аппаратурой, или силовой центральный цилиндр, вокруг которого крепятся панели с аппаратурой, либо силовой каркас, состоящий только из панелей, на которых располагаются все компоненты МКА.

Для МКА массой до 200 кг на нашем предприятии создана платформа МС-2 в бескорпусном исполнении, с возможностью установки полезной нагрузки до 100 кг, предназначенная для функционирования на околоземных орбитах высотой от 500 до 700 км.

Впервые платформа МС-2 была применена в ГП «КБ «Южное» для создания спутника «Egyptsat-1» и МКА «Січ-2». В настоящее время на ее основе создаются МКА «Мікросат» и МКА «Січ-2-1» (усовершенствованный МКА «Січ-2»).

Функцию корпуса в таком МКА выполняют корпуса самих приборов, из которых состоит МКА. При этом приборы выполняются плоскими в виде негерметичных рамочных модулей (РМ), из которых составляется пакет с двумя плитами на противоположных торцах пакета, скрепленный шпильками-стяжками.

Концепция использования базовой платформы МС-2 предполагает возможность установки различных ПН в данной весовой категории для решения поставленной перед МКА задачи. При этом базовая платформа МС-2 должна обеспечивать поддержку требуемой орбиты, требуемое электроснабжение, создание заданного теплового режима, требуемую ориентацию приборов полезной нагрузки, выполнение всех технических требований, предъявляемых к приборам ПН

и платформы, максимально возможный срок активного существования МКА.

Выполнение высоких требований, предъявляемых к базовой платформе МС-2, может привести к снижению таких показателей МКА, как минимально возможные габаритные размеры и масса. Однако их выполнение позволит построить качественную и гибкую систему, позволяющую при минимальных затратах создавать разнообразные по своему назначению МКА.

Платформа МС-2 состоит из подсистемы данных платформы, включающей бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК) и модуль телеметрии, подсистемы определения и управления ориентацией (ПОУО), аппаратуры спутниковой навигации (приемника GPS), связной подсистемы (аппаратуры командно-телеметрической радиолинии S-диапазона), подсистемы электроснабжения (ПСЭС), подсистемы терморегулирования; двигательной установки (ДУ), кабельной сети и конструкции.

Структурная схема платформы МС-2 приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема платформы МС-2

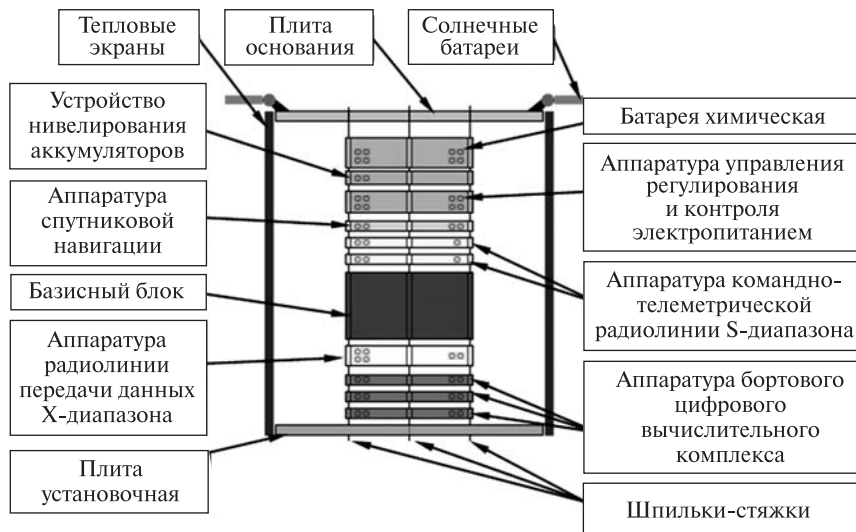


Рис. 2. Расположение приборов платформы в пакете приборных рамочных модулей

В зависимости от назначения и требований к создаваемому на основе платформы МС-2 МКА состав и комплектация аппаратуры платформы могут варьироваться.

Например, ПОУО может варьировать по составу и количеству устанавливаемых приборов, причем комплектовать платформу можно приборами разных производителей, имеющими различные интерфейсы.

Естественно, такой подход приводит к тому, что элементы конструкции платформы (плита основания, плата установочная, блок базисный) конструктивно могут отличаться в зависимости от того, какой МКА создается на базе этой платформы. Но эти элементы конструкции легко подвергаются изменениям и мало влияют на технико-экономические показатели платформы и на МКА в целом.

Малые космические аппараты, создаваемые с применением приборных РМ, обладают следующими достоинствами по сравнению с МКА в корпусном исполнении:

- снижение массы за счет выполнения функции корпуса МКА корпусами приборных рамочных модулей (ПРМ);
- идентичность и простота конструкции корпусов ПРМ (отличаются высотой, расположением и количеством соединителей);

- применение в конструкции корпусов ПРМ традиционного в ракетно-космической отрасли Украины материала — алюминиевого сплава АМг6;

- повышение точности углового положения приборов ПН и приборов системы управления (СУ), включающей БЦВК и ПОУО, путем их размещения на едином конструктиве — базисном блоке, расположенном в центре пакета ПРМ;

- снижение температурных деформаций пакета ПРМ путем их оснащения тепловыми экранами, расположенными на боковых гранях торцевых плит;

- снижение длин и массы кабелей между ПРМ за счет расположения электрических соединителей преимущественно на одной из сторон пакета из ПРМ;

- удобство проведения сборочно-разборочных работ с МКА и удобство проведения электрических испытаний на космодроме.

Платформа состоит из пакета ПРМ, включая базисный блок, и двух прямоугольных плит на противоположных торцах пакета, скрепленных шестью стяжными шпильками. Боковые грани пакета ПРМ по торцам плит закрыты тепловыми экранами. К одной из плит (основанию) посредством механизмов поворота прикреплены четыре солнечные батареи, ко-

торые в транспортном положении МКА сложены вдоль пакета ПРМ и зачекованы к плате установочной.

Расположение ПРМ в пакете приведено на рис. 2.

Конструктивные особенности платформы МС-2 МКА «Січ-2»:

- использование оптимизированных по размерам и массе негерметичных приборных рамочных модулей, которые совместно с платами и тепловыми экранами выполняют силовую, защитную от воздействия факторов космического пространства и терморегулирующую функцию корпуса платформы. Типовой приборный РМ изображен на рис. 3;

- расположение приборов ПОУО и ПН на едином конструктиве — базисном блоке, что позволяет установить их с высокой точностью и обеспечить нестабильность углового положения на орбите относительно базовой системы координат платформы менее 3'. Базисный блок изображен на рис. 4;

- использование пассивной системы терморегулирования, включающей тепловые экраны, чехлы из ЭВТИ, тепловые изоляторы, терморегулирующие покрытия. Тепловые экраны трехслойной сотовой конструкции (в сборе) изображены на рис. 5. Расположение тепловых экранов под углом 45° к плоскости орбиты (см. рис. 9) обеспечивает более эффективное их использование;

- использование раскрываемых механизмами поворота на угол 90° солнечных батарей, панели которых выполнены в виде трехслойной сотовой конструкций. Солнечная батарея изображена на рис. 6;

- размеры плиты основания и плиты установочной в два раза превышают размер ПРМ, что позволяет установить приборы ПН как на наружной, так и на внутренней поверхностях плит вокруг пакета ПРМ. При этом плиты расположены по отношению к пакетам ПРМ под углом 45°, что увеличивает внутренний объем платформы для размещения ПН и в тоже время уменьшает внешние габариты платформы. Плита основания и плата установочная в сборе изображены на рис. 7 и 8.

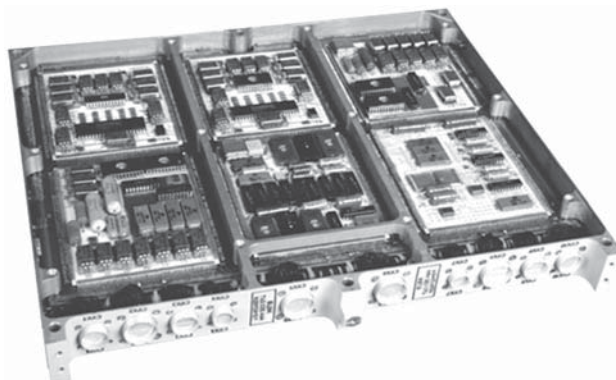


Рис. 3. Типовой приборный рамочный модуль

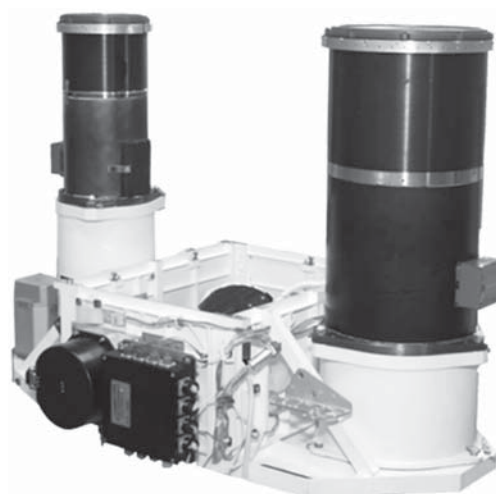


Рис. 4. Базисный блок



Рис. 5. Тепловые экраны в сборе

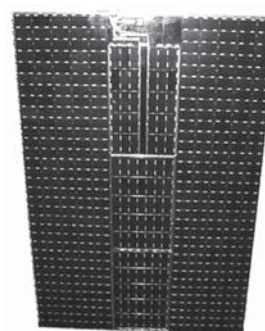


Рис. 6. Солнечная батарея

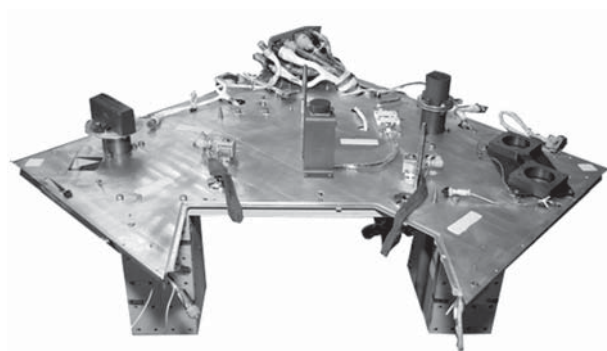


Рис. 7. Плита основания в сборе

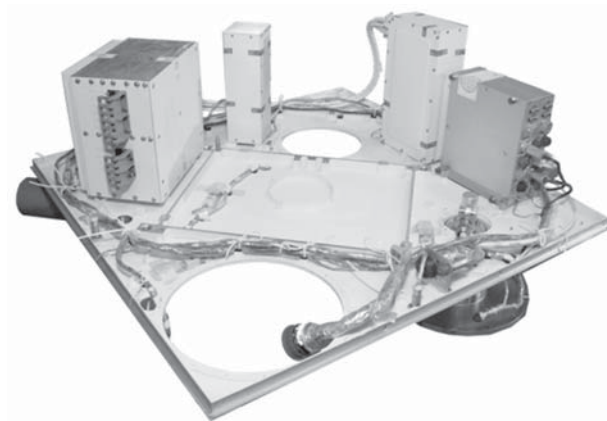


Рис. 8. Плита установочная в сборе

Конструктивно-компоновочная схема и конструкция МКА «Січ-2», созданная на базе платформы MS-2, защищена Патентом Украины № 79274 на «Супутник дистанційного зондування Землі».

#### РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ПЛАТФОРМЕ MS-2

Взаимное расположение основных компонентов платформы по отношению к направлению полета МКА приведено на рис. 9.

Полезная нагрузка на платформе MS-2 может устанавливаться как внутри платформы, так и снаружи. Общий объем аппаратуры ПН, устанавливаемой внутри платформы между плитами и тепловыми экранами, около  $70 \text{ дм}^3$ , а на наружной части —  $50 \text{ дм}^3$ . Размещение ПН на платформе представлено на рис. 10.

#### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАТФОРМЫ MS-2

Платформа MS-2 представляет собой гибкую систему, позволяющую установить широкую гамму полезных нагрузок для создания МКА различного назначения.

Платформа MS-2 позволяет установить на нее различные ПН для решения задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), связи, научных исследований, технологических экспериментов и др.

Возможность использования различных типов и модификаций аппаратуры системы управления позволяет ей ориентировать МКА как на Землю, так и на Солнце (что повышает энерговооруженность платформы).

Использование двигательной установки позволяет не только поддерживать требуемые параметры орбиты, но и изменять их.

Основные характеристики платформы MS-2:

- орбита — солнечно-синхронная околокруговая высотой от 500 до 700 км и местным солнечным временем в нисходящем узле от 10 до 14 ч;

- ориентация — трехосная, на Землю;

- погрешность ориентации во время работы ПН —  $0.2^\circ$  ( $3\sigma$ ) при наличии в составе платформы астроизмерительной системы и комплекта измерителей угловой скорости, в дежурном режиме или режиме ориентации на Солнце — не хуже  $5^\circ$  ( $3\sigma$ );

- управление и телеметрия осуществляется по радиолинии S-диапазона со скоростью 32 Кбит/с (8 Кбит/с в неориентированном режиме);

- передача информации ПН по радиолинии X-диапазона со скоростью 32 Мбит/с (в ориентированном в орбитальной системе координат режиме);

- срок активной жизни — не менее 5 лет;

- масса платформы до 100 кг.

На платформе возможна установка ПН, имеющие следующие характеристики:

- масса — до 100 кг, объемы снаружи платформы — до  $50 \text{ дм}^3$ , внутри платформы три места до  $70 \text{ дм}^3$ ;

Рис. 9. Взаимное расположение основных компонентов платформы МС-2

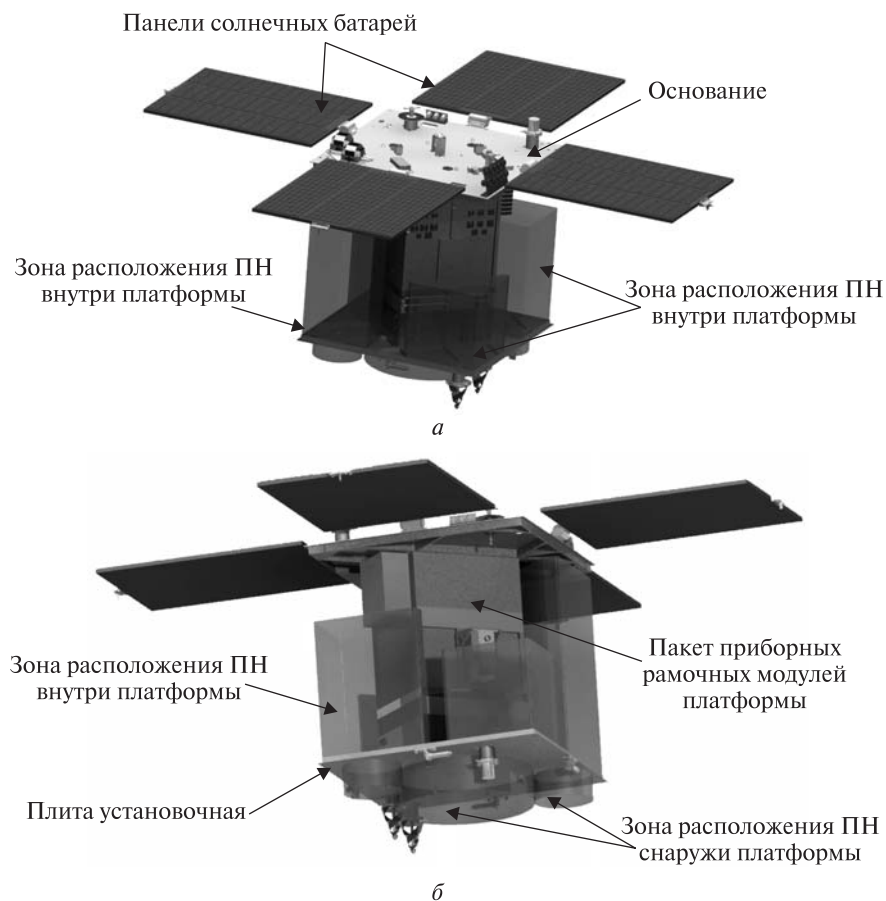
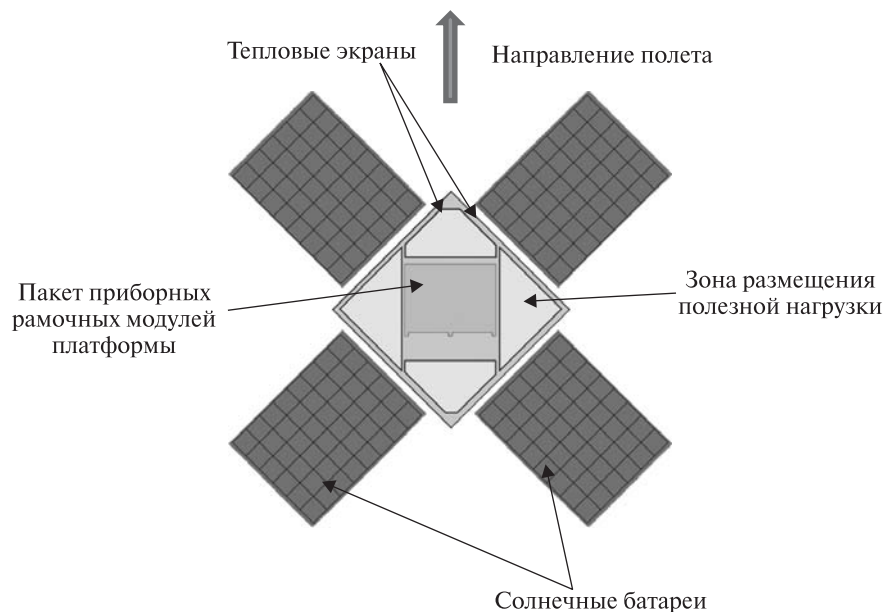


Рис. 10. Размещение полезной нагрузки на платформе: *a* — вид со стороны основания, *b* — вид со стороны плиты установочной

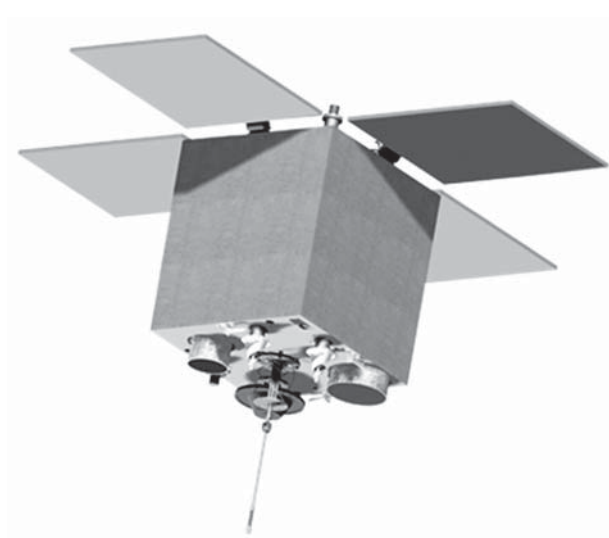


Рис. 11. Спутник «Egyptsat-1»



Рис. 12. Малый космический аппарат «Січ-2»

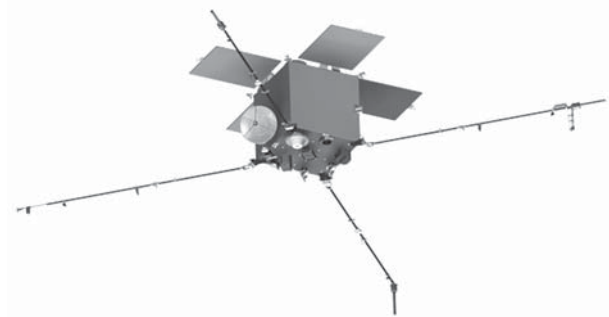


Рис. 13. Малый космический аппарат «Мікросат»

- выделенная для ПН ПСЭС среднесуточная мощность электропитания — до 15 Вт (до 300 Вт в течение 15 мин);

- количество команд управления: релейных (разовых и программных) — до 69, интерфейсных (разовых и программных) — до 143;

- интерфейс обмена данными — «токовая петля» (три канала);

- количество телеметрируемых аналоговых параметров — до 20, сигнальных — до 52, температурных и потенциометрических — до 28.

#### ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ МС-2 ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На базе платформы МС-2 созданы спутник ДЗЗ «Egyptsat-1» в интересах Арабской Республики Египет и украинский МКА ДЗЗ «Січ-2». Кроме этого, на базе данной платформы создается МКА «Мікросат» научно-технологического назначения и МКА «Січ-2-1».

Спутник «Egyptsat-1» (см. рис. 11) предназначен для оперативного получения информации с поверхности Земли в видимом и в среднем инфракрасном диапазонах спектра, а также для передачи кратких сообщений с промежуточным хранением информации на борту спутника.

Полезная нагрузка спутника позволяет получать информацию с поверхности Земли в видимом диапазоне с разрешением в надире 7.8 м с шириной полосы обзора в надире 46.6 км, а также в среднем инфракрасном диапазоне с разрешением в надире 39.5 м с шириной полосы обзора в надире 55.3 км. Кроме того, спутник оборудован аппаратурой электронной почты, способной принимать и передавать краткие сообщения со скоростью 9.6 кбит/с. Масса спутника составляет 157 кг (масса ПН — 49 кг). Габаритные размеры спутника в рабочем положении  $2.35 \times 2.36 \times 1.57$  м. Спутник запущен 17 апреля 2007 г. на солнечно-синхронную орбиту с высотой 668 км и наклоном  $98.0^\circ$  и отработал на орбите 3.5 года.

Малый космический аппарат ДЗЗ «Січ-2» (см. рис. 12) предназначен для оперативного получения информации с поверхности Земли в видимом и в среднем инфракрасном диапазонах спектра, а также для сбора научной информации

о параметрах ионосферы Земли. Полезная нагрузка МКА позволяет получать информацию с поверхности Земли в видимом диапазоне с разрешением в надире 8.2 м с шириной полосы обзора в надире 48.8 км, а также в инфракрасном диапазоне с разрешением в надире 41.4 м с шириной полосы обзора в надире 58.1 км. Кроме того, МКА «Січ-2» оборудован комплексом научной аппаратуры «Потенциал», включающей датчик нейтральных частиц, датчик заряженных частиц, а также датчик электрического поля. Масса МКА составляет 176 кг (масса ПН — 58 кг). Габаритные размеры МКА в рабочем положении  $2.38 \times 2.38 \times 1.12$  м. МКА имеет режим ориентации на Солнце, что позволяет повысить его энерговооруженность. МКА «Січ-2» запущен 17 августа 2011 г. на солнечно-синхронную орбиту с высотой 700 км и наклоном  $98.24^\circ$ .

Малый космический аппарат «Мікросат» (см. рис. 13) предназначен для проведения научных и технологических экспериментов в условиях космического пространства. Для проведения технологических экспериментов на МКА «Мікросат» установлены экспериментальные звездный датчик, высокоскоростная аппаратура связной радиолонии X-диапазона, литий-ионная и солнечная батареи, панели с терморегулирующими покрытиями. В состав платформы МС-2 в МКА «Мікросат» включена амиачная двигательная установка. Все компоненты МКА — отечественного производства.

Для проведения ионосферных измерений МКА «Мікросат» оснащен комплексом научной

аппаратуры «Іоносат-Мікро», включающим в себя волновые зонды, магнитометры, датчики нейтральных и заряженных частиц, электрический зонд и анализатор спектра электрического поля. Масса МКА составляет 185 кг (масса ПН — 70 кг). Габаритные размеры МКА в рабочем положении  $5.9 \times 5.6 \times 1.3$  м. МКА «Мікросат» планируется запустить на солнечно-синхронную орбиту с высотой 668 км и наклоном  $98^\circ$ .

*Стаття надійшла до редакції 09.09.15*

*К. Г. Білоусов, М. В. Вайсєро, В. В. Кавун,  
В. М. Маслєй, С. І. Москальов, Ю. А. Шовкопляс*  
Державне підприємство «Конструкторське бюро  
«Південне» ім. М. К. Янгєля», Дніпропетровськ

#### КОНЦЕПЦІЯ БЕЗКОРПУСНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ КОСМІЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Приведено концепцію побудови платформи малих космічних апаратів у безкорпусному виконанні з використанням технології приладових рамкових модулів.

**Ключові слова:** малі космічні апарати, безкорпусна платформа.

*K. G. Belousov, M. V. Vaisero, V. V. Kavun,  
V. N. Masley, S. I. Moskalev, Yu. A. Shovkopliias*  
Yuzhnoye State Design Office, Dnipropetrovsk

#### CONCEPTION OF THE OPEN-FRAME PLATFORM FOR SPACE EXPERIMENTS

We describe the conception of development of an open-frame platform for small satellites, which is based on frame module technology.

**Key words:** small satellites, open-frame platform.