частная космическая компания

ПЛАТФОРМА SPUTNIX CUBESAT (SXC) «ОРБИКРАФТ-ПРО»

ИНТЕРФЕЙСНЫЙ КОНТРОЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ

SXC ICD

Версия 1.4

Москва 2020

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

АННОТАЦИЯ

Данный документ является исходным при проектировании и интеграции бортовой аппаратуры или иной полезной нагрузки в наноспутниковую платформу Sputnix CubeSat (SXC) – «Орбикрафт-Про» форматов CubeSat 1U (SXC1) и CubeSat 3U (SXC3). В документа указаны технические требования по механическим и электрическим интерфейсам разрабатываемых полезных нагрузок.

К документу прилагаются следующие файлы:

- SXC1 ICD.STEP – упрощённая трёхмерная модель платформы формата CubeSat 1U (SXC1) с установленной моделью доступного объема ПН.
- SXC3 ICD 2U – упрощённая трёхмерная модель платформы формата CubeSat 3U (SXC3) с установленной моделью доступного объема ПН.
- SXC3 ICD 1U – упрощённая трёхмерная модель платформы формата CubeSat 3U (SXC3-ADC) с установленной системой ориентации и стабилизации (SXC-FW4-02) и моделью доступного объема ПН.
- SXC3 ICD 0.7U – упрощённая трёхмерная модель платформы формата CubeSat 3U (SXC3-ADC-X) с установленными системой ориентации и стабилизации (арт. SXC-FW4-02), а также высокоскоростным передатчиком X-диапазона (арт. SXC-XTX-01) и с установленной моделью доступного объема ПН.
- SXC1 PL ICD.STEP – трехмерная модель доступного объема полезной нагрузки для платформы CubeSat 1U.

– SXC3 PL 0.7U.STEP – трехмерная модель доступного объема полезной нагрузки для платформы CubeSat 3U с установленными системой ориентации и стабилизации, а также высокоскоростным передатчиком X-диапазона (арт. SXC-XTX-01).
– SXC3 PL 1U.STEP – трехмерная модель доступного объема полезной нагрузки для платформы CubeSat 3U с установленной системой ориентации и стабилизации.
– SXC3 PL 2U.STEP – трехмерная модель доступного объема полезной нагрузки для платформы CubeSat 3U.

ИСТОРИЯ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер версии	Дата	Описание изменений
1.4	19.05.2021	Шубин -добавлены коэффициенты безопасности для пересчета квалификационных воздействий в эксплуатационные
1.3	27.04.2021	Шубин -формулировки связанные с местом под ПН Жарких: -п.3.3.1 Электрические параметры -п.3.4.8 Рекомендации по функционалу… -п.3.5 дополнен
1.2	13.04.2021	Шубин -отредактировано место под ПН -изменена компоновка ПН и имена файлов
1.1	12.02.2020	Жарких: - добавлен раздел 2 - обновлен текст раздела 3,4 Кузнецов: - переработана механическая часть - добавлены приложения Б-Д с чертежами объема ПН - добавлено приложение А с методикой механических нагружений
1.04	17.06.2020	Елецкая: – обновлена распиновка PC104 – дополнен п. 2.1, 2.2
1.03	26.03.2019	Жарких – Скорректировано название и аннотация – Добавлено описание сигнала A17 в табл.1, цветовое кодирование и описание сигналов ПН ниже – в п.2.3 добавлено raspberry и описание Houston для работы с UNICAN – упоминание о средствах разработки перенесено в п.2.2 и расширено SXC-MBB-02 и обучением. – в табл.2 скорректированы названия, под таблицей изменено пояснение
1.02	20.03.2019	Устюгов – Дополнен п. 1.2 – Изменён п.2 и 3 (требования к бортовой аппаратуре и возможности платформы)
1.01	14.01.2019	Жарких: – исправлены орфографические ошибки; – скорректирована табл.1: уточнены параметры энергетики и USB 2.0; – удален Лист Регистрации Изменений; отформатирована таблица Истории Изменений.
1.00	10.01.2019	Устюгов: нет, новый документ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИСТОРИЯ ИЗМЕНЕНИЙ 4
1 ВВЕДЕНИЕ 7
1.1 Наименование и обозначение изделия 7
1.2 Назначение и состав документа 7
2 РЕКОМЕНДАЦИИ 8
2.1 Спецификация CubeSat 8
2.2 Конечные характеристики КА 8
3 ИНТЕРФЕЙСЫ ПЛАТФОРМЫ SXC 9
3.1 Механический интерфейс SXC3 9
3.1.1 Общие требования SXC3 9
3.1.2 Размещение полезной нагрузки SXC3 9
3.2 Механический интерфейс SXC1 12
3.2.1 Общие требования SXC1 12
3.3 Электрический интерфейс 14
3.3.1 Электрические параметры 15
3.3.2 Разъемы подключения ПН 16
3.4 Информационный интерфейс 20
3.4.1 Адресация в протоколе UNICAN 20
3.4.2 Идентификатор сообщения в протоколе Unican 21
3.4.3 Формат сообщения в протоколе Unican 21
3.4.4 Рекомендуемый состав телеметрии 22
3.4.5 Адрес телеметрии и максимальный размер пакета 23
3.4.6 Использование загрузчика 24
3.4.7 Использование терминала telnet и передача файлов 24
3.4.8 Рекомендации по функционалу работы с CAN 24
3.5 Электромагнитная совместимость 26
4 ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЛАТФОРМЫ SXC 27
4.1 Предельно допустимые значения 27
ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЖИМЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПН 28

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

Обозначение/ сокращение	Расшифровка
КА	Космический аппарат
ПН	Полезная нагрузка
РЭ	Руководство по эксплуатации
ЦУП	Центр управления полетом
СЭП	Система электропитания
CAN	(Controller Area Network — сеть контроллеров) — стандарт промышленной сети, ориентированный на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков
I2C	Inter-Integrated Circuit – последовательная асимметричная шина для связи между интегральными схемами внутри электронных приборов
SPI	Интерфейс для последовательного обмена данными между микросхемами
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter - универсальный асинхронный приёмопередатчик, узел вычислительных устройств

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Наименование и обозначение изделия

Наименование изделия: ПЛАТФОРМА SPUTNIX CUBESAT (SXC) «ОРБИКРАФТ-ПРО»

Обозначение изделия: SXC

1.2 Назначение и состав документа

Интерфейсный контрольный документ содержит необходимую пользователю информацию для разработки собственной полезной нагрузки (далее – ПН), интегрируемой в изделие.

Данный документ содержит описание, технические характеристики изделия и основные ограничения для аппаратуры, устанавливаемой в изделие.

Также данный документ может использоваться при разработке бортовой аппаратуры, совместимой с инженерными решениями ООО «Спутникс».

Данный документ носит рекомендательный характер и не является исчерпывающим руководством по разработке космической техники.

2 РЕКОМЕНДАЦИИ

2.1 Спецификация CubeSat

Наноспутниковые платформы SXC1 и SXC3 (Рисунок 1) разработаны в соответствии со спецификацией CubeSat Design Specification rev.13 (http://emits.sso.esa.int/emits-doc/ESA_HQ/AD3_cds_rev13_final.pdf). При проектировании любых устройств для этих платформ следует изучить данный документ и учитывать требования

2.2 Конечные характеристики КА

Приведенные в данном документе сведения позволяют разработать устройства, совместимые с платформой SXC, однако, требуется понимать, что они не могут целиком определять характеристики каких-либо конечных КА. Для определения возможностей и ограничений каждого конкретного КА, собранного на платформе SXC требуется проведение комплексного системного анализа космической системы с учетом параметров орбиты, полного состава КА, циклограммы полета и других факторов.

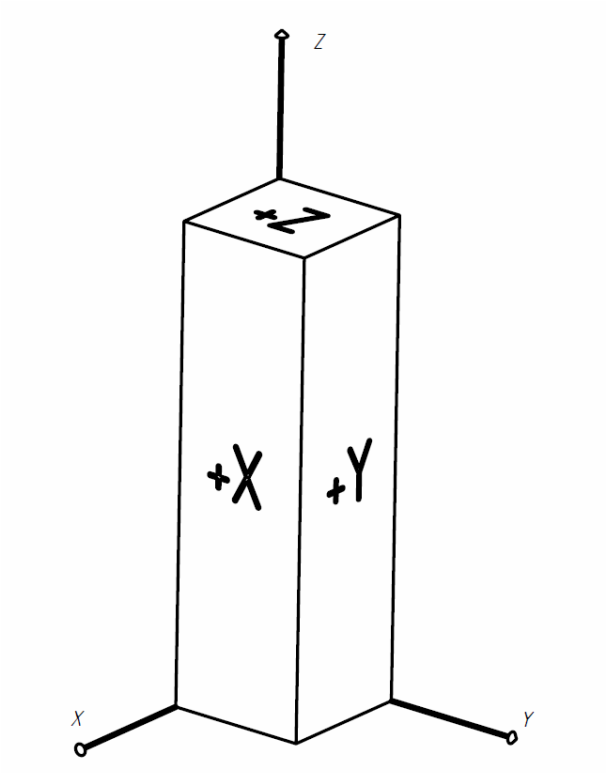


Рисунок 1 Направление осей КА

3 ИНТЕРФЕЙСЫ ПЛАТФОРМЫ SXC

3.1 Механический интерфейс SXC3

3.1.1 Общие требования SXC3

Полезная нагрузка должна обеспечивать выполнение следующих условий:

1. Представлять собой прибор, геометрически ограниченный размерами модели доступного объема ПН в зависимости от комплектации платформы служебными системами.
2. Иметь разъем PC104 для интеграции в общую шину бортовых систем платформы (допускается использование других интерфейсов платформы, см. п. 3.3.2).
3. Масса полезной нагрузки не должна превышать:
   - для модификации SXC3 – не более 2200 г;
   - для модификации SXC3-ADC – не более 1700 г;
   - для модификации SXC3-ADC-X – не более 1400 г;
4. Иметь резьбовые отв. М3 обеспечивающие установку винтов длиной не менее 4 мм. Расположение резьбовых отв. в соответствии с моделями доступного объема ПН.
5. Выполнять требования по механическим нагружениям, приведенным в Приложении А.

Примечание — в случае необходимости максимальные габаритные размеры полезной нагрузки могут быть изменены по согласованию с разработчиком платформы.

3.1.2 Размещение полезной нагрузки SXC3

ПН может размещаться в объеме, свободном от служебных систем, не мешающих их развертыванию и работе, пример собранной платформы SXC3

с объемом для размещения ПН на Рисунок 2, солнечные панели и датчики не показаны.



Рисунок 2 Размещение ПН на платформе SXC3

В зависимости от комплектации служебных систем объем, доступный для ПН различается.

Для каждой из комплектаций, прилагаются упрощенная 3D-модель платформы и 3D-модель доступного объема ПН. Разрабатываемая ПН не должна превышать габариты модели доступного объема и иметь посадочные отверстия и расположение разъема PC/104 согласно модели платформы.

Таблица 1 Соответствие документов по SXC3

Номер	Обозначение	Файл 3D модели Доступного объема ПН	Файл 3D модели КА со свободным местом для ПН
3	SXC3 (базовая)	SXC3 PL 2U.STEP	SXC3 ICD 2U.STEP
2	SXC3-ADC (с системой ориентации)	SXC3 PL 1U.STEP	SXC3 ICD 1U.STEP
1	SXC3-ADC-X (с системой ориентации и высокоскоростным передатчиком)	SXC3 PL 0.7U.STEP	SXC3 ICD 0.7U.STEP

Корпус платформы состоит из двух боковин (Рисунок 3 поз. 2) и набора балок (Рисунок 3 поз. 1), предназначенных для крепления бортовой аппаратуры и полезной нагрузки к боковинам, то есть закрепления их в корпусе платформ SXC3 и SXC1.

Вне зависимости от высоты конкретной ПН закрепленные должно быть выполнено на верхние и на нижние посадочные отверстия, т.е. в 8 точках.

В составе ПН не допускается использовать магнитный крепеж. Для крепежа допускается использовать следующие материалы:

- Алюминий
- Нержавеющую сталь
- Латунь
- Титан

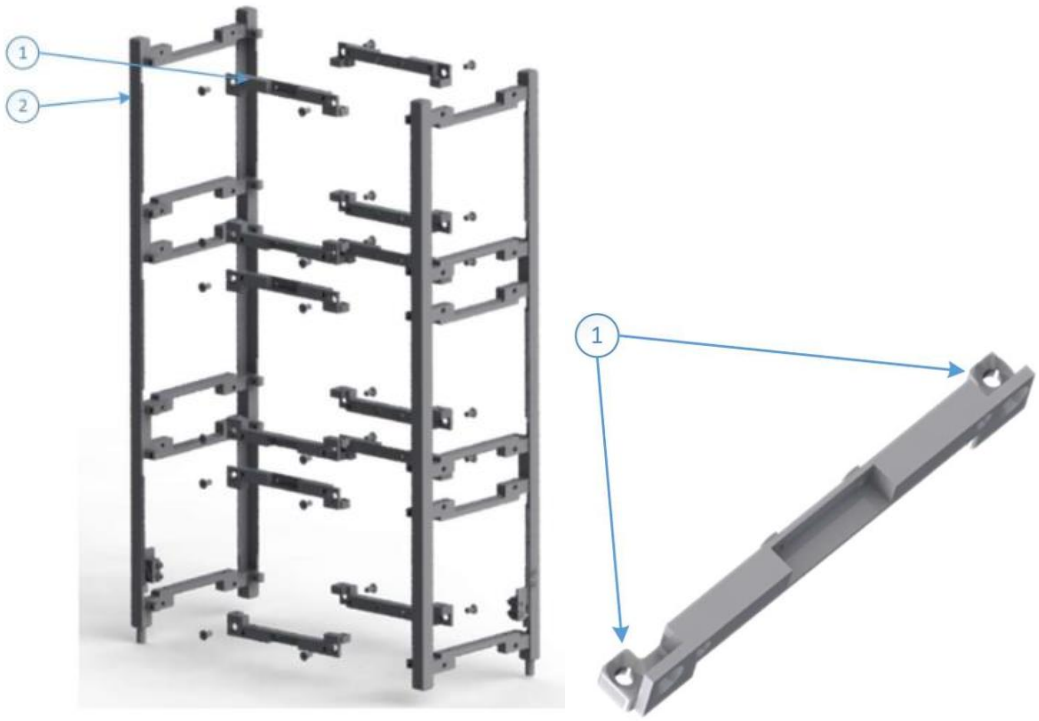


Рисунок 3 Крепление ПН на платформе SXC3

В случае, когда ПН уже разработана и не может быть непосредственно установлена в интерфейс платформы, следует разработать простую плату-переходник, совместимую с платформой и содержащую разъем для подключения ПН. Рекомендуемый способ разработать такую плату – использовать базовую плату от производителя SXC-MBB-03, в которую входит исходный код и электрическая схема платы. Механическое крепление нестандартных ПН, по согласованию с разработчиком платформы, может обеспечиваться переходным кронштейном.

3.2 Механический интерфейс SXC1

3.2.1 Общие требования SXC1

Полезная нагрузка должна обеспечивать выполнение следующих условий:

1. Представлять собой прибор в виде платы геометрически ограниченный размерами модели допустимого объема ПН.
2. Иметь разъем PC104 для интеграции в общую шину бортовых систем платформы.
3. Масса полезной нагрузки не должна превышать 300 г:

4. Иметь безрезьбовые отверстия ϕ3,2 в соответствии с моделью доступного объема полезной нагрузки для SXC1

Примечание: ПН может быть выполнена не в виде платы по согласованию с разработчиком платформы.

Размещение полезной нагрузки в SXC1

ПН должна удовлетворять требованиям п. 3.2.1 и размещаться в соответствии с моделью SXC1 ICD.STEP (Таблица 2)

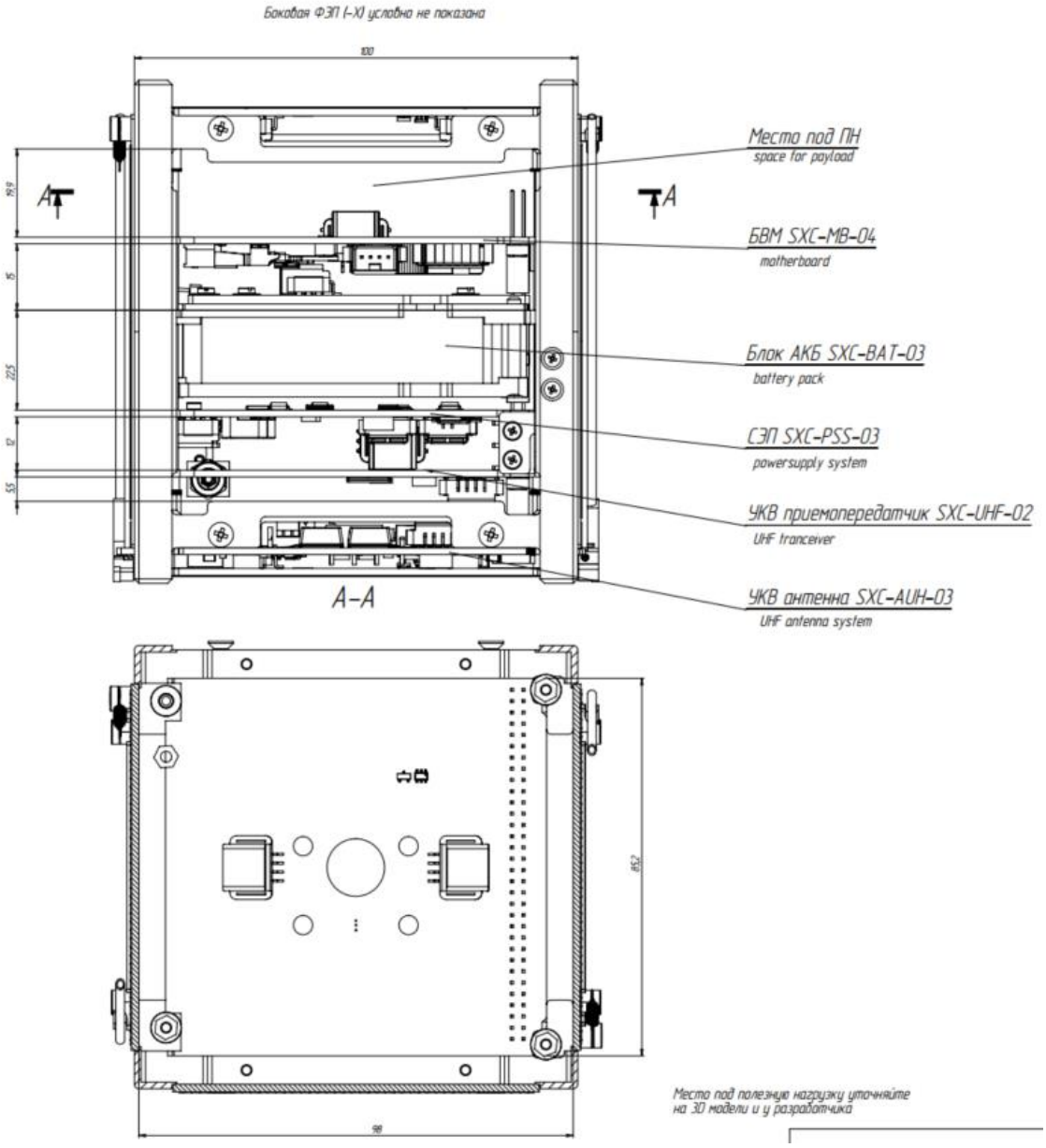


Рисунок 4 Пример размещения ПН в SXC1

Таблица 2 Соответствие документов по SXC1

Номер	Обозначение	Файл 3D модели Доступного объема ПН	Файл 3D модели КА со свободным местом для ПН
1	SXC1	SXC1 PL ICD.STEP	SXC1 ICD.STEP

3.3 Электрический интерфейс

Электрическое подключение ПН, как правило, выполняется установкой ее электронной платы или платы-переходника в бортовую шину PC104 вместе с платами служебных систем. Цоколевка выводов разъема PC104 приведена в Таблица 3**Ошибка! Источник ссылки не найден.**. В этом случае необходимо обеспечить подключение питания и шины данных.

Подключение питания осуществляется через канал питания PCH4 на разъеме PC104 (A9, B9), рекомендуется задействовать оба контакта PCH4 для повышения надежности соединения. Общий провод подключается, как минимум через контакты PC104 GND - B10, A10, либо через все контакты GND разъема PC104. Включение питания ПН при таком подключении будет осуществляться включением 4-го канала питания СЭП.

Подключение шины данных может отличаться для разных типов ПН:

1. ПН использует Raspberry в качестве процессора данных. В этом случае устройство может подключаться как через общую CAN шину, так и через прямые соединения с Raspberry, выведенные на разъем PC104 (I2C, SPI, UART, GPIO – см. цоколевку PC104). После подключения и конфигурирования ОС Raspbian работа с устройствами выполняется штатными средствами ОС.

2. ПН использует собственный процессор. В этом случае ПН достаточно иметь подключение только к бортовой шине CAN, однако, устройство должно быть совместимым с протоколом обмена UniCAN. Наиболее простой реализацией протокола является использование исходного кода базового ПО для типовой ПН предоставляется при использовании отладочного изделия SXC-MBB-03.

Особыми случаями являются подключение камеры и USB-устройств. Такие ПН могут работать только с использованием Raspberry в качестве процессора данных.

Для подключения камеры используется специальный разъем X6 «CAMERA» на плате БВМ SXC-MB-04, который поддерживает подключения Raspberry-совместимых камер, например, Raspberry NoIR v2. Цоколевка выводов разъема X6 приведена в Таблица 5. ПО Raspberry уже настроено для работы с такой камерой и могут использоваться штатные средства работы с ними, такие как raspstill и raspicam. Питание камеры подается через разъем X6 на БВМ.

Для подключения устройств USB используется специальный разъем X302 «USB» на БВМ SXC-MB-04, который поддерживает подключение устройств USB 1.1 и USB 2.0, включая High-Speed подключение (до 480 Мбит/с). Цоколевка выводов разъема X302 приведена в Таблица 4. Через разъем X302 устройство подключается к Raspberry, где пользователь может работать с ним штатными средствами ОС. Питание USB-устройство может получать через разъем X302 (ограничение 100мА), либо через шину PC104 по каналу питания PCH4.

Совмещение нескольких ПН на одном КА возможно, при условии, что они не мешают работе друг друга и служебных систем.

3.3.1 Электрические параметры

Максимальная входная емкость ПН на канал питания СЭП - не более 30 мкФ;

Сопряжение сигнала «Земли» с корпусом КА (монтажными отверстиями платы ПН) - через параллельное соединение резистор 10 МОм и, конденсатор 3300 пФ 2000В. Сигнал «Земли» ПН соединен с контактами GND разъема PC/104 напрямую.

3.3.2 Разъемы подключения ПН

Для подключения ПН могут использоваться разъемы, показанные на Рисунок 5



Рисунок 5 Расположение разъемов подключения ПН на SXC3

1 – Бортовая шина PC104 на платах служебных систем, разъем типа Samtec ESQ-132-38-G-D, используется при установке плат в основной стек электроники, обеспечивает доступ к интерфейсам Raspberry и шине CAN. Цоколевка разъема приведена в Таблица 3

2 – Разъем X302 “USB” на SXC-MB-03 - интерфейс USB модуля Raspberry, разъем типа 62000411622 (Wurth Electronics), используется для подключения стандартных устройств USB, питание ограничено 100 мА. Цоколевка разъема приведена в Таблица 4.

3 – Разъем X6 “CAMERA” на SXC-MB-03 - интерфейс камеры Raspberry, разъем типа SFW15R-1STE1LF (Amphenol) под плоский шлейф, используется для подключения совместимых камер, например, Raspberry Pi NoIR Camera Board, Version 2. Цоколевка разъема приведена в Таблица 5.

Таблица 3 Цоколевка разъема PC104

Описание	Сигнал	Контакт		Сигнал	Описание
Резерв, не подключать	**(NC)**	**B1**	**A1**	**(NC)**	**Резерв, не подключать**
Положительная клемма АКБ	VBAT+	B2	A2	VBAT+	Положительная клемма АКБ
Отрицательная клемма АКБ	VBAT-	B3	A3	VBAT-	Отрицательная клемма АКБ
Канал 1 коммутатора питания	PCH1	B4	A4	PCH1	Канал 1 коммутатора питания
Общий провод	GND	B5	A5	GND	Общий провод
Канал 2 коммутатора питания	PCH2	B6	A6	PCH2	Канал 2 коммутатора питания
Общий провод	GND	B7	A7	GND	Общий провод
Канал 3 коммутатора питания	PCH3	B8	A8	PCH3	Канал 3 коммутатора питания
Канал 4 коммутатора питания	**PCH4**	**B9**	**A9**	**PCH4**	**Канал 4 коммутатора питания**
Общий провод	**GND**	**B10**	**A10**	**GND**	**Общий провод**
Внешнее питание для зарядки аккумулятора	VCHG	B11	A11	PEN2	Внешний выход управления 2 коммутатора питания
Внешний выход управления 3 коммутатора питания	PEN3	B12	A12	PEN1	Внешний выход управления 1 коммутатора питания
Бортовая сеть CAN1 – истинный сигнал	**CAN1-H**	**B13**	**A13**	**CAN1-L**	**Бортовая сеть CAN1 – инверсный сигнал**
Минус э/м катушки по оси X	COIL_X-	B14	A14	COIL_X+	Плюс э/м катушки по оси X
Минус э/м катушки по оси Y	COIL_Y-	B15	A15	COIL_Y+	Плюс э/м катушки по оси Y
Минус э/м катушки по оси Z	COIL_Z-	B16	A16	COIL_Z+	Плюс э/м катушки по оси Z
Питание нагревателей АКБ	VHEATER	B17	A17	INDICATION	Сигнал индикации работы СЭП
Интерфейс модуля АКБ	PWR-TX	B18	A18	PWR-RX	Интерфейс модуля АКБ
Выделенное питание цифровой части модуля АКБ	3V3_SENS	B19	A19	3V3_GND	Выделенное питание цифровой части модуля АКБ
Сигнал данных отладочного интерфейса модуля СЭП	SWDIO-PWR	B20	A20	SWDCK-PWR	Тактовый сигнал отладочного интерфейса модуля СЭП
Сигнал данных отладочного интерфейса модуля УКВ	SWDIO-UHF	B21	A21	SWDCK-UHF	Тактовый сигнал отладочного интерфейса модуля УКВ
Сигнал данных отладочного интерфейса модуля ПН	**SWDIO-PL**	**B22**	**A22**	**SWDCK-PL**	**Тактовый сигнал отладочного интерфейса модуля ПН**
Сигнал данных отладочного интерфейса модуля УДМ	SWDIO-WH	B23	A23	SWDCK-WH	Тактовый сигнал отладочного интерфейса модуля УДМ
Дублирующая сеть CAN2+	**CAN2-H**	**B24**	**A24**	**CAN2-L**	**Дублирующая сеть CAN2-**
Резерв, не подключать	(NC)	B25	A25	(NC)	Резерв, не подключать
Интерфейс БВМ с ПН – UART0	**CPU-TX0**	**B26**	**A26**	**CPU-RX0**	**Интерфейс БВМ с ПН – UART0**
Интерфейс БВМ с ПН – UART1	**CPU-TX1**	**B27**	**A27**	**CPU-RX1**	**Интерфейс БВМ с ПН – UART1**
Резерв, не подключать	Reserved	B28	A28	Reserved	Резерв, не подключать
Интерфейс БВМ с ПН – USB (питание 5В)	**CPU-MOSI**	**B29**	**A29**	**Reserved**	**Резерв, не подключать**
Интерфейс БВМ с ПН – SPI	**CPU-MISO**	**B30**	**A30**	**CPU-SCLK**	**Интерфейс БВМ с ПН – SPI**
Интерфейс БВМ с ПН – SPI	**CPU-NSS1**	**B31**	**A31**	**CPU-NSS0**	**Интерфейс БВМ с ПН – SPI**
Интерфейс БВМ с ПН – I2C	**CPU-SDA**	**B32**	**A32**	**CPU-SCK**	**Интерфейс БВМ с ПН – I2C**

Красным цветом в таблице выделены сигналы, обязательные для подключения в ПН, в частности:

- PCH4 – канал питания, выделенный для полезных нагрузок, включением управляет СЭП, подается напряжение положительной клеммы батареи;
- GND – общий провод;
- CAN1-H, CAN1-L – подключение устройства к общей бортовой шине.

Синим цветом в таблице перечислены сигналы, доступные для работы с ПН, при необходимости:

- SWDIO-PL, SWDIO-CLK – подключение двухпроводного интерфейса для отладки и программирования, выведенного на сервисный разъем собранного КА (по умолчанию SWD, но доступен любой 3.3В интерфейс);
- CAN2-H, CAN2-L – подключение устройства к дублирующей общей бортовой шине (не используется).
- CPU-xxx – сигналы от слота Raspberry CM3, расположенного на плате SXC-MB-04.

Остальные сигналы используются служебными системами КА и подключение их к платам полезной нагрузки должно быть согласовано с производителем.

Таблица 4 Цоколёвка разъёма X302 «USB»

Номер контакта	Сигнал	Описание
1	CM_VBUS	Шина питания USB (не более 100 мА)
2	CM_D_N	Дифференциальная линия данных
3	CM_D_P	Дифференциальная линия данных
4	GND	Общий провод

Таблица 5 Цоколёвка разъёма X6 «CAMERA»

Номер контакта	Сигнал	Описание
1	GND	Общий провод
2	CAM1_D0_N	Дифференциальная линия данных 0
3	CAM1_D0_P	Дифференциальная линия данных 0
4	GND	Общий провод
5	CAM1_D1_N	Дифференциальная линия данных 1
6	CAM1_D1_P	Дифференциальная линия данных 1
7	GND	Общий провод
8	CAM1_CK_N	Дифференциальная линия CLK
9	CAM1_CK_P	Дифференциальная линия CLK
10	GND	Общий провод
11	CAM1_IO0	Управляющие сигналы камерой (1)
12	CAM1_IO1	Управляющие сигналы камерой (2)
13	CV_I2C0_SCL	Управляющий интерфейс камерой
14	CV_I2C0_SDA	Управляющий интерфейс камерой
15	3V3	Канал питания 3V3 RPI

ВАЖНО! Бортовая аппаратура должна быть гальванически отвязано от корпуса сопротивлением не менее 1 МОм

При разработке бортовой аппаратуры рекомендуется использование комплекта разработчика SXC-DK-02. Также, для ускорения разработки могут быть использованы базовые платы SXC-MBB-03, в поставке к которым доступны следующие материалы:

- схема электрическая принципиальная;
- техническое описание;
- базовый проект ПО с исходным кодом и загрузчиком (опционально);
- руководство программиста.

Базовые платы SXC-MBB-03 полностью механически, аппаратно- и программно- совместимы с другими системами платформы «Орбикрафт-Про» и представляют собой реализацию правил хорошего проектирования и программирования, предоставляемую для модификации в конечные приборы.

Доступно также проведение обучения по интеграции приборов в платформу «Орбикрафт-Про» от производителя.

3.4 Информационный интерфейс

Бортовая аппаратура для информационного обмена использует интерфейс CAN-2B и протокол UNICAN.

Для разработки собственного ПО может быть задействована как собственная аппаратура, выполненная в соответствии с 3.3 и 3.4, так и модуль Raspberry CM3, устанавливаемый в плату БВМ SXC-MB-04.

Для управления системами платформы «Орбикрафт-Про», подключенными в бортовую шину UNICAN, рекомендуется использовать ПО Sputnix Houston Control Center. Данное ПО поддерживает работу с непосредственным подключением к бортовой шине и работу через радиоканал в составе ЦУП.

Для ускорения и упрощения разработки в поставку базовой платы SXC-MBB-03 входит исходный код программы-примера для встроенного на плату микроконтроллера с библиотекой unican, позволяющей вести обмен по данному протоколу. Также в поставку входит настраиваемый файл описания протокола для Houston Control Center.

3.4.1 Адресация в протоколе UNICAN

Протокол UNICAN требует присвоения индивидуальных адресов каждому устройству. Каждый пакет содержит в себе адрес источника сообщения и адрес приёмника, которые переносятся в поле идентификатора CAN-кадра. Размещение адресов в битах стандартного и расширенного идентификаторов показано в Таблица 6 и Таблица 7 соответственно. Назначение бита «данные» (Д.) объяснено ниже.

Таблица 6 Размещение адресов в стандартном поле идентификатора CAN-кадра

Биты поля идентификатора										
10	*9*	*8*	*7*	*6*	*5*	*4*	*3*	*2*	*1*	*0*
Д	**Адрес отправителя**					**Адрес получателя**				

Таблица 7 Размещение адресов в расширенном поле идентификатора CAN-кадра

Биты поля идентификатора																													
28	*27*	*26*	*25*	*24*	*23*	*22*	*21*	*20*	*19*	*18*	*17*	*16*	*15*	*14*	*13*	*12*	*11*	*10*	*9*	*8*	*7*	*6*	*5*	*4*	*3*	*2*	*1*	*0*
Д	**Адрес отправителя**														**Адрес получателя**													

3.4.2 Идентификатор сообщения в протоколе Unican

Все сообщения, передаваемые в формате UNICAN, содержат в себе поле идентификатора сообщения (MSG_ID) (не путать с идентификатором CAN-кадра). Оно предназначено для определения, какие именно данные переносит пакет и, соответственно, каким образом они должны быть интерпретированы. В некотором смысле это поле напоминает по применению номер порта назначения в протоколе TCP. Идентификатор сообщения представляет собой 16-битное число в формате little-endian. Идентификаторы сообщений в диапазоне FF00…FFFF зарезервированы как служебные и не должны использоваться для передачи пользовательских данных.

3.4.3 Формат сообщения в протоколе Unican

Протокол поддерживает передачу сообщений трёх форматов – коротких сообщений, длинных сообщений и сообщений об ошибках.

Короткие сообщения позволят передавать данные длиной не более 6 байт. Они передаются одним CAN-кадром. Длина данных определяется длиной кадра, переносимой в поле DLC CAN-кадра, за вычетом двух байт для передачи идентификатора сообщения. Поле «данные» коротких сообщений всегда равно нулю. Контроль правильности передачи обеспечивается контрольной суммой CAN-протокола. Структура поля данных CAN-кадра показана в Таблица 8.

Таблица 8 Поле данных CAN-кадра при передаче короткого UNICAN-сообщения

Байты поля данных CAN-кадра							
0	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Идентификатор сообщения (MSG_ID)		**Data 0**	**Data 1**	**Data 2**	**Data 3**	**Data 4**	**Data 5**

Сообщения, у которых поле «данные» равно нулю и поле DLC которых меньше двух, являются некорректными и должны быть отброшены.

Длинные сообщения состоят из нескольких CAN-кадров. Общая структура передачи на примере 26-битного сообщения показана в Таблица 9**Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Детально кадр со стартовой командой показан в Таблица 10**Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Таблица 9 Формат передачи длинных сообщений

Команда старта			Данные 0..7	Данные 8..15	Данные 16..23	Данные 24..26+CRC
FFFE	MSG_ID	Len				CRC

Таблица 10 Формат команды старта длинного сообщения

Байты поля данных CAN-кадра					
0	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
Идентификатор старта 0xFFFE		**Идентификатор сообщения (MSG_ID)**		**Длина пакета (Length)**	

Все последующие кадры, приходящие с того же устройства с битом данных установленным в «1», вплоть до получения количества байт данных, равного длине пакета Length (включая контрольную сумму, но не включая саму команду старта), считаются данными этого сообщения. В последних двух байтах длинного сообщения записывается контрольная сумма (CRC16 X-modem). Контрольная сумма вычисляется для данных посылки, не включая команду начала передачи. Все сообщения с пометкой «Данные», которым не предшествовало корректное сообщение о начале передачи, игнорируются.

3.4.4 Рекомендуемый состав телеметрии

Телеметрию ПН рекомендуется разбивать на следующие виды:

- квитанции;
- регулярная;
- расширенная;
- служебная.

Квитанции отправляются в ответ на команду, если она не подразумевает выдачу ответного пакета. Это позволяет оператору быть уверенным, что

команда прошла, т.к. он всегда получит какой-то ответ: запрашиваемые данные или квитанцию. Положительная квитанция (код MessageId = 0x118) выдается в случае корректного приема команды. Отрицательная (MessageId = 0x119) – в случае, когда команда или ее параметры некорректные. Команды, код MessageId которых не обрабатывается системой допускается игнорировать без квитанции.

Регулярная телеметрия имеет небольшой размер (до 60 байт) и может выдаваться автоматически с заданным периодом или по запросу. Такая телеметрия содержит данные, необходимые для оценки общего состояния системы – температура, параметры питания, количество накопленных данных, время работы и т.п. Рекомендуемый период такой телеметрии – 1-2 секунды, по умолчанию – включена.

Расширенная телеметрия имеет больший объем (до 200-300 байт) и также может выдаваться автоматически или по запросу. В ней содержатся данные, необходимые для более детального анализа состояния устройства, но которая используется реже: данные всех датчиков, текущая конфигурация и т.п. Рекомендуемый период такой телеметрии – 10-30 сек, по умолчанию – отключена.

Служебная телеметрия выдается только по запросу и содержит технологические данные для разработчика ПН.

Рекомендуется выдавать короткий одиночный пакет сразу при включении с результатов самодиагностики системы.

3.4.5 Адрес телеметрии и максимальный размер пакета

В бортовой шине SXC адрес отравителя указывает, какое устройство на шине будет обрабатывать пакет, возможны следующие случаи:

- отправка на адрес 0x1 – инициирует передачу данного пакета на Землю по УКВ-каналу.
- отправка на адрес 0x2 – инициирует прием пакета самим УКВ-приемопередатчиков, это может использоваться для накопления

данных для радиомаяка, периодически отправляемого УКВ-приемопередатчиком в эфир.

- другие адреса – обработка соответствующим бортовым устройством.

Максимальный размер пакета для отправки на Землю через УКВ:

- при использовании протокола AX.25 – не более 204 байт;
- при использовании протокола USP – не более 184 байт.

ВАЖНО! Не допускайте массовой неконтролируемой передачи данных на адрес 0x1. Это может привести к невозможности приема команд с Земли для всего борта.

3.4.6 Использование загрузчика

Компания Спутникс предоставляет CAN-загрузчик для микроконтроллера в составе базовой платы SXC-MBB-03. Настоятельно рекомендуется использовать его или разработать собственный, который позволяет производить перепрошивку устройства на орбите. Данный подход спасал не одну ПН.

3.4.7 Использование терминала telnet и передача файлов

Протокол UniCAN и УКВ-приемопередатчик обеспечивают работу telnet-консоли и передачу файлов в случае, если эти функции поддерживаются ПН. Для их корректной имплементации требуется проконсультироваться с компаний Спутникс.

3.4.8 Рекомендации по функционалу работы с CAN

Для случаем, когда ПН непосредственно подключается к бортовой шине CAN настоятельно рекомендуется реализовать и проверить следующую функциональность ПО ПН:

- UniCAN-адреса устройства и назначения телеметрии должны быть перенастраиваемыми;

- должна поддерживаться работа с короткими и extended идентификаторами CAN2.0;
- должна быть обеспечена устойчивая работа устройства на загруженной CAN шине, как правило, для этого требуется настройка аппаратных фильтров CAN-контроллера;
- устройство не должно допускать выдачу неконтролируемого объема данных в шину, особенно на адрес 0x1 (Земля);
- все команды на устройство должны допускать многократное повторение без деструктивного воздействия на ПН;
- на все команды устройство должно возвращать какой-либо ответ - квитанцию или ответную телеметрию.

3.5 Электромагнитная совместимость

ПН не должна иметь излучателей, создающих электромагнитные помехи работе других систем.

В случае излучения ПН в полосе приема бортового приемопередатчика (400-403 МГц и 430-440 МГц), уровень мощности на входе бортового приемника не должен превышать 30 dBm.

Рекомендуется использовать SMT электромагнитные фильтры на линии питания для разъемов внешних кабельных подключений, а также на фильтры на входном питании ПН разъема PC104.

Рекомендуется использовать EMI фильтры на CAN - DLW21SN921SK2 или аналог.

4 ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЛАТФОРМЫ SXC

4.1 Предельно допустимые значения

При разработке ПН можно ориентироваться на возможности платформы SXC, указанные в Таблица 11**Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Необходимо учитывать, что эти данные – пессимистичный прогноз, однако, более точные значения можно получить только зная параметры целевого КА.

Таблица 11 Технические возможности платформы SXC

Параметр	**Мин.**	**Тип.**	**Макс.**	**Примечание**
Напряжение питания РСН3, РСН4, В	5,5		8,5	
Пиковый потребляемый ток на канал, А			1,5	
Средневитковая потребляемая мощность для ПН*, мВт для витка в 90 мин с освещенной частью 45 мин, при GaAs солнечных панелях, солнечной ориентации				
SXC1			700	
SXC3			4000	
SXC3-ADC			2500	
SXC3-ADC-X			2000	
Объём суточных данных по УКВ каналу для ПН*, МБ				
Орбита МКС, для одной наземной станции с суммарной продолжительностью связи 6 мин AX.25 на скорости 4800		1		
Орбита МКС, для одной наземной станции с суммарной продолжительностью связи 8 мин USP на скорости 9600		4		
Цифровые интерфейсы	CAN2B/UART/SPI (2xCS)/I2C/USB 2.0			USB 2.0 со специальным кабелем

* - данные для справки и требуют уточнения для конкретного КА

При разработке конкретных аппаратов на базе платформы, значения из Таблица 11**Ошибка! Источник ссылки не найден.** могут быть корректированы в большую сторону.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЖИМЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПН

Полетная ось КА определяется установкой пускового контейнера в состав разгонного блока, в связи с чем, заранее, в 100% случаев, определить ее направление нет возможности. Учитывая это необходимо проводить механические испытания по всем осям как для наихудшего случая (т.е. выбирать наиболее жесткий режим испытаний для каждой из осей).

Величины эксплуатационных нагрузок определяются как величины квалификационных нагрузок, разделенные на коэффициент безопасности, соответствующий конкретному случаю нагружения (**Таблица А4**).

Модальные испытания

Модальные испытания проводить в диапазоне частот от 4 до 2000 Гц с амплитудой 0,2 g. Скорость изменения частоты не более 1 окт/мин.

Квазистатические ускорения

Ниже приведены предварительные (консервативные) уровни квалификационных квазистатических нагрузок, которые необходимо принимать во внимание при анализе прочности и квалификации ПН.

Квалификационные значения линейных квазистатических ускорений принимать равными 10g в направлении полетной оси и равными 5….9g в каждом из поперечных направлений при времени воздействия 10 мин по каждой из осей.

Примечание: Допускается проведение квазистатических испытаний гармонической вибрацией на частоте равной 0,25…0,3·F1, где F1 – первая собственная частота.

Нагружение на вибростенде можно проводить либо обыкновенным синусом с постоянной амплитудой на выбранной из указанного диапазона частоте, либо набором "Sine Burst". При этом, необходимо сначала по каждой из осей провести испытания на эксплуатационных уровнях с временами:

- 180 с. по полетной оси (ТПОЛ = 180 с);
- 30 с по каждой из боковых осей (ТБОК = 30с).

Для демонстрации запаса прочности необходимо провести испытание на квалификационных уровнях нагружения в течение 2-3 сек по каждой из осей.

Вибрационные воздействия

Квалификационные режимы в каждом из 3-х взаимно-перпендикулярных направлений в местах крепления ПН приведены:

- для гармонической вибрации в диапазоне частот до 20 Гц в Таблице 1 (изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное);

- для случайной вибрации в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц в Таблице 2 (изменение значений спектральной плотности от частоты в пределах каждого поддиапазона частот – линейное при логарифмическом масштабе частоты и спектральной плотности).

Таблица А1 - Квалификационные уровни синусоидальной вибрации

События полета (этап эксплуатации)	Время действия, с	Диапазоны частот, Гц		
		2 – 5	5 - 10	10 - 20
		Амплитуда виброускорения, g (g = 9,81 м/с^2)		
Работа ступеней РН	600	0,5	0,5-1,0	1,0

Примечание:

1. Если по результатам модальных испытаний собственные частоты ПН выше 40 Гц и проведена квалификация на квазистатические нагрузки, то испытания гармонической вибрацией в диапазоне частот до 20 Гц допускается не проводить.

Таблица А2 - Квалификационные уровни случайной вибрации

Этап эксплуатации	Время воздействия режима, с	Поддиапазоны частот Гц						Средн екв. ускор ение, g /
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000 - 2000	
		Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц						
Работа ступеней РН	120	0.02	0.02	0.02-0.05	0.05	0.05-0.025	0.025 - 0.013	7.42
	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004 - 0,002	3.58

Ударные воздействия

По согласованию с оператором запуска данные испытания допускается не проводить.

Квалификационные уровни ударного спектра по всем осям приведены в таблице 3.

Ударный спектр соответствует добротности Q = 10. Количество воздействий - 5.

Таблица А3: Квалификационные уровни ударного спектра при срабатывании систем разделения РН

Частота, Гц	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
Ускорение ударного спектра A_s, g	30-60	60-255	255-750	750

Таблица А4: Коэффициенты безопасности

Вид нагружения	Коэфициент
Квазистатические ускорения	1,3
Амплитуда вибрационных ускорений	1,5
Спектральная плотность виброускорений	2,0
Время действия нагрузок, с	2,0
Ударный спектр от систем разделения	1,5