

КОСМИЧЕСКАЯ МИССИЯ RESHUCUBE2: ОТРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В.Х. Ханов, Н.Д. Кустов, А.В. Шахматов

СибГУ им. М.Ф. Решетнева

khvkh@mail.ru

В июне 2023 г. состоится запуск наноспутника СибГУ им. М.Ф. Решетнева, получившего название ReshUCube2. ReshUCube2 предназначен для отработки технических решений для создания интегрированной сети передачи данных. Планируется, что экспериментальная интегрированная сеть, состоящая из 4 наноспутников на низкой круговой орбите будет создана в 2024г., а миссия ReshUCube2 заключается в том, чтобы проверить технические решения для будущей экспериментальной сети (рис. 1).

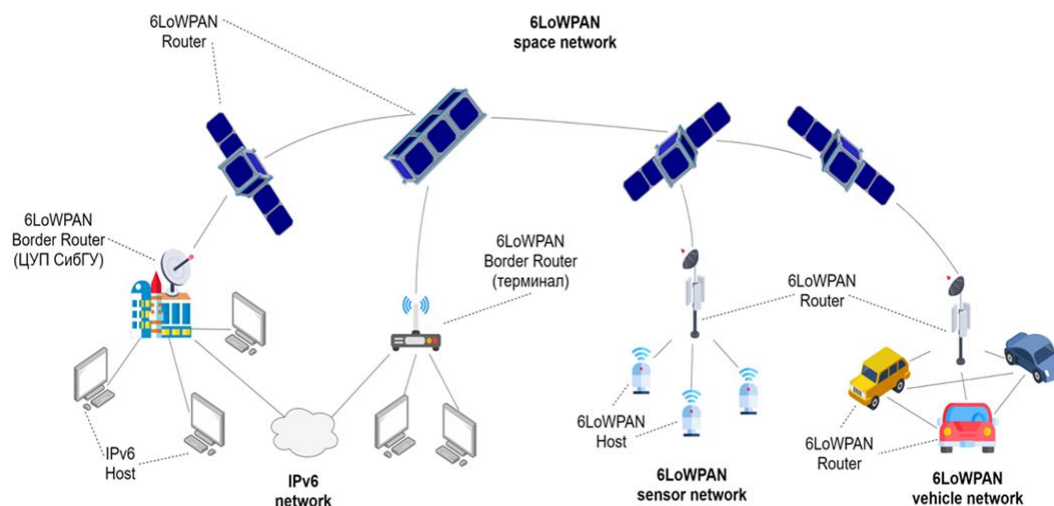


Рисунок 1 – Экспериментальная интегрированная сеть

Под интегрированной сетью в данном случае понимается сеть, состоящая из сети наноспутников, соединений наноспутники – наземные терминалы, сети наземных терминалов через наземный Интернет, соединений наземные терминалы – датчики Интернета вещей. Таким образом мы видим объединение нескольких сегментов в единую сеть, отсюда и название – интегрированная сеть передачи данных.

Базовыми задачами интегрированной сети являются: - передача данных, формируемых наземными терминалами (НТ), между НТ через спутниковый сегмент по наилучшему маршруту; - передача данных от датчиков Интернета вещей между НТ через спутниковый сегмент; - передача данных формируемых на борту наноспутников (данных бортовых датчиков) и передача на НТ, и далее через Интернет до конечного абонента; - управление спутниками через интегрированную сеть: передача команд, получение служебной телеметрии.

Сеть будет построена в соответствии со следующей иерархией уровней: физический уровень – технология LoRa 435 МГц (дальность межспутниковых коммуникаций не менее 800 км, скорость 5-10 кбит/с); канальный уровень – IEEE 802.15.4; сетевой уровень – 6LoWPAN и IPv6. Таким образом, связи наноспутников будут через IPv6-адреса, каждый наноспутник и наземный

терминал являются маршрутизаторами сети, протокол динамической маршрутизации обеспечивает наилучший маршрут передачи данных между абонентами сети. Использование сетевых адресов позволяет подключаться к наноспутникам с рабочих мест пользователей через сеть Интернет.

Полный стек протоколов ReshUCube netstack сочетающий с базовые LoRaWAN netstack и 6LoWPAN netstack показан на рис. 2.

	LoRaWAN netstack	6LoWPAN netstack	ReshUCube netstack
Application layer	Application protocols	CoAP Application protocols	CoAP Application protocols
Transport layer	-	TCP UDP	TCP UDP
Network layer	-	IPv6 6LoWPAN	IPv6 RPL 6LoWPAN
Data link layer	LoRa MAC	802.15.4 MAC	802.15.4 MAC PHY-MAC driver
Physical layer	LoRa PHY	802.15.4 PHY	LoRa PHY

Рисунок 2 – Общий вид сетевого стека

Реализованное в ReshUCube netstack сочетание технологий не является стандартным, однако оно позволяет обеспечить ряд технических и функциональных преимуществ. Применение технологии LoRa обеспечивает энергоэффективность, возможность передачи на большое расстояние, помехоустойчивость и устойчивость к эффекту Доплера. Применение протоколов стека 6LoWPAN обеспечивает функции автоконфигурации сетевых адресов (так как отсутствует централизованное управление, такое как Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)); сжатия сетевых заголовков (для более эффективного использования пропускной способности); динамической маршрутизации (так как узлы в сети могут быть мобильными). Помимо этого, данный стек является универсальным: в наземном сегменте может использоваться стандартный стек TCP/IP, и на границе с космическим сегментом или сегментом IoT-сети необходимы минимальные преобразования, не затрагивающие верхние уровни стека.

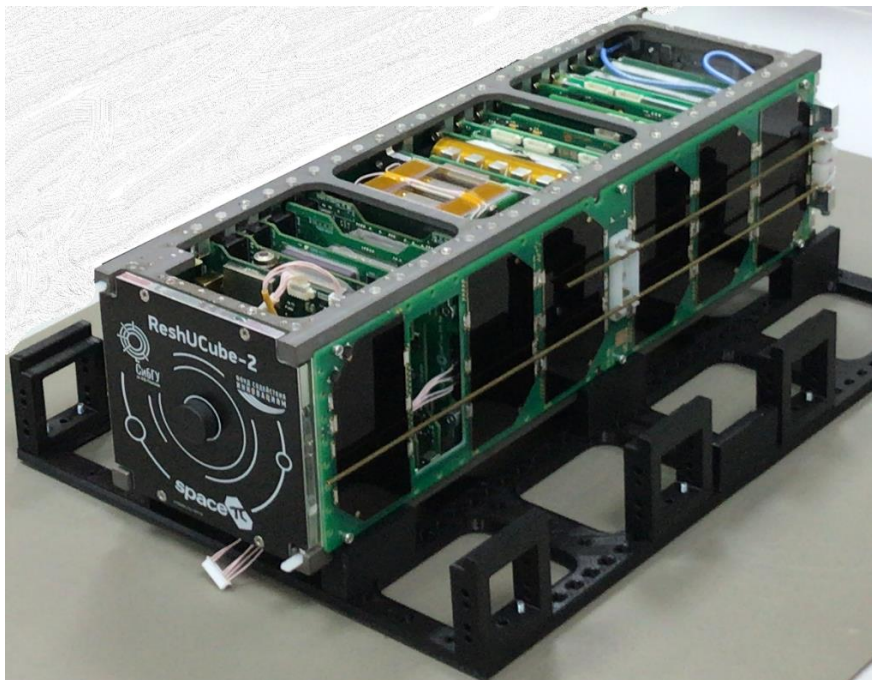


Рисунок 3 – Наноспутник ReshUCube-2 на этапе сборки

На рис. 3 представлен наноспутник ReshUCube-2. Полезная нагрузка наноспутника состоит из блока раскрывающихся антенн и радиомодуля. Блок антенн закрыт крышкой с логотипом ReshUCube-2. Радиомодуль установлен сразу за блоком антенн. В радиомодуль входит микроконтроллер STM32L432KC и два приемопередатчика SX1278: первый – для работы непосредственно с модуляцией LoRa и усилителем до 32 дБм на частоте около 433 МГц; второй – для приема сообщений автоматической идентификационной системы с GMSK-модуляцией на частоте 161-162 МГц. Дополнительно полезная нагрузка включает обзорную камеру.

После запуска наноспутника ReshUCube2 будет выполнена программа намеченных экспериментальных исследований, имеющих целью подтверждение правильности принятых технических решений и на их основе возможность создания экспериментальной интегрированной сети из 4 наноспутников.