

# Новая серия модулей ublox SARA-N2

## для сетей NB-IoT

Статья посвящена наиболее перспективной технологии мобильной связи лицензируемого диапазона NB-IoT, предназначенной для использования в приложениях IoT, которая была стандартизована в июле 2016 г. в документе 3GPP Rel. 13. Подробно рассматриваются характеристики модулей серии SARA-N2 компании u-blox, предназначенных специально для работы в данном диапазоне.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.  
victor.alexeev@gmail.com

В конце июля 2016 г. на презентации в Тальвиле (Швейцария) фирма u-blox анонсировала первый промышленный модуль SARA-N2, предназначенный для работы в сетях NB-IoT и полностью соответствующий требованиям Rel 13. В конце октября 2017 г. была опубликована техническая документация на серию SARA-N2, и фирма объявила о доступности инженерных образцов модулей этой серии.

### Характеристики модулей SARA-N2

Новая серия модулей ublox SARA-N2, предназначенная для использования в сетях NB-IoT, позволяет передавать небольшие пакеты данных с малыми скоростями. Основной отличительной особенностью этой серии является сверхнизкое энергопотребление. Энергосберегающий режим и другие дополнительные функции дают возможность эксплуатировать SARA-N2 с питанием от батареи 5 Вт·ч в автономном режиме без подзарядки в течение нескольких лет.

Технология Narrow-Band IoT (NB-IoT) регламентирована наряду с технологиями EC-GSM-IoT, LTE-MTC в стандарте 3GPP Rel 13 [1]. Она базируется на так называемом методе «узкополосной радиосвязи» — narrowband, в котором полоса шириной 180 кГц используется для передачи эпизодических коротких сообщений как от базовой станции (БС) к мобильному устройству, так и в обратном направлении.

Другое название этой технологии, встречающееся в англоязычной литературе, — LTE Cat. NB1 — указывает на то, что сети NB-IoT могут с небольшими затратами быть реализованы на базе существующих сетей LTE Rel. 8–11 без ущерба обслуживания пользователей планшетов, гаджетов и смартфонов, работающих в этот момент в режимах 3G/4G. В технологии NB-IoT используются основные базовые характеристики классического LTE Rel. 8, такие, например, как методы доступа к среде OFDMA («вниз») и SC-FDMA («вверх»), канальное кодирование, согласование скорости передачи, пихтовое перемежение и др.

При передаче данных от мобильного устройства (UE) к базовой станции в тех-

нологии NB-IoT поддерживаются режимы MTT или STT. Режим MTT, основанный на методе Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SCFDMA), использует те же, что и в классическом варианте LTE, параметры поднесущих. В немодулированном варианте режима STT в технологии NB-IoT применяются две частоты поднесущих. Мобильное устройство NB-IoT поддерживает в режиме приема по физическим каналам сигналы NPSS, NSSS, NRS.

Модули SARA-N2 спроектированы специально для приложений, в которых интеллектуальные сенсоры обмениваются небольшими пакетами данных не чаще нескольких раз в сутки, — таких, например, как системы контроля расхода воды, газа, электричества, системы навигационного позиционирования сельскохозяйственных и домашних животных, системы контроля перемещения грузов, загрязнений воздуха, управления уличным освещением, системы радиационного контроля и т. п.

В стандарте 3GPP Rel. 13 рассмотрены три варианта частотных диапазонов для технологии NB-IoT, в зависимости от зоны разрешенных частот стандартных технологий UMTS/LTE (рис. 1):

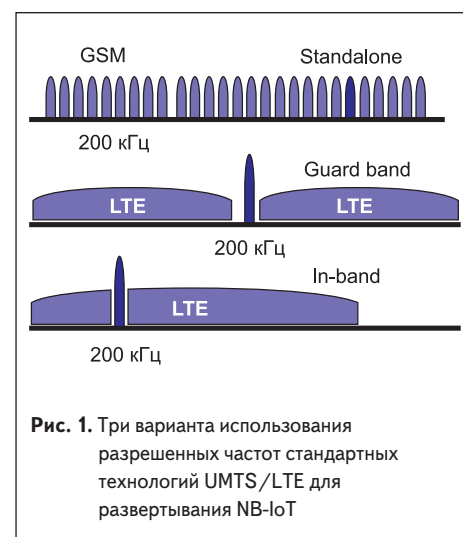


Рис. 1. Три варианта использования разрешенных частот стандартных технологий UMTS/LTE для разветвления NB-IoT

- Stand Alone — использование несущей стандартной технологии GSM для полосы NB-IoT;
- Guard Band — в качестве рабочего диапазона используется защитный интервал стандартного варианта технологии LTE Rel. 8;
- In Band — рабочая полоса частот находится внутри разрешенного спектра стандартного варианта технологии LTE Rel. 8.

Фиолетовым цветом на рис. 1 отмечены узкие полосы NB-IoT в частотных диапазонах GSM и LTE. В технологии NB-IoT необходима минимальная полоса пропускания 180 кГц. Поэтому операторы существующих сетей 2G могут использовать одну несущую (200 кГц) для работы с устройствами NB-IoT в режиме Stand Alone. Наиболее просто этот режим можно реализовать на уже существующих сетях UMTS/LTE в диапазонах 700/800/900 МГц.

В серию SARA-N2 входят пять моделей, предназначенных для работы в различных регионах мира с разными частотными диапазонами:

- SARA-N200 — LTE Band 8, 900 МГц, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион;
- SARA-N201 — LTE Band 5, 850 МГц, Азиатско-Тихоокеанский регион;
- SARA-N210 — Band 20, 800 МГц; Европа;
- SARA-N211 — Band 8, 20, 800/850 МГц; Европа;
- SARA-N280 — Band 28, 700 МГц, Северная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион.

Прием и передача данных реализуются в разных частотных интервалах, приведенных в таблице 1.

Все модели серии удовлетворяют требованиям, предъявляемым к устройствам LTE NB1, регламентированным в стандарте 3GPP Rel. 13. В соответствии с Rel. 13 эти устройства NB1 предназначены для работы в лицензированном спектре частот, обеспечивающем безопасность и высокое качество обслуживания. Эти устройства должны поддерживать режим расширенного покрытия (Coverage Enhancement Modes, CEM) в условиях городской застройки и внутри зданий, а также режим экономии электропитания (Power Saving Mode, PSM), при котором отключен радиочастотный тракт и данные хранятся во flash-памяти.

Модули серии SARA-N2 работают с небольшими скоростями: 62,5 кбит/с (UL) и 27,2 кбит/с (DL). Эти устройства предназначены, в основном, для приложений, в которых время задержки не имеет большого значения. Одной из отличительных особенностей SARA N2 является повышенная устойчивость к внешним электромагнитным помехам, что позволяет использовать их в промышленных приложениях. Модули обеспечивают уверенное покрытие 20 дБ в зоне действия стандартных сетей GSM.

Если существующая сеть поддерживает 2G/3G/4G, то технология NB-IoT позволяет использовать все три полосы, показанные на рис. 1. В этом случае в сетях LTE для устройств IoT предпочтительным является диапазон 800 МГц. Поддержка модулей SARA-N2 внутри действующих сетей сотовой связи может быть реализована за счет выделения одного из ресурсных блоков (PRB) 180 кГц.

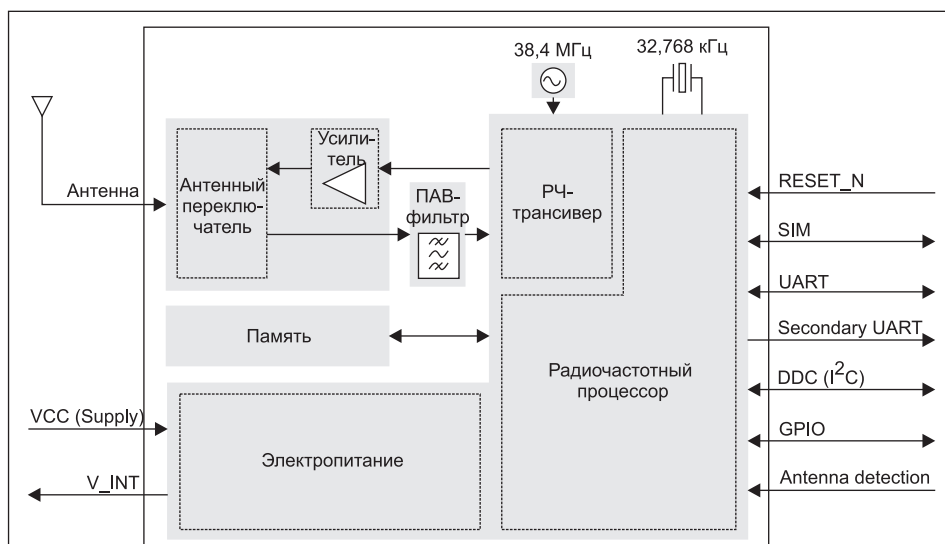


Рис. 2. Структурная схема модулей серии SARA-N2

Структурная схема модулей серии SARA-N2 показана на рис. 2 [2].

В состав модулей серии SARA-N2 входят:

- базовый чип, содержащий Basedband — процессор со встроенным стеком NB-IoT и радиочастотный блок (RF Transceiver);
- антенный переключатель;
- цепь обнаружения антенны;
- ПАВ-фильтр, обеспечивающий гальваническую развязку между усилительным и антенным каскадами;
- усилитель мощности;
- система электропитания.

Чувствительность приемного каскада модулей составляет  $-135$  дБм (DL RF level, BLER MCS-1 < 10%). Максимальная выходная мощность передатчика модулей SARA-N2 соответствует классу Power Class 3 и составляет 23 дБм (UL BPSK/QPSK modulation).

В стандарте 3GPP Rel. 13 технология NB-IoT подразумевает новый радиointерфейс со своими специфическими отличительными чертами и особенностями. Несмотря на это, технология NB-IoT тесно связана с LTE Rel. 8. Поэтому радиointерфейс модулей SARA-N2 оптимизирован для совместного использования с классическим LTE Rel. 8 таким образом, чтобы избежать любых возможных коллизий устройств LTE и NB-IoT внутри рабочей полосы.

Одной из особенностей NB-IoT является поддержка протоколов Non Access Stratum (NAS), разработанных для опорных сетей операторов LTE EPS (LTE Evolved Packet System).

Протоколы NAS используются для передачи контрольного трафика между абонентскими станциями (User Equipment, UE) и опорной сетью оператора (Core Network, CN). Эти протоколы позволяют поддерживать возможности подключения и активные сеансы связи при перемещении абонента относительно БС, управлять вызовами и процессами идентификации.

Передача данных UE с использованием NAS между БС eNodeB и пользовательским оборудованием осуществляется с помощью сигнальных радиопотоков (Signaling Radio Bearers, SRB). При этом используется один и тот же уровень пересылки данных (Data plane), что позволяет уменьшить затраты на сигнальную информацию и тем самым снизить общее энергопотребление UE. Данные пользователя пересылаются через контрольный узел, пропускающий весь сигнальный трафик (Mobility Management Entity, MME), за счет инкапсуляции данных в NAS PDUs. Такой подход снижает общее число контрольных запросов на уровне пересылки, а соответственно, и энергозатраты. Наименьшее энергопотребление реализуется для сокращенных пакетов данных, передаваемых с использованием технологии Non-IP Data Delivery (NIDD).

Модули серии SARA-N2 поддерживают обе схемы передачи данных: Non-IP based Small Data over NAS (SDoNAS) и IP-based SDoNAS.

В текущей версии программного обеспечения поддерживается стек UDP/IP, встроенный в протокол IPv4. Однако в [5] отмечается, что

Таблица 1. Частотные интервалы для приема/передачи данных

Диапазон частот LTE	Направление передачи*	Min, МГц	Max, МГц
Band 5	UL	824	849
	DL	869	894
Band 8	UL	880	915
	DL	925	960
Band 20	UL	832	862
	DL	791	821
Band 28	UL	703	748
	DL	758	803

Примечание: \* UL - от мобильного устройства к базовой станции; DL - от базовой станции к мобильному устройству

Таблица 2. Назначение пользовательских вводов/выводов модулей SARA-N2

Функция	Описание	GPIO	Конфигурируемые GPIO
Индикатор состояния сети	Зарегистрированная домашняя сеть, зарегистрированный роуминг, передача данных, отсутствие обслуживания		GPIO2
Индикатор RING	Индикация входящего сообщения или события URC		GPIO2
Дополнительный UART 2	Вывод диагностических данных текущего состояния модуля	GPIO1	GPIO1
Отключение вывода	Триггерное состояние со средней точкой и резистором Pull Down	GPIO2	GPIO2

Таблица 3. Ток потребления модулей серии SARA-N2 при различных режимах работы

Режим	Диапазон	Состояние	Мощность, Тх, дБм	Ток, мА
Режим глубокого сна	-	Усредненный ток в течение каждых 10 с		0,003
Активный режим	-			6
Прием, Rx-режим	Все			46
Передача, Tx-режим	Все	Усредненный ток за период 2 с	-40	74
Передача, Tx-режим			-7	75
Передача, Tx-режим			3	78
Передача, Tx-режим			13	100
Передача, Tx-режим			23	220
Передача, Tx-режим				

следующие версии ПО будут поддерживать также и IPv6. Кроме того, планируется оснастить модули серии SARA-N2 интерфейсом прямого доступа к навигационным приемникам GNSS ublox.

Напряжение питания модулей может изменяться в достаточно широком диапазоне — 2,5–4,2 В (номинал 3,6 В). Модули SARA-N2 имеют антенный интерфейс с импедансом 50 Ом.

Выход цепи обнаружения антенны (ANT\_DET), подключенный ко входу АЦП, используется для определения наличия подключенной внешней антенны и индикации ее нормальной работы.

SARA-N2 имеют два пользовательских ввода/вывода GPIO1 и GPIO2, питание (1,8 В) на которые подается с внутренней шины V\_INT (1,8 В).

Назначение пользовательских вводов/выводов приведено в таблице 2.

Модули SARA-N2 поддерживают стандартный 1,8-В интерфейс SIM-карты с сигнальными линиями VSIM, SIM\_IO, SIM\_CLK, SIM\_RST. Этот интерфейс позволяет работать с PPS (Protocol and Parameter Selection).

Последовательный пятипроводной интерфейс UART модулей SARA-N2 предназначен для работы с внешним хост-процессором с помощью AT-команд.

Основные характеристики UART SARA-N2:

- низкий уровень — 0 В;
- высокий уровень — 3,6 В;
- поддержка стандартного интерфейса;
- RS-232, RXD — передача данных модулем, TXD — прием данных модулем;
- аппаратный контроль потока, CTS — выход модуля, RTS — вход модуля;
- скорость передачи — 4800, 9600 (по умолчанию), 57600, 115200 бит/с;
- стандартный формат кадра — 8 бит данные, No parity, 1 стоп-бит.

С помощью AT-команды **+URING AT** линия CTS может быть сконфигурирована как индикатор приема сообщений RING или регистратор возникновения события URC [4].

В модулях SARA-N2 имеется дополнительный последовательный интерфейс UART 2, предназначенный для текущего контроля состояния модуля. Этот интерфейс поддерживает логику 1,8 В. Диагностическая информация выводится

через пользовательский ввод/вывод GPIO1. Интерфейс UART 2 может работать только со скоростью 921 600 бит/с при стандартном фиксированном формате кадра 8N1. Контроль потока не реализован.

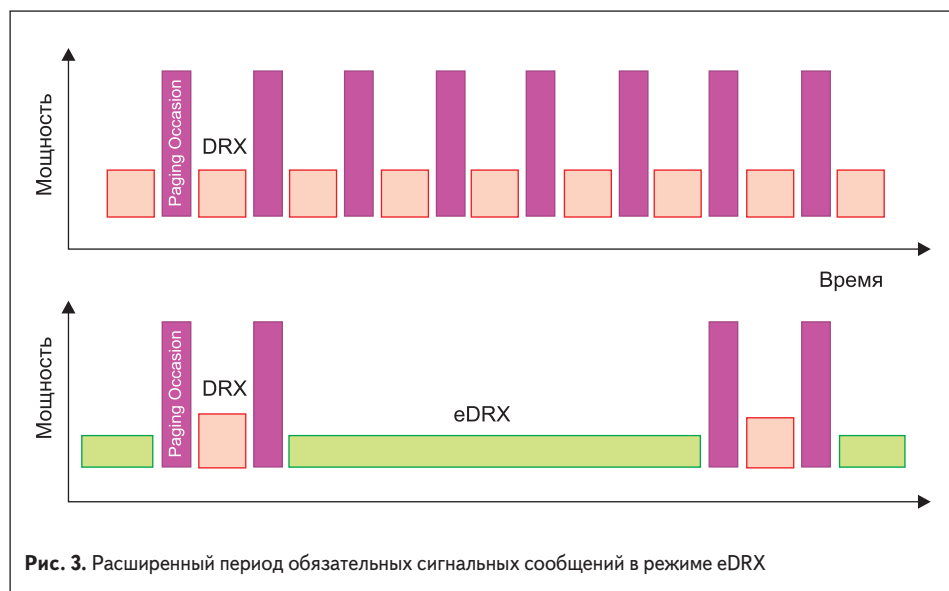
Традиционным для ublox является интерфейс Display Data Channel (DDC), который совместим со стандартным двухпроводным интерфейсом I<sup>2</sup>C. По существу, DDC — это простой последовательный протокол, применяемый в простых низкоскоростных приложениях в качестве альтернативы RS-232. Модули SARA-N2 также оснащены DDC. Использование DDC дает возможность реализовать простой потоковый интерфейс, который позволяет проводить постоянный опрос данных, отбрасывая при этом все, что не поддается анализу. Кроме того, использование DDC экономит полезный объем модуля, энергопотребление, а также снижает общую цену. В SARA-N2 двухпроводной интерфейс DDC (I<sup>2</sup>C), реализованный на линиях SCL (Data Clock) и SDA, используется для связи с внешними сенсорами и контроллерами. Это обеспечивает работу в режиме Master со скоростями вплоть до 100 кбит/с. Питание осуществляется от встроенной шины V\_INT (1,8 В).

В серии SARA-N2 реализованы функции автоматического включения и выключения модулей. Модуль автоматически включается при подаче номинального напряжения на вывод VCC и автоматически выключается, когда напряжение на этом выводе падает ниже 2,5 В. Перезапуск модулей осуществляется удаленно при подаче на вывод RESET\_N низкого уровня напряжения.

SARA-N2 могут работать в двух основных режимах: нормальный режим приема и передачи данных (Active mode) и режим глубокого сна (Deep Sleep Mode). Также в модулях поддерживается режим энергосбережения, описанный в стандарте 3GPP Rel. 13 и получивший название eDRX (Extended Discontinuous Reception). Принцип работы Discontinuous Reception заключается в том, что устройство принимает данные от БС не постоянно, а только в определенные периоды. То есть в определенные моменты времени мобильное устройство отключает приемник и переходит в спящий режим.

В базовом стандарте LTE Rel. 8 период обязательных сигнальных сообщений, в течение которых устройство остается подключенным к сети, не передавая и не получая при этом никакую информацию, составляет несколько секунд. В Rel. 13 используется расширенный интервал eDRX, позволивший увеличить интервалы ожидания обязательных сигнальных сообщений до 52 мин (рис. 3) [3].

В режиме eDRX модули серии SARA-N2 работают под управлением встроенного тактового генератора 32 кГц при чрезвычайно низком потреблении тока. Ток потребления при различных режимах работы приведен в таблице 3. В режиме глубокого сна уменьшается количество служебных данных сигнализации, а также снижается частота запланированных измерений и передач, выполняемых модулем. Это, в свою очередь, приводит к снижению энергопотребления модуля при сохранении постоянного соединения с БС. Модули SARA-



N2 могут сохранять работоспособность при работе с одной батареей в течение 10 лет [2].

Важной особенностью модулей серии SARA-N2, на которую следует обратить внимание, является возможность поддержки множества устройств IoT при использовании только одного ресурсного блока (PRB) в обоих направлениях (DL/UL). Это достигается за счет того, что в технологии NB-IoT введена дополнительная поднесущая NPUSCH для режима UL, позволяющая существенным образом оптимизировать передачу данных в PRB. Поэтому одна БС, теоретически, может поддерживать до 52 500 мобильных устройств NB-IoT.

Модули SARA-N2 выполнены в стандартном конструктиве 16×26 мм LGA в форм-факторе, позволяющем переходить от существующих моделей u-blox стандартов GSM и LTE к устройствам NB-IoT (рис. 4).

Таким образом, конструкции устройств, спроектированных на базе модулей серий u-blox GSM (SARA-G3 series), UMTS (SARA-U2 series), LTE Cat 1 (LARA-R2 series), могут быть приняты в качестве основы для разработки устройств NB-IoT с модулями серии SARA-N2.

Температурный диапазон эксплуатации составляет -40...+85 °С, что позволяет использовать модули серии SARA-N2 в жестких климатических условиях. Немаловажное значение имеет защита выводов модулей от электростатического разряда, соответствующая стандарту JESD22-A114 (1000 B).

### Управление модулями SARA-N2 с помощью AT-команд

Как уже говорилось, модули серии SARA-N2 работают под управлением AT-команд, которые охватывают основные стандартные действия с модулем NB-IoT [4]. Структура и синтаксис команд сохранены общими для всех серий модулей u-blox (TOBY-L2, MPC1-L2, LISA-U110, LISA-

U120, LISA-U130, LISA-U2, LEON-G1, SARA-G3, SARA-N2). Для каждой команды в описании [4] приведена сводная таблица, в которой указаны конкретные модули, поддерживающие данную команду. Следует обратить внимание на то, что не все команды, приведенные в [4], в полной мере поддерживаются модулями серии SARA-N2. В этом случае в описании команды есть специальное примечание.

Все команды распределены по функциональным группам. Команды **Action** выводят на печать запрошенную информацию — заводские запрограммированные параметры, модель, производитель, версия прошивки и т. д. Группа **Set command** предназначена для выбора параметров модуля. Например, команда **AT+NCONFIG** позволяет задать основные параметры модулей серии SARA-N2. С помощью этой команды задаются: режим автоматического подключения к сети (**AUTOCONNECT**), режим использования **PLMN**, **SIM**, **APN**, комбинированное подключение **EPS/IMSI**, поддержка повторного выбора ячейки **RRC**, **BIP** (независимый протокол несущей) и т. д. Команды группы **Read** определяют текущую настройку параметров модуля. Детальное описание возможных вариантов параметров доступно с помощью команд группы **Test**. Для работы с незапрашиваемыми результирующими кодами используется специальная группа команд **Unsolicited Result Code** (URC). Это сообщение не является ответом на AT-команду, а свидетельствует об изменении статуса модуля или возникновении какого-либо внешнего события. В качестве примера URC можно привести сообщения **+NPINGERR** или **+CEREG**. Сообщение о статусе текущего процесса вызывается командами группы **Intermediate Result Code** (IRC). В случае возникновения необходимости автоматической перезагрузки генерируются специальные сообщения группы **Reset reasons**, например



Рис. 4. Внешний вид модуля SARA-N2 для устройств NB-IoT

**REBOOT\_CAUSE\_SECURITY\_WATCHDOG** или **REBOOT\_CAUSE\_SECURITY\_RESET\_UNKNOWN**. Подробное описание AT-команд, поддерживаемых модулями SARA-N2, приведено в [4].

### Отладочные комплекты для SARA-N2

Для разработки и отладки изделий на базе модулей серии SARA-N2 фирма u-blox производит отладочный комплект EVK-N2 SARA-N2 series Cellular Evaluation Kits. Он состоит из трех отдельных плат:

- EVB WL3 — плата электропитания и периферия (SIM card holder, Reset, LED);
- ADP-N2 — плата модуля серии SARA-N2, содержащая модуль NB-IoT, антенный разъем и соединительные разъемы;
- ADP-GNSS — плата навигационного модуля, содержащая GNSS-приемник u-blox, разъем USB, антенный разъем и соединительные разъемы.

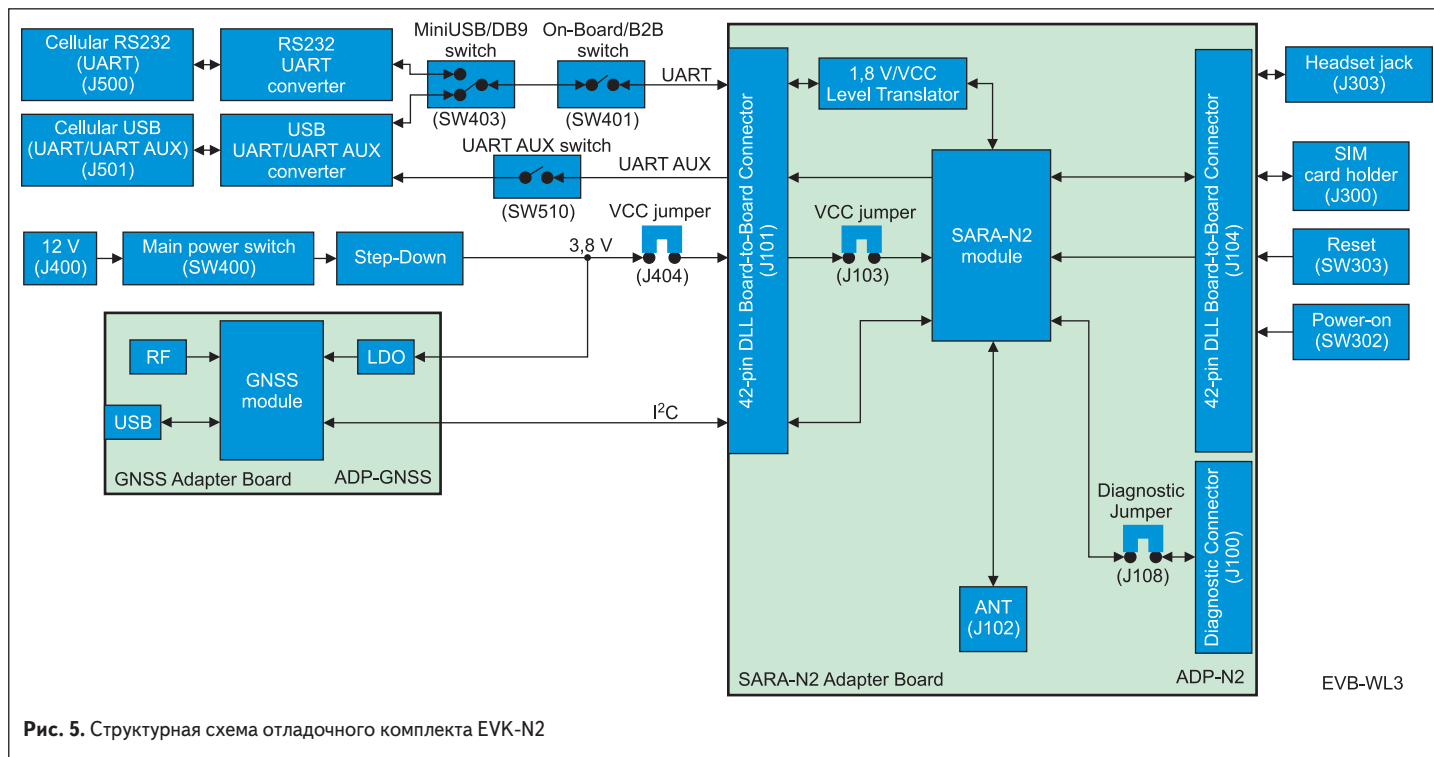


Рис. 5. Структурная схема отладочного комплекта EVK-N2

**Таблица 4.** Отладочные платы для модулей SARA-N2

Наименование отладочной платы	Соответствующий модуль серии SARA-N2
EVK-N200	SARA-N200
EVK-N201	SARA-N201
EVK-N210	SARA-N210
EVK-N211	SARA-N211
EVK-N280	SARA-N280

Для каждой из моделей серии SARA-N2 выпускается своя отладочная плата типа ADP-N2, содержащая конкретный модуль (табл. 4).

Все отладочные комплекты имеют одинаковую структуру. Их подробное описание можно найти на сайте [6]. Структурная схема отладочного комплекта EVK-N2 SARA-N2 series Cellular Evaluation Kits показана на рис. 5.

Три отладочные платы — EVB WL3, ADP-N2, ADP-GNSS — соединены между собой с помощью

разъемов типа B2B. На плате ADP-N2 выведены контактные площадки, позволяющие контролировать сигналы в нужных точках схемы. Для подключения к внешним устройствам используется разъем RS 232 (DB9), обеспечивающий соединение через основной UART модулей SARA-N2. Кроме того, на плате EVB-WL3 имеется разъем miniUSB, соответствующий интерфейсу UART 2. Подробное описание отладочного комплекта приведено в [6].

## Сертификация SARA-N2

Модули серии SARA-N2 имеют сертификаты тех стран и регионов, для работы в которых они были разработаны (табл. 5).

В настоящее время модули SARA-N2 проходят тестовые испытания в сетях Vodafone, Deutsche Telekom и Huawei.

В заключение отметим, что в середине июля 2016 г. российский оператор «МегаФон» получил от ассоциации GSMA извещение о присвоении

статуса Narrow Band IoT Forum Project Member [7]. В марте 2017 г. «МегаФон» в партнерстве с компаниями Huawei и «Большая Тройка» провел тестирование работы интеллектуальных счетчиков расхода воды и электричества, показания которых передаются на центральный сервер с помощью модемов NB-IoT. «МегаФон» планирует поставлять решение под ключ, включая как сами счетчики, так и систему сбора и анализа показаний [8].

По данным [9], за период с 2017 по 2023 гг. устройства технологии NB-IoT получат наибольшее распространение во всем мире. Можно ожидать, что в ближайшем будущем сети NB-IoT будут интенсивно развиваться также и в России. ■

## Литература

1. [www.3gpp.org/images/PDF/R13\\_IOT\\_rev3.pdf](http://www.3gpp.org/images/PDF/R13_IOT_rev3.pdf)
2. [www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2\\_DataSheet\\_%28UBX-15025564%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2_DataSheet_%28UBX-15025564%29.pdf)
3. [www.slideshare.net/Ericsson/iot-launch](http://www.slideshare.net/Ericsson/iot-launch)
4. [www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2\\_ATCommands\\_%28UBX-16014887%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2_ATCommands_%28UBX-16014887%29.pdf)
5. [www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2\\_ProductSummary\\_%28UBX-16014015%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-N2_ProductSummary_%28UBX-16014015%29.pdf)
6. [www.u-blox.com/sites/default/files/EVK-N2\\_UserGuide\\_%28UBX-17005115%29.pdf](http://www.u-blox.com/sites/default/files/EVK-N2_UserGuide_%28UBX-17005115%29.pdf)
7. [www.vedomosti.ru/press\\_releases/2016/07/14/megafon-stal-polnopravnim-uchastnikom-mezhdunarodnogo-soobshchestva-po-razvitiyunovogo-standarta-svyazi-nb-iot](http://www.vedomosti.ru/press_releases/2016/07/14/megafon-stal-polnopravnim-uchastnikom-mezhdunarodnogo-soobshchestva-po-razvitiyunovogo-standarta-svyazi-nb-iot)
8. [www.osp.ru/lan/2017/03/13051580/](http://www.osp.ru/lan/2017/03/13051580/)
9. <http://rethinkresearch.biz/reports/lpwan-market-forecast-2017-2023>

**Таблица 5.** Сертификация модулей SARA-N2 в различных регионах

Наименование сертификата	SARA-N200	SARA-N201	SARA-N210	SARA-N211	SARA-N280
CE (European Conformity)	✓		✓	✓	
GCF (Global Certification Forum)				✓	
GMA (Global M2M Association)				✓	
CCC (China Compulsory Certification)	✓	✓			
SRRC (State Radio Regulation of China)	✓	✓			
NCC (Taiwanese National Communications Commission)	✓			✓	✓
Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações Brazil)					✓
RCM (Australia Regulatory Compliance Mark)					✓
ATEX (Atmosphere Explosive)				✓	