

SIM7000E/SIM7000E-N:

применение энергосберегающих режимов PSM и eDRX в сети NB-IoT

С релизом стандарта 3GPP Rel-13 [1] весной прошлого года миру мобильных IoT-устройств открылись три новые технологии — LTE Cat-NB1 (или Cat-M2, далее — NB-IoT), LTE Cat-M1 (eMTC) и EC-GSM-IoT, предназначенные обеспечить стабильную, повсеместную и, главное, энергоэффективную связь. Рынок IoT находится в самом начале развития, чтобы осознать все преимущества этих технологий, и только готовится применить их в практическом русле. Однако уже сегодня наметились тенденции к выбору той или иной технологии в разных странах (рис. 1). В частности, в России суждено быть сетям связи стандарта NB-IoT. Именно этой технологии и ее практическому применению посредством мультидиапазонных NB-IoT/GSM-модулей SIM7000E и SIM7000E-N посвящена данная статья.

Батор Батуев
bator.batuev@sim.com

На скорость проникновения технологии NB-IoT в России, как и в других странах, влияет много факторов: публикация международного стандарта 3GPP, наличие абонентского оборудования (SIM7000E, SIM7000E-N и т. п.), организационно-техническая готовность операторов сотовой связи и проч. К последнему надо добавить простоту интеграции NB-IoT в существующие сети без глобальной модернизации сетевого оборудования. А это — обозримые перспективы внедрения новых технологий, свидетельствующие о том, что производителям IoT-оборудования новые разработки надо начинать уже сегодня, чтобы не оказаться в арьергарде в новой эпохе IoT-устройств. Ведь эти технологии позволят устройствам на батарейном питании работать без подключения к сети энергоснабжения в течение 10 лет [2]. А если обеспечено питание от солнечных батарей, то можно добиться почти неограниченного срока службы! Кроме того,

имея в виду технические особенности NB-IoT, покрытие узкополосной сети «глубже» по сравнению с GSM/GPRS-сетью, часто применяемой в M2M. Это значит, к большому сроку жизни добавляется уверенное покрытие. Все эти аргументы есть приложение к главному: существует реальная потребность в NB-IoT, огромный парк устройств, которые «ждут» энергоэффективной технологии связи.

NB-IoT/GSM-модули SIM7000E и SIM7000E-N

Справедливости ради надо отметить, что в России полномасштабно развернутых сетей NB-IoT пока нет (прогноз — 2018 г.), и стандарт NB-IoT все еще развивается и дополняется новыми возможностями, которые мы можем видеть в более новых релизах 3GPP, но главные новинки, такие как энергосберегающие режимы PSM (Power Save Mode) и eDRX (Extended Discontinuous Reception), можно проверить и применить на практике уже сегодня на базе

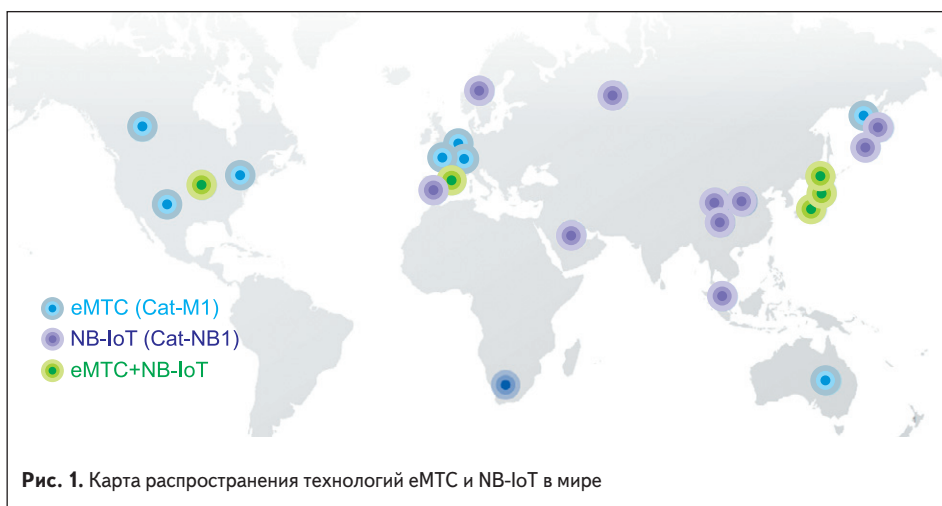


Таблица 1. Сравнительная таблица основных характеристик модулей SIM7000E и SIM7000E-N

		SIM7000E	SIM7000E-N
Платформа		Qualcomm	
Корпус		LCC 24×24 мм	
Диапазоны частот	LTE NB-IoT	Band 3/8/20/28	
	CAT-M1 (eMTC)	Band 3/8/20/28	-
	GSM	GSM900/DCS1800	-
Пакетная передача данных, выгрузка/скачивание, кбит/с	GPRS	85,6/85,6	-
	EDGE	236,8/236,8	-
	NB-IoT		66/34
	eMTC	375/300	-
	Чувствительность приемника в сети, дБм	GSM	-109
	LTE NB-IoT	-129	-
Интерфейсы	UART	2	1
	USB		1
	Аудио	1 (PCM)	-
	АЦП		1
	I ² C		1
	GPIO		5
Напряжение питания, В		3,0–4,3	
Потребление в сети LTE NB-IoT	Peak		0,6 А
	LTE Idle		11 мА
	LTE Sleep		1 мкА
	PSM		9 мкА
	eDRX		1–2 мА
	Power off		7 мкА
Диапазон рабочих температур, °C		-40...+85	
ПО		Протоколы TCP/IP, UDP, HTTP, FTP, PING, PPP, Email, MMS, NTP и проч. Совместимы с протоколами модулей SIM800-й серии и 3G-модулей SIM5300E/EA	Протоколы TCP/IP, UDP, PPP. Совместимы с протоколами модулей SIM800-й серии и 3G-модулей SIM5300E/EA
		SMS	
		Embedded AT	
Навигационный приемник	ГЛОНАСС/GPS/Beidou/Compas/Galileo/QZSS		Опция (по умолчанию нет)
Обновление ПО	USB, FOTA (ожидается)		

специализированных лабораторий операторов сотовой связи. Это и было сделано с применением мультидиапазонного NB-IoT/GSM-модуля сотовой связи SIM7000E (рис. 2).

SIM7000E — первый на рынке NB-IoT/GSM-модуль, поддерживающий широкий спектр частот: B3, B8, B20 и B28. Для России, в перспективе, данный набор (за исключением B28) означает доступность сети NB-IoT практически везде, где существует покрытие сетей сотовой связи. Можно сказать, что такой набор частот делает этот модуль универсальным, в отличие от прочих модулей, представленных на рынке.

SIM7000E-N (рис. 3) является менее функциональной версией SIM7000E, и при этом он pin2pin совместим с последним. Сравнительная характеристика SIM7000E и SIM7000E-N наглядно показана в таблице 1.

Оба модуля совместимы с устройствами других стандартов: с GSM-модулями SIM800/SIM800F и 3G-модулями SIM5300E/SIM5300EA. Вопрос аппаратной совместимости с 2G- и 3G-дизайнами можно изучить более подробно, обратившись к соответствующей документации [3]. Программная совместимость между модулями обеспечена одинаковой системой AT-команд в части основных стандартных и проприетарных функций.

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что SIM7000E применим там, где нужны обе сети — GSM, и NB-IoT. А SIM7000E-N является модулем LTE Only. При работе в сети LTE есть одно техническое преимущество — максимальный ток в пике составляет всего 600 мА. В случае с SIM7000E-N это удешевляет источник питания и упрощает требования к нему при работе в экстремальных условиях. Хотя такого же потребления можно добиться и с SIM7000E, если принудительно, при помощи соответствующей AT-команды перевести его в режим LTE Only (как это сделать, будет рассказано далее).

Пару слов о поддержке eMTC в SIM7000E. Платформа позволяет работать и в сетях eMTC, это делает модуль универсальным решением для устройств, подлежащих продаже на европейский рынок, где может сложиться такая ситуация, когда доступна только эта сеть (рис. 1).

Говоря о надежности покрытия сети NB-IoT, стоит обратить внимание на чувствительность в сетях GSM и NB-IoT: последняя качественно выделяется на фоне GSM, не оставляя выбора в споре о том, покрытие какой сети в перспективе будет доступней и надежней.

Диапазон питающих напряжений SIM7000E/E-N позволяет эксплуатировать стандартную батарею вплоть до полного ее разряда, что может продлить срок службы устройства от одного заряда на значимое количество недель и месяцев.

Программное обеспечение (ПО) модулей SIM7000E/E-N может быть обновлено через интерфейс USB, а также (в скором времени) посредством FOTA (Firmware Over The Air), когда файл прошивки доставляется в память модуля посредством сети GSM или LTE и автоматически записывается.

Для устройств, где малые габариты и бюджет проекта имеют существенное значение, в скором времени будет доступно SDK для разработки

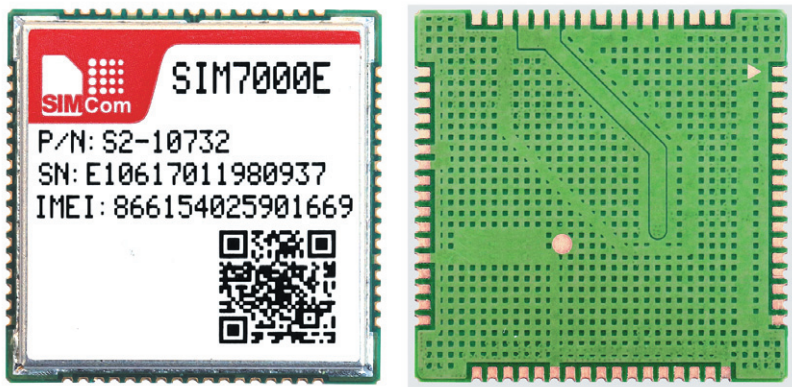


Рис. 2. Мультидиапазонный NB-IoT/GSM-модуль SIM7000E (слева — вид сверху, справа — вид снизу)

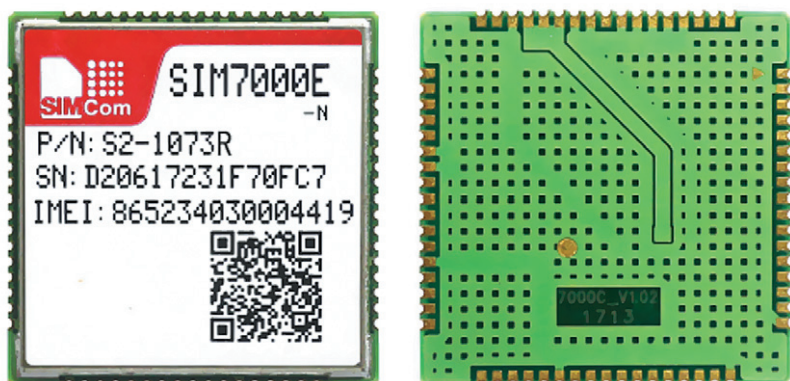


Рис. 3. Мультидиапазонный NB-IoT/GSM-модуль SIM7000E-N (слева — вид сверху, справа — вид снизу)

пользовательского ПО и его последующей записи прямо в память программ модуля. Эта технология называется Embedded AT, ей была посвящена статья [4] применительно к GSM-модулям SIM800-й серии. Эта технология может существенно сэкономить средства и нацелена на недорогое массово выпускаемое оборудование, как, например, бытовые счетчики.

И главное, что должен заметить опытный разработчик в таблице, это потребление тока в режимах eDRX и PSM. Как эти режимы работают и чем отличаются?

Режимы PSM и eDRX

Прежде чем перейти к практической части, познакомимся с нововведениями стандарта 3GPP Rel-13 подробнее, а именно — с режимами PSM и eDRX.

eDRX

Данное понятие относится к пейджингу, к режиму LTE Idle, который оговаривается между модулем и сетью (SGSN/MME). На рис. 4 показана типичная эпюра потребления тока модулем во времени в режиме LTE Idle (и LTE Sleep) и во время обмена данными с сетью. Большую часть времени модуль находится в режиме LTE Idle (или LTE Sleep) и только в окнах пейджинга может получить от сети какие-либо данные.

Идея режима eDRX заключается в том, что скважность цикла пейджинга можно регулировать в пользу уменьшения среднего потребления тока в целом. В окне пейджинга модуль лишь слушает эфир и потребляет малый ток, а средний ток за цикл пейджинга может быть уменьшен вплоть до 1 мА при комбинировании с режимом энергосбережения модуля LTE Sleep. Наибольшее потребление тока будет лишь в моменты обмена данными с сетью, и именно эти сеансы будут определять срок жизни батарейного устройства. Чем больше данных, тем меньше срок.

Как же происходит переход в режим eDRX? Сеть и модуль «договариваются» о параметрах пейджинга в момент регистрации модуля в сети или во время периодической процедуры TAU (Tracking Area Update) и RAU (Routing Area Update). К примеру, во время регистрации в сети модуль шлет в сеть запрос Attach Request (рис. 5) с указанием параметров длительности окна пейджинга (Paging Time Window, PTW) и длительности цикла пейджинга (Cycle Length). Сеть, в свою очередь, может принять или не принять эти параметры (зависит от сети) и в ответном сообщении Attach Accept указать параметры, которые модуль должен в свою очередь принять. Спустя некоторое время режим eDRX придет в действие.

Система команд модулей SIM7000E и SIM7000E-N позволяет варьировать PTW в пределах от 1,28 до 20,48 с, а Cycle Length — в пределах от 5,12 до 10485,76 с (~3 ч). Параметры eDRX рекомендуется согласовывать с провайдером, и следует помнить, что увеличение Cycle Length ведет не только к увеличению срока жизни абонентского устройства, но и увеличивает время отклика устройства на запросы, инициированные удаленной

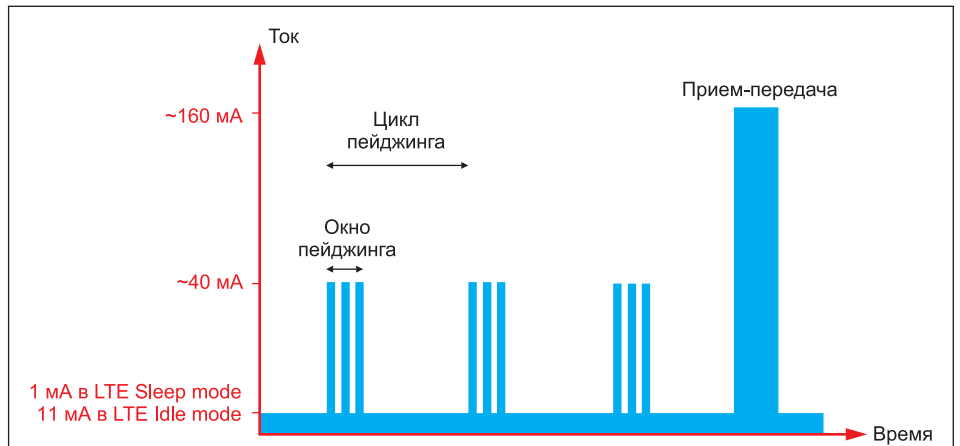


Рис. 4. Потребление тока модулем в режимах LTE Sleep/LTE Idle и во время обмена данными с сетью

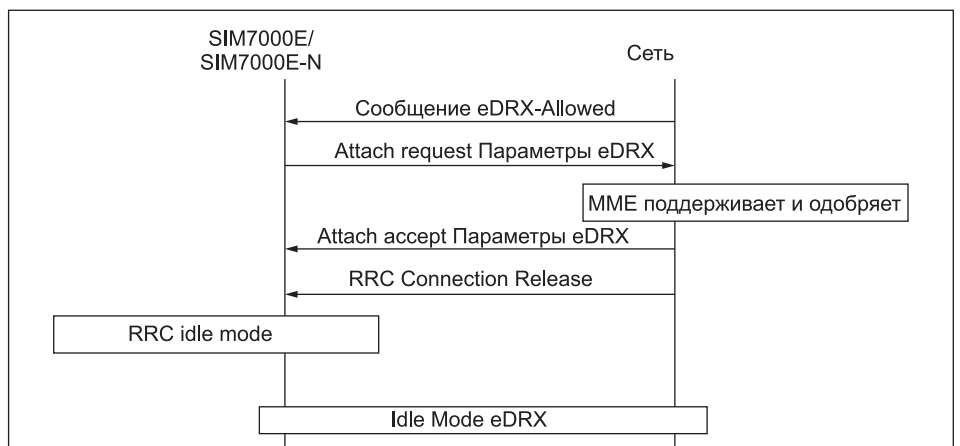


Рис. 5. Процедура перехода в режим eDRX

стороной. А длительные Cycle Length приводят к недоступности модуля со стороны «внешнего мира» (например, TCP/IP-сервера), при этом данные в сторону от модуля можно слать в любой момент.

PSM

Можно ли добиться меньшего потребления тока в режиме PSM? Да, и этот режим больше подходит для устройств, которые сами инициируют сеанс связи, скажем, по расписанию. Например, для счетчиков, которые раз в день

передают на сервер сбора данных показания расхода электричества/воды/газа.

PSM — это режим, при котором модуль находится в состоянии, близком к выключенному. При этом он не теряет регистрацию в сети и при выходе из этого режима не тратит время и ресурсы батареи на процедуру Attach или восстановление PDN-соединения. Модуль лишь производит редкие периодические процедуры TAU (рис. 6). В отсутствие передачи данных общее потребление тока будет определяться периодом TAU, за который отвечает параметр

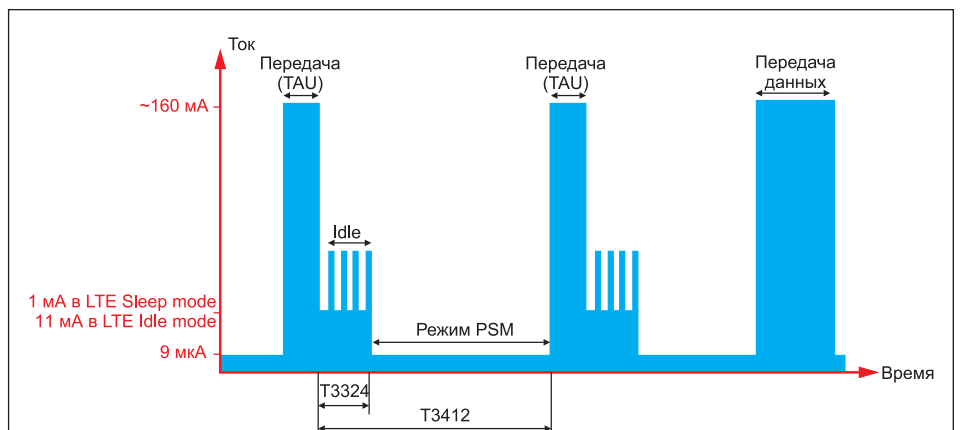


Рис. 6. Потребление тока модулем в режиме PSM

T3412. Потребление тока в режиме LTE Idle можно снизить, применив режим энергосбережения модуля LTE Sleep, в котором средний ток может быть уменьшен с 11 до 1 мА.

Система команд модулей SIM7000E/SIM7000E-N позволяет настраивать параметры T3324 и T3412. Эти параметры, так же как и параметры eDRX, согласовываются модулем с сетью посредством запроса Attach Request или TAU/RAU, как показано на рис. 7.

Инициатором обмена данными с «внешним миром» может быть только модуль. Он должен выйти из режима PSM по произвольному расписанию и инициировать сеанс связи с удаленной стороной как обычно. С момента выхода из режима PSM данные могут передаваться в обе стороны.

Есть одна возможность побудить устройство выйти на сеанс связи не по расписанию устройства, а «по заказу» от удаленной стороны: можно послать SMS-сообщение, которое будет доставлено устройству в моменты коротких промежутков времени LTE Idle после TAU.

Нетрудно догадаться, что режимы PSM и eDRX допускается комбинировать друг с другом, если это не противоречит идеологии работы устройства. Поверх этих режимов также можно наложить режим энергосбережения модуля LTE Sleep. А теперь перейдем к практической части.

Работа модуля SIM7000E на практике

Работа модуля была проверена на базе лабораторий российских операторов сотовой связи. Во время тестов было выполнено следующее:

- переход модуля в режим NB-IoT Only, в котором был зарегистрирован факт успешного Attach как на стороне модуля, так и на стороне сети;
- обмен данными с удаленным сервером по протоколам TCP/IP и UDP в сети LTE NB-IoT и LTE eMTC;
- переход в режим eDRX с контролем пакетов Attach Request и Attach Acccept на стороне сети;
- переход в режим PSM с контролем пакетов Attach Request и Attach Acccept на стороне сети.

Для наглядности далее приведены AT-логи, раскрывающие детали тестов.

Переход в режим NB-IoT Only:

```

AT+CPIN?
+CPIN: READY // SIM-карта готова к работе
OK
AT+CNMP=38 // Выбор режима LTE Only
OK
AT+CMNB=2 // Выбор режима NB-IoT
OK
AT+CREG?
+CREG: 0,3 // Регистрации в сети GSM, конечно, нет
OK
AT+CGREG?
+CGREG: 0,1 // Регистрация в NB-IoT есть
OK
AT+CGATT?
+CGATT: 1 // Доступ к пакетной передаче данных есть
OK
    
```

```

AT+CPSI?
+CPSI: LTE NB-IOT,Online
OK
    
```

Обмен данными с удаленным сервером по протоколу TCP/IP:

```

AT+CGREG?
+CGREG: 0,1
OK
AT+CGATT?
+CGATT: 1
OK
AT+CGNAPN
+CGNAPN: 1,"*****" // Выяснить точку доступа
OK
AT+CSTT="*****" // Установить точку доступа
OK
AT+CIICR // Активировать контекст
OK
AT+CIFSR
172.16.15.183 // IP-адрес модуля в сети
AT+CIPSTART="TCP","11.22.33.44","5678" // Подключа-
емся к TCP/IP-серверу по его IP-адресу
OK
CONNECT OK // Сервер принял соединение
AT+CIPSEND?
+CIPSEND: 1460 // Проверям MTU
OK
AT+CIPSEND
>
    
```

```

..... // Шлем данные в сторону сервера,
данные доходят
SEND OK
hellofromremoteserver! // Данные от сервера
AT+CIPCLOSE // Закрываем сокет
CLOSE OK // Сокет закрыт
AT+CIPSHUT // Деактивируем контекст
SHUT OK // Соединение закрыто
    
```

Лог обмена данными с удаленным сервером по протоколу UDP аналогичен логу обмена данными по протоколу TCP/IP. Для краткости не будем его приводить.

Переход в режим eDRX:

```

AT+CGREG?
+CGREG: 0,1
OK
AT+CPSI?
+CPSI: LTE NB-IOT,Online
OK
AT+CEDRX= 2,1,3,0 // режим eDRX в сети NB-IoT,
PTW = 5,12 с, Cycle Length = 5,12 с
OK
AT+CPOWD=1 // Здесь перезагрузили модуль, чтобы
инициировать процедуру Attach при след. включении
NORMAL POWER DOWN
RDY
+CFUN: 1
+CPIN: READY
SMS Ready
AT+CGREG?
+CGREG: 0,1 // Модуль зарегистрирован в сети NB-IoT,
что подтверждается трейс-логами на стороне оператора
OK
AT+CPSI?
+CPSI: LTE NB-IOT,Online
OK
    
```

Переход в режим PSM:

```

AT+CGREG?
+CGREG: 0,1
OK
AT+CPSI?
+CPSI: LTE NB-IOT,Online
OK
    
```

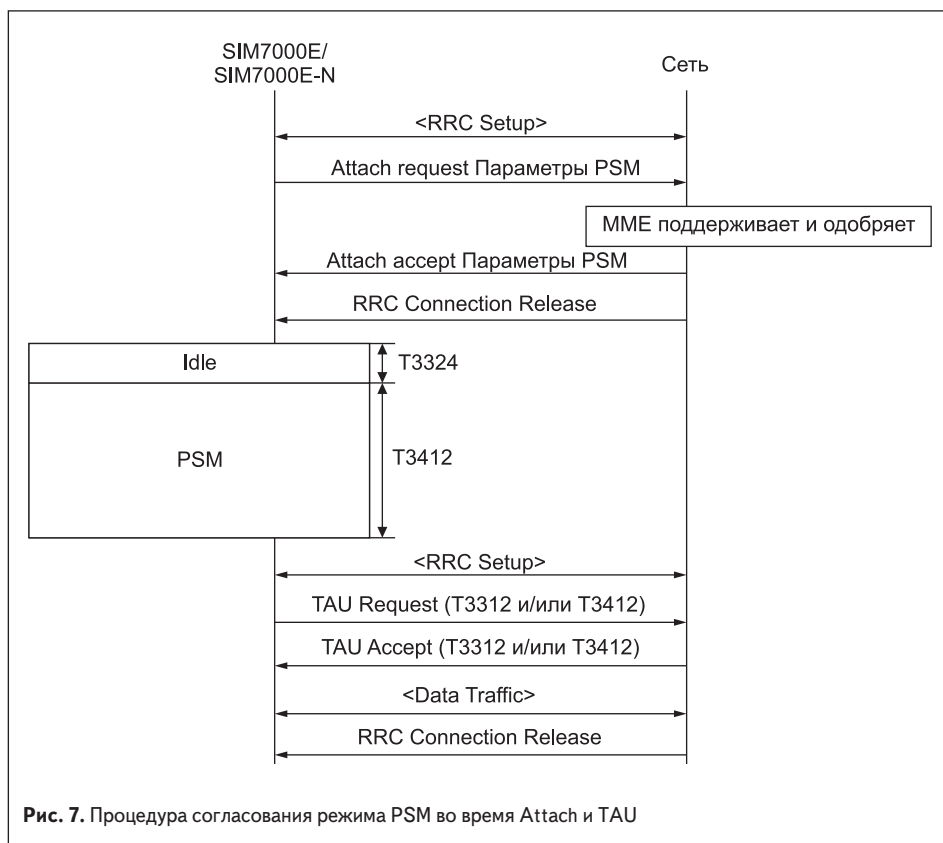


Рис. 7. Процедура согласования режима PSM во время Attach и TAU

```

AT+CPSMS?
+CPSMS: 1,,,"00000110","00001111" // T3324 = 30 с
и T3412 = 60 мин
OK
AT+CPSMMODE=1 // Включаем режим PSM
OK
AT+CPOWD=1 // Здесь перезагрузили модуль, чтобы
инициировать процедуру Attach при след. включении
NORMAL POWER DOWN
// В течение 30 с (inactivity, зависит от сети) произойдет
RRC Release, и включится таймер T3324 на 30 с. Затем,
по истечении таймера T3324, включится таймер T3412,
и модуль войдет в режим PSM на 60 мин, что подтверж-
дается трейс-логами на стороне оператора. Индика-
торы (выводы модуля) Netlight и STATUS переходят
в неактивное состояние. Теперь, чтобы передать данные,

```

модуль можно разбудить только по сигналу POWER KEY или «будильником» при помощи часов реального времени (Real Time Clock, RTC).

Итак, на практике мы убедились, что сеть NB-IoT вполне может служить транспортной средой для обмена данными с удаленным сервером взамен классической сети GSM/GPRS. Также мы удостоверились в готовности и работе новых режимов энергосбережения eDRX и PSM. Эти два режима не могут остаться незамеченными в среде профессиональных разработчиков M2M-оборудования. Режимы eDRX и PSM очень скоро найдут практическое применение в устройствах, где требуются одновременно и связь со внешним миром,

и сверхнизкое потребление тока, что раньше считалось взаимоисключающими факторами. Теперь, с появлением NB-IoT и eMTC, это стало возможным. ■

Литература

1. www.3gpp.org/release-13
2. Nokia_LTE_Evolution_for_IoT_Connectivity_White_Paper_EN
3. SIM800F_SIM900_SIM5300E_Migration_to_SIM7000_Application_Note_V1.00, инструкция по применению.
4. Батуев Б. Б. Embedded AT: начало работы с технологией интеграции пользовательского ПО в GSM/GPRS-модуль SIM800/SIM800H // Беспроводные технологии. 2014. № 4.