ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS МОДУЛЕЙ ARDUINO ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА

П.В. Гайский

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28 E-mail: gaysky@inbox.ru

Приводятся результаты испытаний модулей спутниковой навигации от фирмы Arduino в режиме сопутствующих измерений. Оценивается точность модулей Arduino GPS/GLONAS в условиях города, горной местности и побережья. Описывается опыт подключения, настройки и управления модулями. Приводится пример разработки алгоритмически-программного обеспечения для работы с модулями с помощью ПК для трекинга и вывода навигационных численно-графических характеристик.

Ключевые слова: спутниковая навигация, GPS, GLONAS, привязка к координатам, Arduino.

Поступила в редакцию: 05.08.2020.

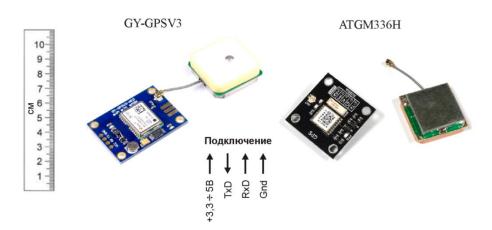
Введение. Спутниковая навигация все больше переходит из разряда высокотехнологичных систем для транспорта, вооружения и мониторинга в области повседневного доступного бытового применения. Стоимость GPS модулей снижается до 100 \$, а точность навигационных данных растет как за счет увеличения спутников, так и за счет внедрения новых технологий и увеличения серийного производства. Доступность GPS устройств позволяет их широко использовать в разрабатываемых измерительных системах мониторинга и навигации. Интегрированность в одной микросхеме или модуле с открытым доступом настройки и управления позволяет быстро встраивать их в электронику приборов и оперативно расширять возможности технических систем. Не смотря на достаточно большой объем информации об использовании предлагаемых на рынке GPS устройств, представленный в публикациях, ряд практических вопросов их использования остается слабо освещенным. В работе в качестве примера оцениваются возможности подключения и использования общедоступных модулей Arduino GPS GY-GPSV3 на чипа Ublox NEO-M8N базе GPS/GLONAS ATGM336H [1] с протоколом NMEA 0183 [2]. Оба модуля идут в комплекте с активными антеннами, настраиваются на спутники GPS (США), Глонасс (Россия) и Beidou (Китай) и

близки по заявленным техническим характеристикам.

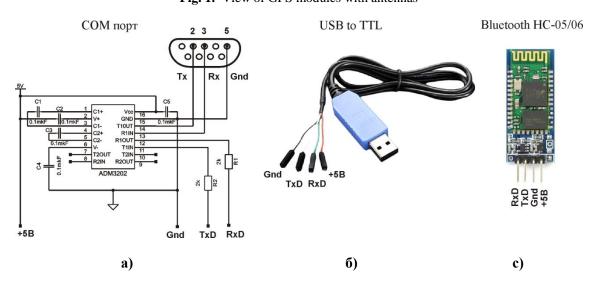
Основная часть. Внешний вид модулей с антеннами представлен на рис. 1. Оба модуля подключаются через стандартный последовательный TTL интерфейс с использованием четырехпроводной шины: RxD – для входных команд управления, TxD – выходной поток текстовых данных протокола и питание (+3.3÷5 B, Gnd(-)). По умолчанию при подаче питания модули автоматически начинают поиск спутников и выдачу пакета информации с интервалом в 1 секунду на частоте настройки последовательного порта 9600 бод. Для подключения к компьютерному устройству необходимо преобразовать уровень сигнала любым из доступных способов (рис. 2) (например):

- для физического СОМ порта в UART (микросхемы RS232 интерфейса);
- для USB (виртуальный COM порт) через готовые переходники TTL to USB [3];
- для радиосвязи (виртуальный СОМ порт) через готовый Bluetooth модуль HC-05/06 [4].

Для первого случая необходима пайка схемы, блок питания и аппаратный СОМ на компьютере. Для второго – покупка переходного дешевого устройства и установка драйверов (автоматически



Puc. 1. Внешний вид GPS модулей с антеннами **Fig. 1.** View of GPS modules with antennas



Puc. 2. Варианты подключения модулей GPS к компьютерным устройствам(а – физический COM порт, б – USB порт, с – радиоканал Bluetooth)Fig. 2. Variants for connecting GPS modules to computer devices(a – hardware COM port, b – USB port, c – Bluetooth radio channel)

или из интернета). В третьем случае покупка Bluetooth модуля НС с блоком питания и подключение его к компьютерному устройству по стандартному радиоканалу (код доступа "1234"). Во всех случаях вместо дополнительного блока питания может использоваться питание 5 В от USB порта. Уровень внешнего питания предложенных вариантов лежит в одном диапазоне от 3,3 до 5 В (потребление – до 30 мА). Для хранения пользовательских настроек (частота настройки и передачи, содержание протокола данных, установок режима предварительной обработки данных и др.), а также промежуточных данных

текущих измерений в модулях используется энергозависимая память, поддерживаемая дополнительной батарейкой (при работе в режиме "по умолчанию" может отсутствовать).

Стандартный текстовый вид протокола выходных данных представлен набором индексированных строк (рис. 3). Подробную расшифровку и назначение каждой строки можно найти в справочниках [2, 5]. Для окончательной обработки и регистрации можно выделить три позиции (рис. 4):

- GGA (содержит географические координаты (широта, долгота), время (по Гринвичу), количество обнаруженных

спутников, высота над уровнем моря (в м));

- RMC (содержит географические координаты (широта, долгота), время и дату (по Гринвичу), скорость (в узлах) и направление (в градусах));

– DHV (содержит время и скорости перемещения (в м/с): 3D, по полярноэкваториальным осям X, Y, Z и относительно плоскости земли).

Модуль GY-GPSV3

\$GPGGA,055240.00,4443.91141,N,03332.96087,E,1,07,1.26,9.2,M,28.8,M,,*5B \$GPGSA,A,3,19,02,29,06,25,12,24,...,2.18,1.26,1.78*07 \$GPGSV,3,1,09,02,56,105,51,06,36,056,42,12,77,018,34,14,15,307,*7D \$GPGSV,3,2,09,19,14,053,31,24,41,180,43,25,54,303,40,29,33,239,39*7E \$GPGSV,3,3,09,30,,31*71 \$GPGLL,4443.91141,N,03332.96087,E,055240.00,A,4*65 \$GPRMC,055241.00,A,4443.91140,N,03332.96083,E,0.037,,080720,,..A*71 \$GPVTG,,T,,M,0.037,N,0.088,K,A*29

- •GP информация получена от спутников GPS (США).
- •GL информация получена от спутников Глонасс (Россия).
- •GA информация получена от спутников Galileo (Европа)
- •BD информация получена от спутников Beidou (Китай)
- •GQ информация получена от спутников QZSS (Япония).
- •GN информация получена от спутников разных навигационных систем.

Модуль ATGM336H

\$GNDHV,075247.000,29.71,21.131,-20.363,-5.117,29.69,...,M*0E \$GNGGA,075248.000,4432.07136.N,03334.06591,E,1,17.0.6,189.6,M,0.0,M,,*76 \$GNGLL,4432.07136,N,03334.06591,E,075248.000,A,*45 \$GNGLS,4432.07136,N,03334.06591,E,075248.000,A,*45 \$GNGSA,A,3.05,18,20,21,25,26,29,31,33,...,1.2,0.6,1.0,1*32 \$GNGSA,A,3.65,72,77,78,79,81,87,88,...,1.2,0.6,1.0,2*37 \$GGGSV,3.1,11,05,21,044,40,16,19,316,16,18,77,244,40,20,28,180,30,0*64 \$GPGSV,3.2,11,21,15,241,35,23,...,29,25,22,159,38,26,52,292,37,0*57 \$GPGSV,3.3,11,29,53,081,38,31,17,239,32,33,10,054,33,0*57 \$GGLGSV,3,1,09,78,51,257,24,77,22,197,18,79,28,323,33,65,20,125,34,0*7F \$GLGSV,3,3,09,72,30,078,35,0*4F \$GLGSV,3,3,09,72,30,078,35,0*4F \$GRNRMC,075248.000,A,4432.07136,N,03334.06591,E,57.86,254.18,020820,..A,V*36 \$GNVTG,254.18,T,M,57.86,N,107.16,K,A*14 \$GNZDA,075248.000,Q,208,2020.00,00*4E \$GPTXT,01,01,01,ANTENNA OK*35

Рис. 3. Протоколы данных GPS **Fig. 3.** GPS data protocols

Для:

\$GNGGA,075249.000,4432.06705,N,03334.04435,E,1,17,0.6,190.6,M,0.0,M,,*75 \$GNRMC,075249.000,A,4432.06705,N,03334.04435,E,57.99,254.13,020820,,,A,V*38 \$GNDHV,075249.000,29.78,21.269,-20.283,-5.112,29.77,,,,,M*03

Получаем:

А-данные достоверны, спутников 17 время 07:52:49, широта 44°32.06705'N, долгота 33°34.04435'E дата 02/08/2020, высота 190.6м, скорость 57.99узлов(×1.85)=107.28км/ч, курс 254.13° скорости: 3D=29.78м/с, x=21.269м/с, y=-20.283м/с, z=-5.112м/с, V=29.77м/с

Рис. 4. Пример расшифровки сообщений **Fig. 4.** Example of message decryption

Индивидуальная настройка режимов работы модуля через посылку управляющих команд обеспечивает адаптацию к скорости интерфейса подключаемых устройств, к частоте и содержанию измерительной информации [5, 6], а как результат - экономию электропитания и емкости памяти носителя для записи первичных данных. Кроме того, при установке заданных режимов использования (стационарный, пешеходный, надводный, автомобильный, полетный), на программно-аппаратном уровне проводится дополнительная предварительная фильтрация в соответствии с установленными параметрами движения носителя. На рис. 5 представлен сформированный (согласно алгоритму) для отправки текстовый формат основных готовых команд управления для модуля GPS/GLONAS ATGM336H. B системе программирования и разработки Arduino пользователь обычно пользуется готовыми библиотеками. Стандартное пользовательское интерфейсное программное обеспечение для ПК и смартфонов доступно на электронных ресурсах [7]. Для использования модулей в собственных проектах и микроконтроллерных системах необходим самостоятельный доступ к настройкам и первичным аппаратным возможностям.

Для проведения экспериментов и дальнейшей эксплуатации в мониторинговых системах (подвижные платформы, буи, буксируемые носители и др.) была создана интерфейсная программа, выполняющая следующие функции:

 прием, отображение и регистрация первичных данных протоколов GPS модулей в телеметрическом режиме по

```
$PCAS06,1*1A - проверка серийного номера
$PCAS00*01 - сохранить настройки в памяти модуля
$PCAS01,0*1C - установка частоты обмена 4800 бод
$PCAS01,1*1D - установка частоты обмена 9600 бод (по умолчанию)
$PCAS01,2*1E - установка частоты обмена 19200 бод
$PCAS01,3*1F - установка частоты обмена 38400 бод
$PCAS01,4*18 - установка частоты обмена 57600 бод
$PCAS01,5*19 - установка частоты обмена 115200 бод
$PCAS02,1000*2E - установка частоты измерений 1 Гц (по умолчанию)
$PCAS02,500*1A - установка частоты измерений 2 Гц
$PCAS02,250*18 - установка частоты измерений 4 Гц
$PCAS02,200*1D - установка частоты измерений 5 Гц
$PCAS02,100*1E - установка частоты измерений 10 Гц
$PCAS03,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,0,0,1,0*02 - Настройка вывода протоколов
                  GGA,GLL,GSA,GSV,RMC,VTG,ZDA,ANT,DHV,TXT,GST...
$PCAS03,1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0*02 - Вывод только GGA и RMC
$PCAS04,1*18 - использовать только спутники GPS
$PCAS04,2*1B - использовать только спутники BDS
$PCAS04,3*1A - использовать только спутники GPS и BDS
$PCAS04,4*1D - использовать только спутники GLONAS
$PCAS04,5*1C - использовать только спутники GPS и GLONAS (по умолчанию)
$PCAS04,6*1F - использовать только спутники BDS и GLONAS
$PCAS04,7*1E - использовать спутники GPS + GLONAS + BDS
$PCAS05,2*1A - работать по протоколу NMEA 4.1f (по умолчанию)
$PCAS05,5*1D - работать по протоколу NMEA 4.0f
$PCAS05,9*11 - работать по протоколу NMEA 2.2f
$PCAS10,0*1C - рестарт модуля Hot (используются данные из буфера)
$PCAS10,1*1D - рестарт модуля Warm (сброс данных о спутниках)
$PCAS10,2*1E - рестарт модуля Cold (сброс данных о спутниках и текущих настроек)
$PCAS10,3*1F - рестарт модуля Factory (сброс всех настроек к заводским)
$PCAS11,0*1D - режим PORTABLE (Высота<12км, Скорость<310м/с) (по умолчанию)
$PCAS11,1*1C - режим STATIC (Высота<9км,Скорость<10м/с)
$PCAS11,2*1F - режим WALKING (Высота<12км,Скорость<30м/с) - пешеход
$PCAS11,3*1E - режим VEHICLE (Высота<6км,Скорость<84м/с) - автомобиль
$PCAS11,4*19 - режим VOYAGE (Высота<0,5км,Скорость<25м/с) - судно
$PCAS11,5*18 - режим AVIATION(<1G) (Высота<50км,Скорость<100м/с)
$PCAS11,6*1B - режим AVIATION(<2G) (Высота<50км,Скорость<250м/с)
$PCAS11,7*1A - режим AVIATION(<4G) (Высота<50км,Скорость<500м/с)
```

Рис. 5. Основные команды настройки и управления модулем GPS/GLONAS ATGM336H **Fig. 5.** Basic commands of configuration and management for the module GPS/GLONAS ATGM336H

последовательному интерфейсу и из ранее записанных файлов;

- командное управление настройками модуля;
- отображение данных спутниковой навигации в численно-графическом виде (построение графиков показателей и треков перемещения);
- отображение местоположения и треков движения на растровых картах пользователя и на электронных картах Yandex и Google (при наличии интернета);
- формирование численнографической отчетности в виде таблиц и

графических файлов стандартных форматов:

привязка сопутствующих измерительных данных к данным спутниковой навигации.

Внешний вид интерфейса программы представлен на рис. 6.

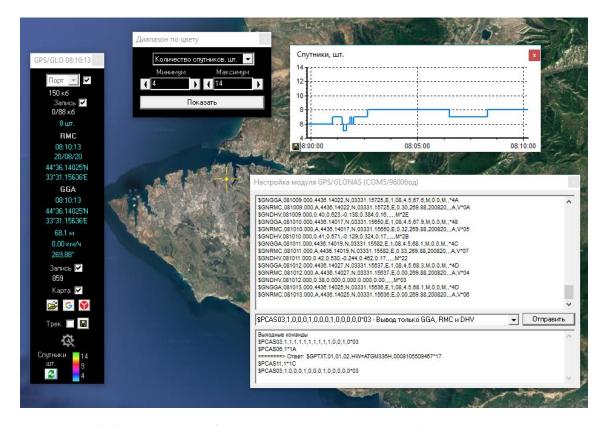
Примером быстрого отображения координат объекта на электронных картах может быть автоматический вызов web страниц (рис. 7).

Для определения прямой дистанции L до объекта с координатами (X°, Y°) можно воспользоваться приближенной формулой

$$L(\mathbf{M}) = \sqrt{((\mathbf{III}^{\circ} - X^{\circ}) \cdot 111134,861111)^{2} + ((\mathbf{A}^{\circ} - Y^{\circ}) \cdot 111321,377778 \cdot \mathit{COS}(\frac{(\mathbf{III}^{\circ} + X^{\circ})}{2}))^{2}} \ ,$$

где Ш° – текущее значение географической широты в градусах и десятичных единицах, Д° – текущее значение географической долготы в градусах и десяграфической до

тичных единицах. В случае пересечения экватора необходимо рассчитывать и суммировать отрезки (до и после).



Puc. 6. Общий вид интерфейса созданной программы для работы с модулями GPS **Fig. 6.** General view of the interface of the created program for working with GPS modules

На картах Google:

https://www.google.ru/maps/place/44°36.13925,33°31.19425 https://www.google.ru/maps/place/44°36'08.4"N,33°31'11.7"E https://www.google.ru/maps/place/44.602321,33.519904

На картах Yandex:

https://yandex.ru/maps/?ll=33.519318E,44.602274N&pt=33.519318E,44.602274N&l=skl&z=12
долгота широта долгота широта вид масштаб
(центр карты) (маркер) (map/sat/skl) (1-19)

Рис. 7. Примеры быстрого вызова позиции на картах с использованием электронных ресурсов **Fig. 7.** Examples of quick call of GPS positions on the maps with the use of electronic resources

На рис. 8 представлены примеры работы модулей в режимах Portable (по умолчанию) и Vehicle (см. рис. 5) во время движения на автомобиле. Позиция довольно точно отслеживается с точностью до 30 м в обоих случаях. С точки зрения рельефа: горная местность и плотная городская застройка ухудшают прием спутникового сигнала (до 6 спутников), на равнинной и открытой местности обеспечивался одновременный прием до 18 спутников. В основном точность позиционирования напрямую связана с количеством отслеживаемых спутников, которых должно быть не меньше 4.

На рис. 9 представлены треки отслеживания координат в статическом неподвижном режиме (условия городской застройки) параллельной 6-ти часовой работы обоих модулей. По графикам на рис. 10 видно, что при одних и тех же условиях модуль АТСМ336Н обнаруживает на 3-4 спутника больше. В результате уровень шума почти на порядок ниже, а точность выше в 2-3 раза. Кроме того, можно заметить, что для модуля GY-GPSV3 увеличение числа обнаруживаемых спутников не всегда однозначно положительно отражается на качестве данных. В некоторых случаях точность наоборот ухудшается. Это может быть связано либо с некорректными данными о привязке спутника и синхронизацией, либо с недостатками внутреннего алгоритма обработки информации. Антенны обоих модулей удерживали сигнал и при изменении угла направленности (относительно вертикали), что показывает их удовлетворительную работу и на отраженных сигналах. При помещении мо-

дулей в герметизированный стальной корпус (толщина стенки -2 мм) связь теряется. В металлизированном корпусе (толщина стенки до 1 мм) теряется связь с половиной спутников (например, от 8 к 4). В полиамидном герметизированном корпусе (толщина стенки - более 20 мм) связь со всеми спутниками сохраняется.



Рис. 8. Отслеживание треков движения на автомобиле **Fig. 8.** Track traffic on a car

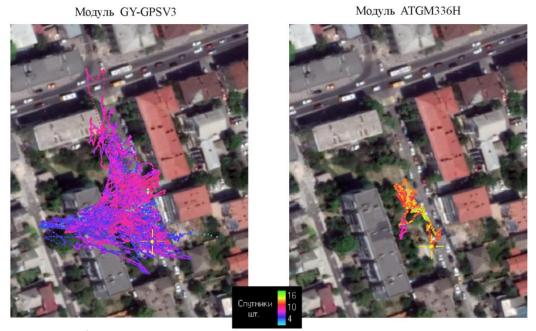


Рис. 9. Траектория параллельного 6-ти часового отслеживания координат в статическом режиме (условия городской застройки) **Fig. 9.** Trajectory of 6-hour parallel tracking of coordinates in static mode (urban conditions)

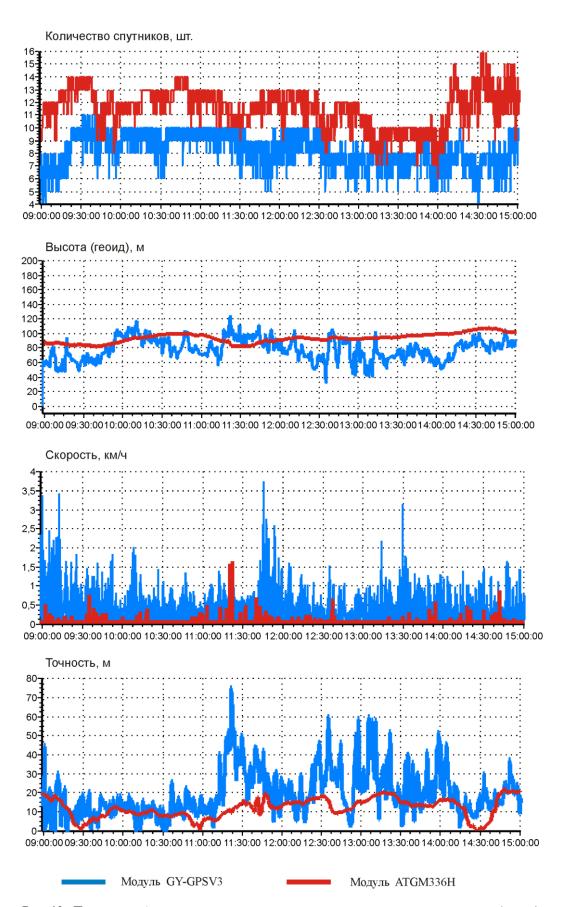


Рис. 10. Показатели 6-ти часового отслеживания координат в статическом режиме (город) **Fig. 10.** Indicators of 6-hour tracking of coordinates in static mode (city)

Сравнение результатов работы модуля ATGM336H в различных режимах (Portable, Voyage, Vehicle, Static, Walking) показало в основном сохранение точностных характеристик на одном уровне при соблюдении выбранных условий использования (ограничение по скорости и высоте). Таким образом, пользовательские ограничения диапазо-

на по сути только обеспечивают включение дополнительного внутреннего алгоритма фильтрации и осреднения. Пример работы модуля в двух режимах в условиях отсутствия движения и береговой зоны представлен на рис. 11. Отклонения координатного трека в данном случае сопоставимы и составляют менее 10 м.

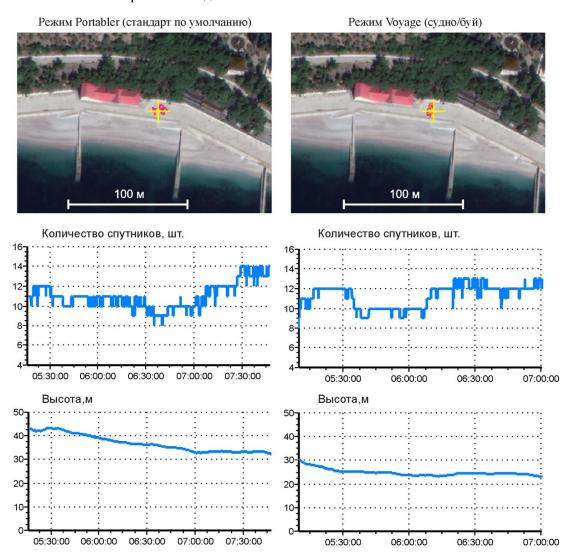


Рис. 11. Данные модуля АТGM336H в сравнении при работе в двух режимах настройки: Portable и Voyage (Южный берег Крыма)

Fig. 11. ATGM336H module data in comparison with two tuning modes: Portable and Voyage (Southern coast of Crimea)

Изучение возможностей модулей при подключении ретранслирующего радиомодуля (рис. 12) показало зависимость работы антенны GPS приемника (диапазон -1,6 $\Gamma\Gamma$ ц) от находящегося в непосредственной близости (5–20 см) передатчика Bluetooth (диапазон -2,4 $\Gamma\Gamma$ ц).

Пример результатов одного из экспериментов при включении-отключении радиопередатчика к ATGM336H и одновременному влиянию его на работу обоих близлежащих (расстояние 10 см) модулей представлен на рис. 13.

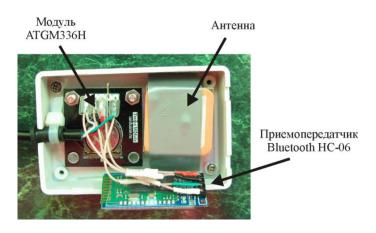


Рис. 12. Вид подключения Bluetooth ретранслятора к ATGM336H **Fig. 12.** Type of Bluetooth repeater connection to ATGM336H

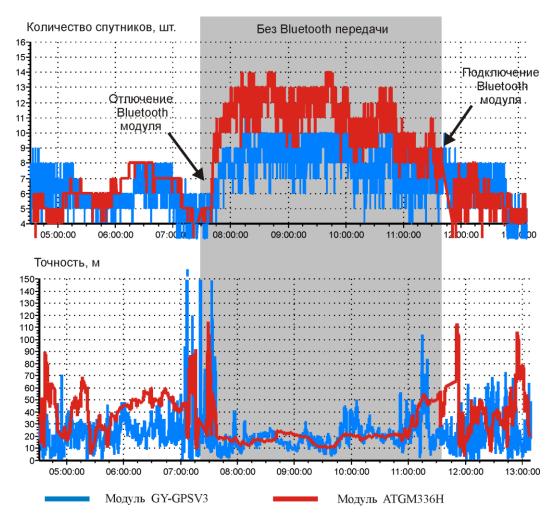


Рис. 13. Данные работы модулей при включении/отключении Bluetooth ретранслятора **Fig. 13.** Operation data of modules when enabling / disabling the Bluetooth repeater

Заключение. Рассмотренные модули GPS Arduino вполне удовлетворительно выполняют свои функции отслеживания координат и вычисления первичных па-

раметров движения носителя, как в условиях благоприятного ландшафта, так и в условиях горной местности и городской застройки. Относительно малое

энергопотребление (25-30 мА) и габариты, простое подключение позволяют использовать их в автономных системах мониторинга. Однако стабильная точность свыше 10 м достигается только при наличии одновременной связи с 10 спутниками и более, не обеспечивается прием сигнала внутри помещений и др. экранированных объектов. Реальный холодный старт длится более минуты. Установка режимов работы модулей обеспечивает в основном только фильтрацию измерительных ошибок в заданном диапазоне высот и скоростей. Из данных модулей в явном приоритете -GPS/GLONAS ATGM336H, так как на стандартных настройках при использовании того же типа антенны, питания и размеров значительно опережает по точности, доступности командного управления и стоимости (на данный момент в 3 раза дешевле). Существенного влиявидимых природных явлений на ния работу использованных GPS приемников (связь со спутниками) зафиксировано не было, в тоже время близко расположенные или относительно мощные бытовые радиочастотные передатчики сказываются на точности, ухудшая ее в 2-3 раза. Прием сигнала может быть улучшен использованием или дополнением более мощной габаритной антенны, которая в определенных условиях позволит также захватывать спутники, находяшиеся ближе к горизонту.

В результате, с такими характеристиками и возможностями рассмотрен-

ные GPS модули пока успешно могут применяться только в навигационных целях и для получения сигналов точного времени (синхронизации измерений). Использовать их в целях измерения физических величин (например: параметров поверхностного волнения, уровня, скорости течения и др.) при современных требованиях к точности имеет смысл только в процессах больших масштабов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. https://iarduino.ru/shop/Expansion-payments/GPS/ (дата обращения: 03.08.2020).
- 2. https://wiki.iarduino.ru/page/NMEA-0183/ (дата обращения: 03.08.2020).
- 3. https://www.chipdip.ru/search? searchtext=USB+to+TTL (дата обращения: 03.08.2020).
- 4. https://www.chipdip.ru/catalog-show/wireless-modules?gq=HC-06 (дата обращения: 03.08.2020).
- 5. http://www.icofchina.com/d/file/xiazai/2016-12-5/95deb933f6db900c6a7a 6c768ded8248.pdf (дата обращения: 01.08.2020).
- 6. http://wless.ru/files/GPS/Neoway/G7A/Neoway_G2_and_G7A_Commands_Manual_V1_0.pdf (дата обращения: 01.07.2020).
- 7. https://www.u-blox.com/en/product/u-center (дата обращения: 03.07.2020).

USING ARDUINO GPS MODULES FOR NAVIGATION CONTROL AND MONITORING

P.V. Gaisky

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The results of tests of satellite navigation modules from the company Arduino in the mode of accompanying measurements are presented. The accuracy of Arduino GPS/GLONASS modules in urban, mountainous and coastal conditions is evaluated. The experience of connecting, configuring, and managing modules is described. An example of developing algorithmic software for working with modules using a PC for tracking and displaying navigation data and graphical characteristics is given.

Keywords: satellite navigation, GPS, GLONASS, snap to coordinates, Arduino.