

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТЫ ROBOTDYN MEGA2560 PRO ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА ГЕКСАКОПТЕРА

Разработан беспилотный летательный аппарат (БПЛА) на базе Ардуино совместимой платы RobotDyn Mega2560 Pro, 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, 3-х осевого компаса HMC5883L, барометра/высотомера MS5611/BMP180, GPS приемника u-blox NEO-6M. В качестве прошивки используется совместимая с ардупилотом (APM 2.6) прошивка MegapirateNG ver. 3.1.5R2. Прошивка корректировалась в зависимости от используемых датчиков в полетном контроллере. В качестве рамы используется шести моторный мультиротор - гексакоптер. Спроектированный гексакоптер способен выполнять следующие полетные режимы: Stabilize - выполняется взлет и посадка. Задействованы гироскоп и акселерометр для удержания горизонта. Компас используется дополнительно для контроля и коррекции; AltHold - удержания высоты. Здесь использован барометр, который способствует удержанию высоты по давлению воздуха; Land - автоматическая посадка в текущем положении. Используется барометр для контроля высоты; Simple - это режим, который позволяет «забыть» об ориентации БПЛА относительно пилота. В данном режиме важным является компас; Loiter - здесь выполняется удержания точки (по координате и высоте). Используется GPS. Режим используется для фото и видеосъемки; RTL (Return To Launch) — возврат домой, в точку взлета. Контроллер запоминает точку, где произведен Arming и позволяет вернуть БПЛА в эту точку; Auto — полет по точкам миссии. Миссия создается вручную с помощью программного обеспечения наземной станции перед полетом; Failsafe — режим спасения, который отправляет БПЛА домой (в точку, где произведен запуск двигателей - Arming) в случае потери связи с наземной станцией. Было установлено, что у регуляторов Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A с собственными прошивками наблюдаются срывы синхронизации при оборотах ниже средних. Поэтому при резком сбросе оборотов возможна остановка двигателя, что приведет к аварии коптера. Экспериментально установлена ненадежная работа регуляторов Hobbypower ESC-30A и Readytosky ESC-30A, которые самопроизвольно сбрасывали настройки, например при температурах ниже +15C и при включении коптера. В связи с этим в работе была выполнена перепрошивка этих регуляторов коптерной прошивкой Simonk, что обеспечило высокую устойчивость полета. Рассмотрена также настройка GPS модуля GY-GPS6MV2 программой u-center, что обеспечило устойчивый полет гексакоптера по путевым точкам в автоматическом режиме. Экспериментально показана не существенная разница в использовании барометров MS5611 и BMP180 в режиме удержания высоты для прошивки MegapirateNG 3.1.5R2.

Ключевые слова: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M, u-center, MegapirateNG3.1.5R2, Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A, GY-521, GY-63/GY-68, GY-273, GY-GPS6MV2, RobotDyn Mega2560 Pro.

A.A. MYASISCHIEV
Khmelnitsky National University

USE OF ROBOTDYN MEGA2560 PRO FOR BUILDING THE FLIGHT CONTROLLER OF HEXACOPTER

An unmanned aerial vehicle (UAV) based on Arduino compatible RobotDyn Mega2560 Pro board, 6-axis MPU6050 accelerometer gyro, 3-axis compass HMC5883L, barometer/altimeter MS5611/BMP180, GPS receiver u-blox NEO-6M was developed. As the firmware compatible with the ardupilotom (APM 2.6) firmware MegapirateNG ver. 3.1.5R2. The firmware was adjusted depending on the sensors used in the flight controller. As a frame, six motor multicopters - hexacopter - are used. The designed hexacopter is able to perform the following flight modes: Stabilize - take off and landing. A gyroscope and an accelerometer are used to hold the horizon. The compass is used additionally for monitoring and correction; AltHold - hold height. Here a barometer is used that helps maintain the altitude by the air pressure; Land - automatic landing in the current position. A barometer is used to control altitude; Simple is a mode that allows you to "forget" the orientation of the UAV relative to the pilot. In this mode, the compass is important; Loiter - here the point is held (by coordinate and height). Uses GPS. The mode is used for photo and video shooting; RTL (Return To Launch) - return home, to the point of take-off. The controller remembers the point where Arming is produced and allows to return the UAV to this point; Auto - flight to the points of the mission. The mission is created manually using ground station software before the flight; Failsafe is a rescue mode that sends the UAV home (to the point where the engine starts - Arming) in case of loss of communication with the ground station. It was found that the Hobbypower ESC-30A regulators, the Readytosky ESC-30A with its own firmware, there are synchronization failures at lower than average speeds. Therefore, with a sudden reset of the revolutions, it is possible to stop the engine, which will lead to a Copter accident. The unreliable work of the Hobbypower ESC-30A and Readytosky ESC-30A regulators was experimentally installed, which spontaneously reset the settings, for example, at temperatures below + 15C and when the copter is turned on. In this regard, the work was performed by flashing these regulators with Simonk's copier stitching, which ensured high flight stability. The configuration of the GPS module GY-GPS6MV2 with the u-center program was also considered, which ensured a stable flight of the hexacopter along the waypoints in automatic mode. An experimental difference is shown in the use of the MS5611 and BMP180 barometers in the altitude hold mode for MegapirateNG 3.1.5R2 firmware.

Keywords: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M, u-center, MegapirateNG3.1.5R2, Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A, GY-521, GY-63 / GY-68, GY-273, GY-GPS6MV2, RobotDyn Mega2560 Pro.

Постановка задачи

В настоящее время большой интерес представляют беспилотные летающие роботы, построенные на базе мультироторов. Среди них наибольшее распространение имеют квадрокоптеры (4 мотора). В меньшей степени распространены гексакоптеры (6 мотора) и ортокоптеры (8 моторов), которые по сравнению с квадрокоптерами имеют большую подъемную силу и устойчивость. Например, при выходе из строя одного мотора они в состоянии дальше следовать по маршруту полета. Сейчас эти мультироторные беспилотные летательные аппараты используются для исследования местности, для проведения спасательных операций

МЧС, в работе пожарных служб, военной разведки. Они могут быть использованы для доставки небольших грузов на расстояние не более 5-7км со скоростью 30-40км/час. Применяются фотоаппаратами и операторами для съемок пейзажей, архитектуры, видеороликов. Целью работы является построение БПЛА, который способен выполнять следующие основные полетные режимы:

1. Stabilize — в этом режиме выполняется взлет и посадка. Задействованы гироскоп и акселерометр для удержания горизонта. Компас используется дополнительно для контроля и коррекции.

2. AltHold — режим удержания высоты. В данном режиме добавляется использование барометра, который способствует удержанию высоты по давлению воздуха.

3. Land — режим автоматической посадки в текущем положении. Используется барометр для контроля высоты.

4. Simple — режим, который позволяет «забыть» об ориентации БПЛА относительно пилота. В данном режиме самым важным является компас.

5. Loiter — режим удержания точки (по координате и высоте). Использует GPS. Режим хорошо подходит для фото и видеосъемки.

6. RTL (Return To Launch) — возврат домой, в точку взлета. Контроллер запоминает точку, где произведен Arming и позволяет вернуть БПЛА в эту точку.

7. Auto — полет по точкам миссии. Миссия должна создаваться вручную с помощью программного обеспечения наземной станции перед полетом.

8. Failsafe — режим спасения, который отправляет БПЛА домой (в точку, где произведен запуск двигателей - Arming). Например, в случае потери связи с наземной станцией.

БПЛА должен быть построен на базе мультиротора с 6-ю двигателями и рамой типоразмера F550 с расположением моторов X-FRAME.

В настоящее время разработано большое количество полетных контроллеров с программным обеспечением. Это Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8, PixHawk), контроллеры DJI (Naza-M Lite, DJI Naza-M V2, DJI Wookong), MicroKopter, Zero UAV X4/X6, AutoQuad, KK., XAircraft и др. Однако далеко не все они отвечают поставленной задаче.

Изложение основного материала работы

Для решения поставленной задачи необходим правильный выбор полетного контроллера совместно с программным обеспечением для его функционирования. В работе полетный контроллер построен на основе микроконтроллера Atmega2560 в составе платы RobotDyn Mega2560 Pro, 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, 3-х осевого компаса HMC5883L, барометра/высотометра MS5611/BMP180, GPS приемника u-blox NEO-6M. Плата RobotDyn Mega2560 Pro представляет собой уменьшенную версию Arduino Mega2560 R3 при аналогичных характеристиках, производительности и наличии всех портов, которые имеет Arduino Mega2560 R3 (рис.1).

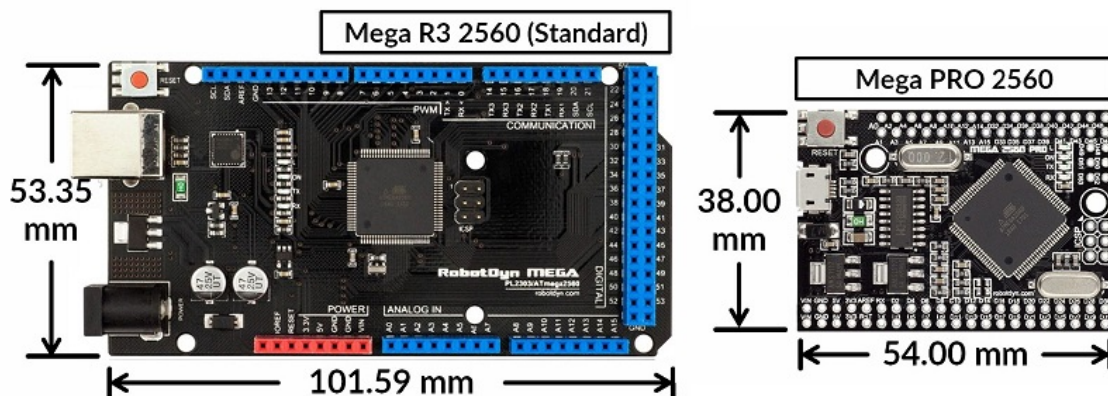


Рис.1. Сопоставление плат Arduino Mega2560 R3 и Mega2560 Pro

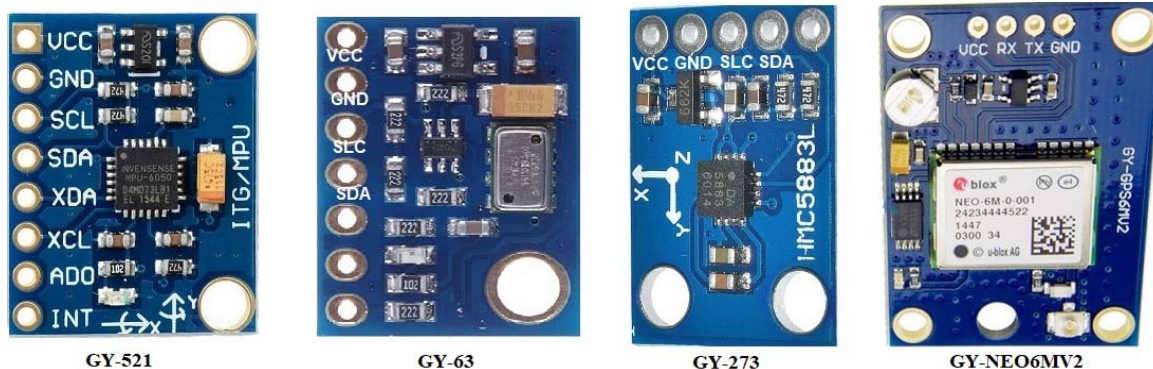


Рис.2. Датчики, используемые для построения полетного контроллера

Из рисунка 1 видно, что из-за значительно меньших размеров при сходных характеристиках для полетного контроллера целесообразно использовать меньшую по размеру плату Mega2560 Pro. Для сборки полетного контроллера необходимо выполнить подключение плат Mega2560 Pro, GY-521 - 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, GY-273 - 3-х осевого компаса HMC5883L, GY-63/GY-68 - барометра/высотометра MS5611/BMP180, модуля GY-NEO6MV2 - GPS приемника u-blox NEO-6M (рис.2).

На все рассматриваемые здесь датчики подается напряжение 5В. Подключение GY-521, GY-63/GY-68, GY-273 к Mega2560 Pro выполняется по шине I2C. Модуль GY-GPS6MV2(GY-NEO6MV2) подключается к второму последовательному интерфейсу RX2TX2. Датчик компаса должен находиться на расстоянии более 25 см от моторов и не менее 15 см выше плоскости, в которой расположены моторы. Экспериментально определено, что это приводит к отклонению показаний компаса при максимальной нагрузке моторов не более 2.0-2.5 градуса. Установка магнитометра в плоскости работы моторов приводит к отклонению до 25 градусов при отдалении от них на расстояние 25 см. На рисунке 3 показано подключение датчиков к плате Mega2560 Pro.

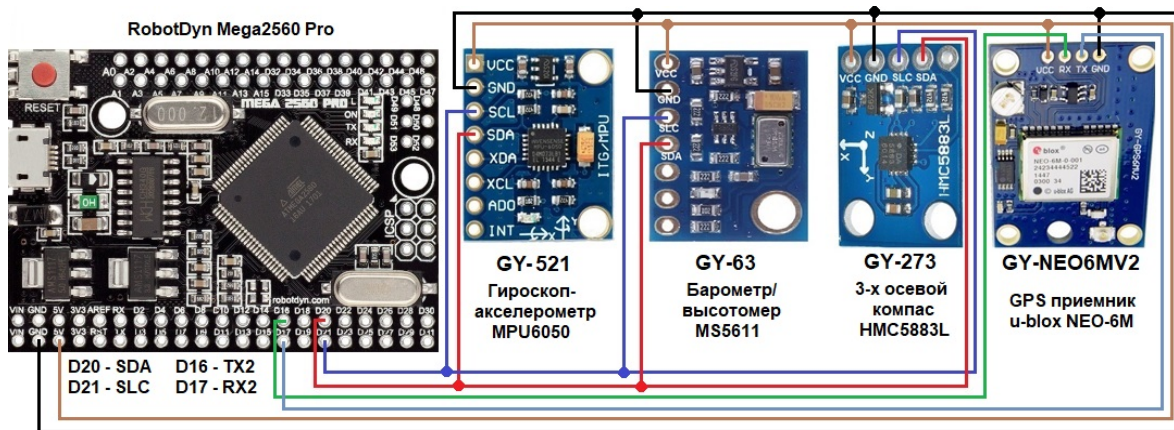


Рис.3. Подключение датчиков к микроконтроллеру

В случае использования более дешевого и менее точного барометрического датчика BMP180 (плата GY-68), подключение его выполняется аналогично GY-63

В работе управление гексакоптером выполняется с помощью шестиканальной аппаратуры FlySky FS-I6 и десятиканального приемника FS IA10. С целью расширения возможности управления аппаратура FlySky FS-I6 была перепрограммирована на 10 каналов[4]. В частности это позволило использовать два переключателя для установки шести режимов работы гексакоптера. На рисунке 4 показан приемник FS IA10 и его подключение к MEGA2560 PRO.

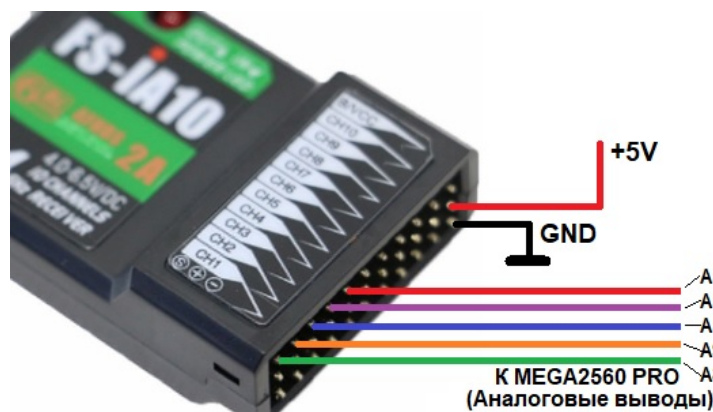


Рис.4. Подключение каналов приемника FS IA10 к аналоговым выводам Ардуино (MEGA2560 PRO)

Подключение моторов к полетному контроллеру выполняется через ESC регуляторы. В регуляторы встроены стабилизаторы напряжения на 5в, которые используются для отдельного питания полетного контроллера и приемника. На рисунке 5 показано подключение шестого мотора к полетному контроллеру через ESC.

К выводам D2, D3, D5, D6, D7, D8 подключаются моторы M1, M2, M3, M4, M5, M6 соответственно. В работе используется шесть моторов модели A2212/13T 1000V, каждый из которых с пропеллерами 10"x4.5" развивает тягу до 0.8кг. Моторы подключены через регуляторы моделей Hobbypower ESC-30A или Readytosky ESC-30A. Было замечено, что у этих регуляторов с их собственными прошивками наблюдаются срывы синхронизации при оборотах ниже средних. Поэтому при резком сбросе оборотов возможна остановка двигателя, что приведет к аварии коптера. Следует также отметить

ненадежную работу регуляторов Hobbypower ESC-30A и Readytosky ESC-30A китайского производителя, которые способны самопроизвольно сбрасывать настройки после программирования его через пульт управления БПЛА, а также они являются очень ненадежными в случае запуска при температуре ниже +15 град. Поэтому при подключении батареи перед запуском коптера необходимо внимательно прослушивание мелодии регулятора ESC о его готовности. Перечисленные выше замечания требуют выполнения перепрошивки перечисленных выше регуляторов. Опыт показал, что лучшей прошивкой для них при использовании преимущественно в коптере является прошивка Simonk [2]. На рисунке 6 представлено фото регулятора Hobbypower ESC-30A со снятой термоусадкой и показаны места для подключения программатора. Программирование ESC представлено в работе [3].



Рис. 5. Подключение шестого мотора к полетному контролеру

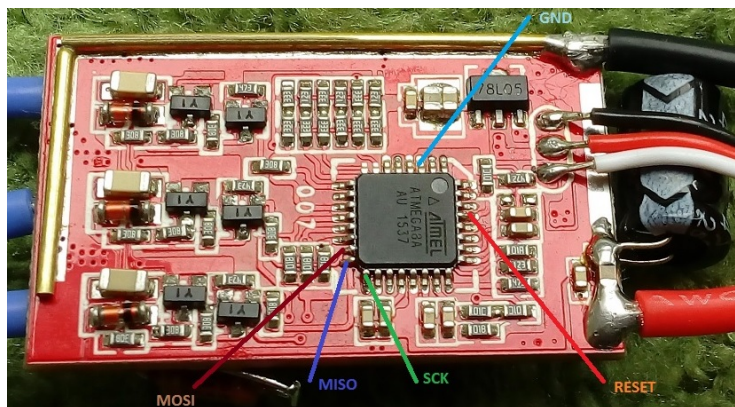


Рис.6. Фото регулятора Hobbypower ESC-30A со снятой термоусадкой

Расположение моторов на гексакоптере, их нумерация и направление вращения показаны на рисунке 7.

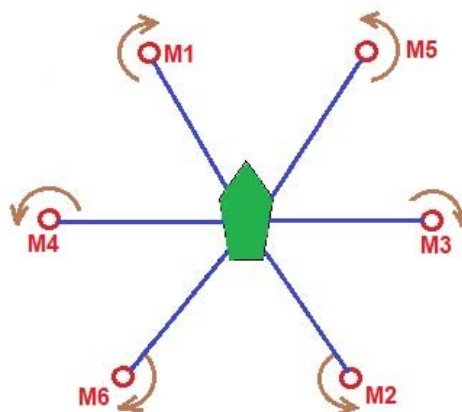


Рис.7. Нумерация моторов на гексакоптере

Для построения полноценного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) необходимо выполнить правильное конфигурирование GPS модуля. Благодаря этому модулю БПЛА может выполнять в автоматическом режиме полет по заданной траектории, удерживать заданную позицию, выполнять автоматический возврат в точку старта, выполнять заданные действия при достижении точки с заданными координатами и т.д. Настройка в работе рассмотрена для распространенного GPS модуля u-blox NEO-6M (модуль GY-GPSM6V2), который подключен к полетному контроллеру на базе Arduino Mega256 с прошивками MegaripateNG, Ardupilot, Multiwii. Согласно литературным источникам[6] возможны два

способа настройки модуля. Первый способ использует конфигурационный файл, который используется для прошивки flash памяти GPS модуля u-blox NEO-6M, а второй способ основан на конфигурировании этого модуля с помощью программы u-center [5] с последующим формированием конфигурационного файла. На рисунке 8 показан конфигурируемый модуль с подключенным к нему конвертером USB TO TTL на основе микросхемы CH340. Конвертер необходим для подключения GPS модуля к компьютеру.

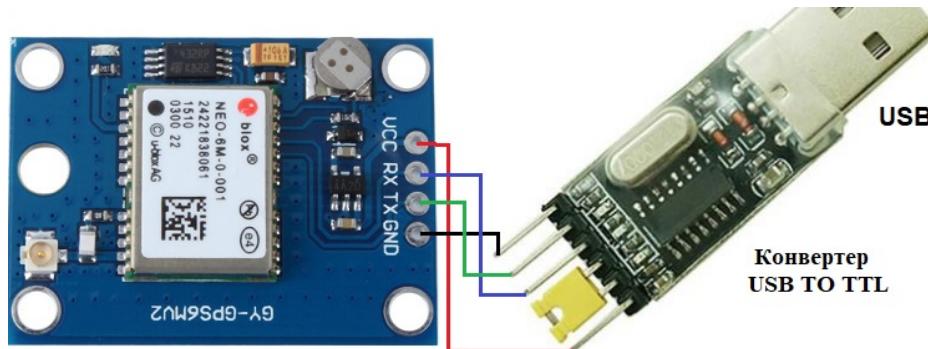


Рис.8. Конфигурируемый GPS модуль с помощью программы u-center

Для конфигурирования в программе U-center (ver. 8.21) необходимо перейти к Message view (View=>messages view). При дальнейшей работе с программой после каждого изменения параметров в окне необходимо в нижнем левом углу окна нажимать на кнопку Send (обведена красным на рисунке 9):

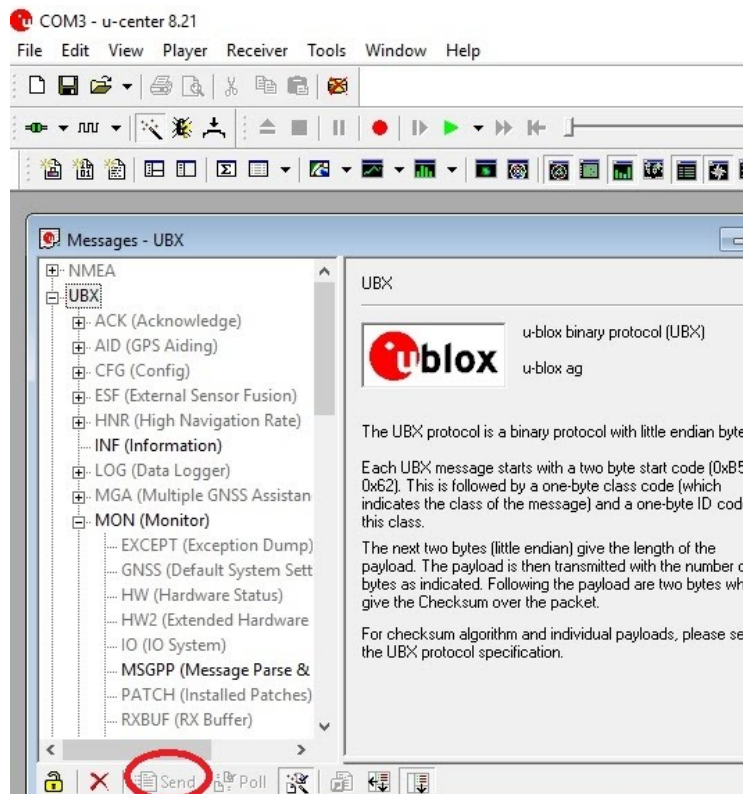


Рис. 9. Конфигурирование в программе u-center

Далее выполняются следующие действия:

1. Необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на слове NMEA в верхней части дерева и выбрать Disable Child Message. Слово NMEA должно поменять черный цвет на серый.
2. Выбрать UBX=>CFG=>NAV5 и установить модель динамической платформы для использования: 3 - Pedestrian, также установить Fix Mode 2 - 3D only. В этом случае приемник GPS начнет функционировать в трехмерной системе координат. Нажать внизу на кнопку Send.
3. UBX=>CFG=>PRT – установить USART1 на скорость 38400бит/с и установить все протоколы UBX+NMEA!! Нажать внизу на кнопку Send.
4. Изменить скорость порта программы U-center на 38400бит/с. Нажать внизу на кнопку Send.
5. UBX=>CFG=>RATE(Rates) – изменить период определения координат на 200мсек. Это позволит определять позицию с частотой 5Гц, т.е. 5 раз в секунду. Нажать внизу на кнопку Send.
6. UBX=>CFG=>SBAS: Disable (SBAS перевести в состояние выключено, так как это вызывает

серьезные случайные ошибки вычисления высоты). Нажать внизу на кнопку Send.

7. UBX=>NAV (но не UBX=>CFG=>NAV): здесь необходимо два раза кликнуть клавишей мыши на POSLLH, STATUS, VELNED. После этого их цвет должен измениться с серого на черный. Нажать внизу на кнопку Send.

8. UBX=>CFG=>CFG: выбрать save current config, нажать “send” в нижнем левом угле для постоянного сохранения настроек в приемнике.

9. Перейти в общем меню Receiver=> Action=> Save Config. Если этого не сделать приемник после следующего включения перейдет к первоначальным настройкам.

После этих настроек модуль GPS может быть использован на гексакоптере. На рисунке 10 показано фото собранного полетного контроллера, который установлен на гексакоптере с рамой F550.

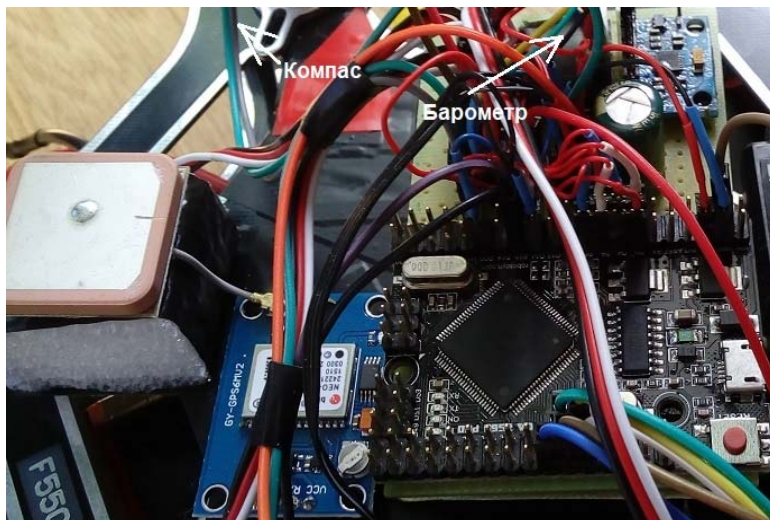


Рис.10. Фото полетного контроллера

Рассмотрим установку прошивки на полетный контроллер. В работе используется прошивка MegaPirateNG ver.3.1.5R2. Прошивка будет сконфигурирована в зависимости от используемых датчиков и рамы коптера. Прошивка сгенерирована на компьютере с Windows ver.10. В работе используется следующая последовательность действий. Вначале создается папка на диске D: для размещения прошивки, например 2018_megapirate. С адреса <https://github.com/MegaPirateNG/ardupilot-mpng/tree/mpng-3.1-beta> копируется прошивка в созданный каталог. После разархивирования автоматически создается каталог ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta в котором находится текст программ для компиляции в среде Arduino IDE ver. 1.0.3. С адреса <http://firmware.ardupilot.org/Tools/Arduino/> копируется измененный Arduino IDE (файл ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows.zip) под ардукоптер. Распаковываем этот файл в папке для прошивки. Так как этот измененный Arduino IDE пропатчен, кроме ардукоптера ничего компилироваться не будет. С адреса <http://firmware.ardupilot.org/Tools/Arduino/> копируется MHV_AVR_Tools_20131101.exe, что представляет собой набор инструментов, которые будут использовать Arduino IDE для сборки и заливки прошивки. Здесь находится новый компилятор GCC, программатор avrdude. Этот файл запускается как обычная программа. Из корня папки с текстом программ ардукоптера ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta копируется файл pde.jar в каталог ArduPilot-Arduino-1.0.3-windows/lib. Далее запускается Arduino IDE из папки ArduPilot-Arduino-1.0.3-windows. Устанавливается целевая платформа - компиляция для прошивки MegaPirateNG (рисунок 11).

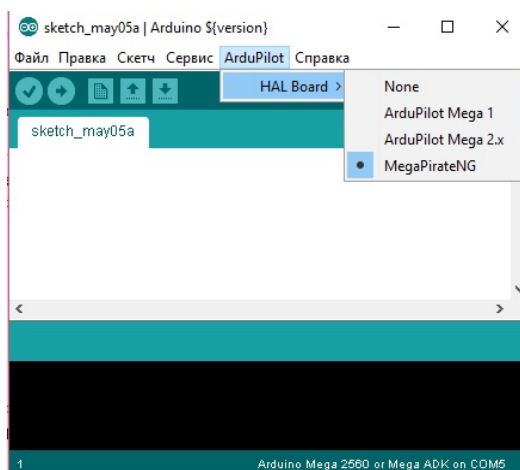


Рис.11. Установка целевой платформы компиляции

В меню файл->настройки устанавливаются опции "показывать подробный вывод при компиляции и загрузке", а также должна быть установлена опция "проверка кода после загрузки". Должна быть удалена опция "обновлять расширение скетчей на новое". Для копирования прошивки в микроконтроллер без ошибок целесообразно скопировать файл avrdude.conf из папки с установленным в Program files AVRtools, к примеру:

```
C:\Program Files (x86)\MHV AVR Tools\bin в папку:
C:\2018_megapirate\ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows\ -Arduino-1.0.3-
windows\hardware\tools\avr\etc
```

Далее необходимо запустить Arduino IDE из папки C:\2018_megapirate\ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows\ArduPilot -Arduino-1.0.3-windows. Открываем Arduino IDE. Выбираем скетч ардукоптера: Файл->Папка со скетчами->ArduCopter. Появится новое окно с исходниками, старое пустое окно закрываем. Проверяем тип контроллера в Arduino IDE: Сервис->Плата->Arduino Mega 2560 or Mega ADK. Проверяем в правом нижнем углу Arduino IDE надпись "Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM5", если порт не тот, или его нет, выставляем COM порт платы: Сервис->Последовательный порт.

Переходим к настройке прошивки. Для этого необходимо раскомментировать и изменять строки кода. Все файлы, которые открыты в Arduino IDE, можно менять здесь же. Другие файлы нужно изменять только сторонним редактором. Вначале редактируется файл APM_Config.h который открыт во второй вкладке. Выбираем плату:

```
#define MPNG_BOARD_TYPE CRIUS_V1
```

Вводим параметры GPS устройства:

```
// GPS port speed (Serial2) 38400 by default
#define SERIAL2_BAUD 38400
// GPS driver selection
#define GPS_PROTOCOL GPS_PROTOCOL_AUTO
```

При отсутствии GPS, можно поставить GPS_PROTOCOL_NONE. В этом случае гексакоптер не будет возвращаться домой и летать по точкам в автоматическом режиме.

Конфигурируем раму коптера - гексакоптер:

```
#define FRAME_CONFIG HEXA_FRAME
Запрещаем некоторые режимы работы прошивки:
#define CLI_ENABLED DISABLED // disable the CLI (command-line-
interface) to save 21K of flash space
#define LOGGING_ENABLED DISABLED // disable dataflash logging to save 11K
of flash space
#define OPTFLOW DISABLED // disable optical flow sensor to save 5K
of flash space
#define CONFIG_SONAR DISABLED // disable sonar to save 1k of flash
```

Представленные выше изменения справедливы в случае использования относительно дорогого и высокоточного барометра MS5611. Если используется барометр BMP180 необходимо дополнительно к вышеперечисленным изменениям сделать изменения в файле config.h в среде Arduino IDE, закомментировав две строки:

```
#if MPNG_BOARD_TYPE == HK_RED_MULTIWII_PRO || MPNG_BOARD_TYPE == BLACK_VORTEX
    # define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_ITG3200
    # define CONFIG_BARO AP_BARO_BMP085
#elif MPNG_BOARD_TYPE == PARIS_V5_OSD
    # define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_ITG3200
    # define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611
    # define CONFIG_MS5611_SERIAL AP_BARO_MS5611_I2C
#else
    # define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_MPU6000_I2C
// # define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611
// # define CONFIG_MS5611_SERIAL AP_BARO_MS5611_I2C
#endif
```

По умолчанию будет использован барометр BMP085 (устаревший аналог BMP180). Доступ к файлу config.h можно получить из верхней строки среды Arduino IDE.

Далее настраиваются каналы управления с пульта управления-приемника. Для этого необходим файл ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta\libraries\AP_HAL_MPNG\RCInput_MPNG.cpp. Редактирование выполняется только из стороннего редактора. Например NotePad++. Если приёмник выдаёт PPM сигнал, то редактирование не выполняется. Если приёмник выдаёт PWM сигнал, то выполняется следующее:

```
меняется строка файла RCInput_MPNG.cpp
#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_ENABLED
на
#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_DISABLED
```

После перечисленных выше изменений выполняется компиляция прошивки с последующим копированием ее в микроконтроллер.

Дальнейшая настройка прошивки полетного контроллера выполняется с помощью программы Mission Planner, например версии 3.1.5[7]. Производится калибровка акселерометра, компаса,

радиоаппаратуры[8,9]. Обязательно настраивается Failsafe, иначе при потере связи с аппаратурой управления коптер улетает в соответствии с сохранившимися параметрами радиоприемника. На рисунке 12 представлен маршрут полета гексакоптера в автоматическом режиме по путевым точкам, сформированный в Mission Planner.

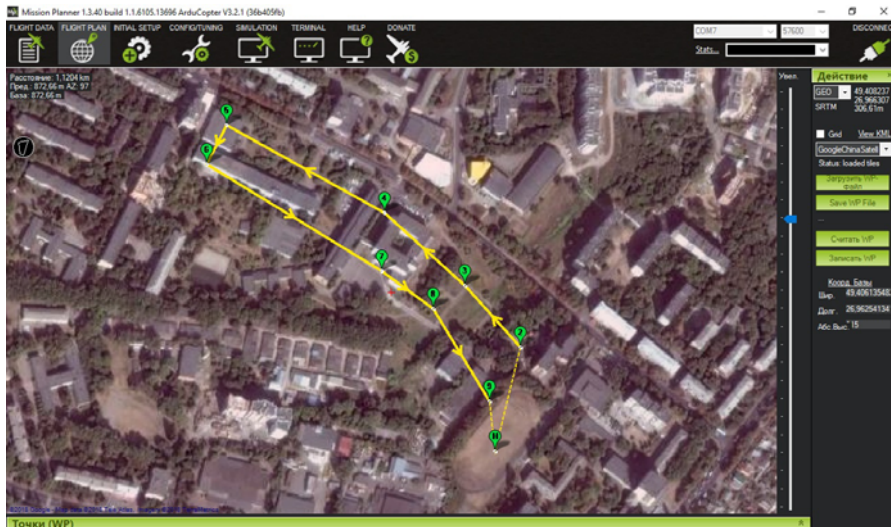


Рис.12. Маршрут полета гексакоптера в автоматическом режиме.

На рисунке 13 представлено фото собранного гексакоптера.



Рис.13. Фото спроектированного гексакоптера на базе Arduino mega2560

Выводы

1. Практически показана возможность построения БПЛА, который способен выполнять заданные в работе полетные режимы.
2. Показана возможность использования более компактной платы RobotDyn Mega2560 Pro вместо Arduino Mega2560 R3 для построения полетного контроллера.
3. Представлена конфигурация модуля GY-GPSM6V2 в программе u-center для корректного полета гексакоптера по путевым точкам.
4. Показана необходимость перепрошивки регуляторов моторов ESC прошивкой Simonk для устойчивой работы гексакоптера.
5. Рассмотрена возможность использования прошивки MegaripateNG 3.1.5R2 и ее корректировка при использовании разных датчиков в полетном контроллере (на примере барометров MS5611 и BMP180).
6. Экспериментально показана не существенная разница в использовании барометров MS5611 и BMP180 в режиме удержания высоты для прошивки megaripateNG 3.1.5R2.

Литература

1. Ardupilot. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/>, 2018

2. Simon Kirby. TGY -- Open Source Firmware for ATmega-based Brushless ESCs. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/sim-/tgy>, 2017
3. Мясищев А.А. Перепрошивка регуляторов Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A и Simonk 30A прошивкой Simonk. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg, 2017.
4. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->, 2017.
5. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>, 2018
6. Мясищев А.А. Два способа настройки GPS модуля u-blox NEO-6M для полетного контроллера БПЛА на базе Arduino с прошивкой MegapirateNG. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/config_gps
7. Mission Planner Home. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/planner/>, 2018.
8. Полетный контроллер ArduPilot Mega (APM 2.6). [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru>, 2017.
9. Подключение, прошивка и настройка полетного контроллера APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=rqCS6YDE7KI&t=1645s>, 2014.
10. Калибровка регуляторов скорости моторов ESC. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/esc-motor.html>, 2016.
11. Полётный контроллер. [Electronic resource]. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полётный_контроллер, 2018
12. Planning a Mission with Waypoints and Events. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>, 2016
13. Autopilot Hardware Options. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>, 2016
14. Mega2560 Pro Mini. [Electronic resource]. -Mode of access: http://wiki.epalsite.com/index.php?title=Mega2560_Pro_Mini, 2015

References

1. Ardupilot. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/>. 2018
2. Simon Kirby. TGY -- Open Source Firmware for ATmega-based Brushless ESCs. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/sim-/tgy>. 2017
3. Myasishchev A.A. Pereproshivka regulyatorov Hobbypower ESC-30A. Readytosky ESC-30A i Simonk 30A proshivkoy Simonk. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg. 2017.
4. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->. 2017.
5. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>. 2018
6. Myasishchev A.A. Dva sposoba nastroyki GPS modulya u-blox NEO-6M dlya poletnogo kontrollera BPLA na baze Arduino s proshivkoy MegapirateNG. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/config_gps
7. Mission Planner Home. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/planner/>. 2018.
8. Poletnyy kontrollер ArduPilot Mega (APM 2.6). [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru>. 2017.
9. Podklyucheniye. proshivka i nastroyka poletnogo kontrollera APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=rqCS6YDE7KI&t=1645s>. 2014.
10. Kalibrovka regulyatorov skorosti motorov ESC. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/esc-motor.html>. 2016.
11. Poletnyy kontrollер. [Electronic resource]. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/Poletnyy_kontrollер. 2018
12. Planning a Mission with Waypoints and Events. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>. 2016
13. Autopilot Hardware Options. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>. 2016
14. Mega2560 Pro Mini. [Electronic resource]. -Mode of access: http://wiki.epalsite.com/index.php?title=Mega2560_Pro_Mini. 2015.

Рецензія/Peer review : 14.04.2018 р. Надрукована/Printed :20.05.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією