

УДК 004.681

А.Ю. Михацкий,
кандидат технических наук

НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЕ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ И ДОСТАВКА ГРУЗОВ РОТОРНЫМИ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ ПЛАТФОРМАМИ С РАДИОУПРАВЛЕНИЕМ

Розглянуто побудову та принципи керування маломірними літальними апаратами типу "роторна гіростабілізована платформа", наведено їх можливості з транспортування предметів через огорожі територій, що охороняються.

Ключові слова: роторний літальний апарат, гіростабілізація, твердотільні гіроскопи, фільтрація Калмана, радіокерування, доставка грузів.

Рассмотрены устройство и принципы управления маломерными летательными аппаратами типа "роторная гиросtabilизированная платформа", приведены их возможности по транспортировке грузов через ограждения охраняемых территорий.

Ключевые слова: роторный летательный аппарат, гиросtabilизация полета, твердотельные гироскопы, фильтрация Калмана, радиоуправление, доставка грузов.

The design and control of small size aircrafts such as "rotor gyrostabilized platform" are considered, their possibilities for the transporting of cargo through the barriers of the guarded territories are stated.

Keywords: quadrotor aircraft, hyrostabilisation, solid-state hyroscopes, Calman filtration, radio-controlled aircrafts, delivery of cargo.

Появление роторных гиросtabilизированных платформ (РГП) на рынке радиоуправляемых моделей обусловлено достижениями микроэлектронных технологий: появлением микросхем с подвижными частями – твердотельных механических датчиков, увеличением быстродействия микроконтроллеров для обработки и выдачи команд управления, и доведением до 1300 Вт·Ч/кГ энергоемкости литий-полимерных аккумуляторов. Первые сообщения о реализации РГП в портативном (авиамодельном) исполнении появились на форумах немецких моделлистов в конце 2006 года как результат проекта, анонсированного немецкими студентами в 2004 году [1], с последующим развитием в самостоятельное направление миниатюрной авиатехники [2].

В настоящей статье представлены устройство и принципы управления РГП, дана оценка грузоподъемности этих летательных аппаратов и обозначены направления по противодействию несанкционированных применений РГП, в том числе транспортировки грузов через ограждения охраняемых территорий.

В состав РГП входят крестовидная рама, на концах которой находятся четыре тяговых электродвигателя с горизонтальными роторами, а в центре – плата управления с инерциальной системой стабилизации и радиоприемником команд управления. Питание летательного аппарата осуществляется от литий-ионных аккумуляторов с энергоемкостью до 170 Вт·ч/кГ. Для увеличения грузоподъемности количество роторов увеличивают до шести или восьми, с соответствующим изменением алгоритма управления тягой каждого ротора (рис.1).



Рис. 1. Роторные гиросtabilизированные платформы

Управление положением РГП в полете обеспечивается изменением тяги двигателей по сигналам трех датчиков углового ускорения: по крену, курсу и тангажу, а также датчика линейного ускорения. В отличие от классических приборов для инерциальной навигации, подвижные части твердотельных гироскопов и акселерометров выполнены травлением кремниевой подложки и имеют размеры, сопоставимые с размерами интегральных микросхем. Платы управления (рис. 2) имеют размеры порядка 50x50 мм и включают стабилизатор питания, контроллер, три гироскопа, масштабирующий операционный усилитель каналов крена и тангажа, акселерометр и пассивные элементы. Команды на управление бесколлекторными двигателями подаются от контроллера по шине 12^С через платы управления – регуляторы скорости вращения.

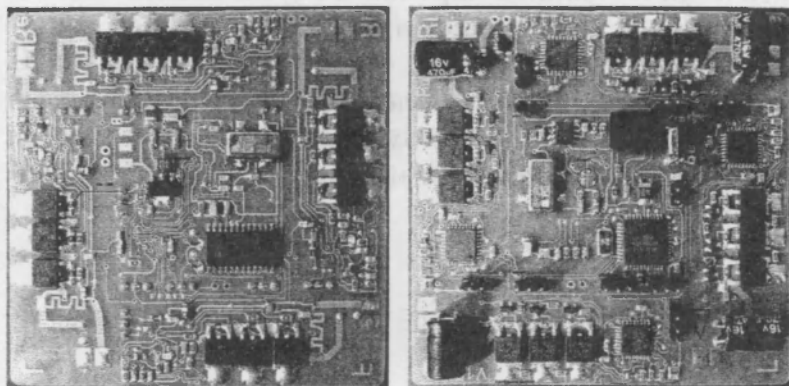


Рис. 2. Плата управления 50x50 мм с контроллером и твердотельными датчиками ускорений

Стабилизация по каждому из каналов управления (тангаж, крен, курс, высота) обеспечивается поддержанием нулевого выходного сигнала соответствующего датчика и выполняется цифровыми регуляторами в составе программного обеспечения контроллера. Алгоритм обработки сигналов датчиков основан на фильтрации Калмана [2] (получение точных, непрерывно обновляемых оценок положения и скорости объекта по результатам неточных измерений его местоположения).

Управление полетом при поступлении внешних команд (по радиоканалу) заключается в изменении скорости вращения винтов, то есть тяги. На рис.3 изображены схемы изменения тяги, которые вызывают перемещение вправо, и вращение по часовой стрелке. В первом случае сигнал управления вводится в контур управления креном и устанавливает наклонную стабилизацию положения аппарата, во втором случае сигнал управления вводится в контур стабилизации курса и устанавливает разную скорость вращения двигателей с противоположным направлением вращения. Для движения вперед-назад сигнал управления вводится в контур стабилизации тангажа. Перемещение вверх-вниз осуществляется одновременным изменением тяги всех двигателей путем подачи сигнала управления в контур стабилизации высоты.

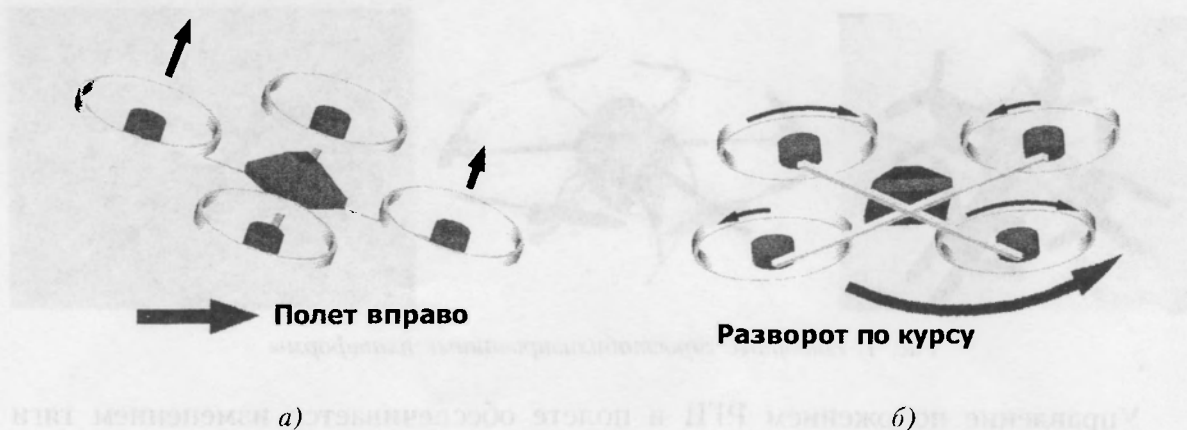


Рис. 3. Управление полетом роторной гиросtabilизированной платформы

- а) движение вправо, для крена изменяется тяга двух роторов, после крена тяга выравнивается и стабилизируется наклонное положение;
- б) вращение платформы за счет изменения скорости вращения противоположенных роторов, после завершения разворота скорости вращения выравниваются.

Управление РГП в полете может осуществляться визуально по радиоканалу с использованием серийно выпускаемых комплектов пропорционального радиоуправления [3], либо автоматически по данным бортового спутникового навигатора с барометрическим высотомером. При управлении по радиоканалу достаточно четырехкомандного комплекта (высота, курс, крен, тангаж) (рис. 4). С бортовым спутниковым навигатором при времени полета 10 минут со скоростью 35 км/час аппарат автоматически пролетает 6 километров без вмешательства оператора, а в конце полета может быть перехвачен на визуальное радиоуправление для контролируемой посадки.

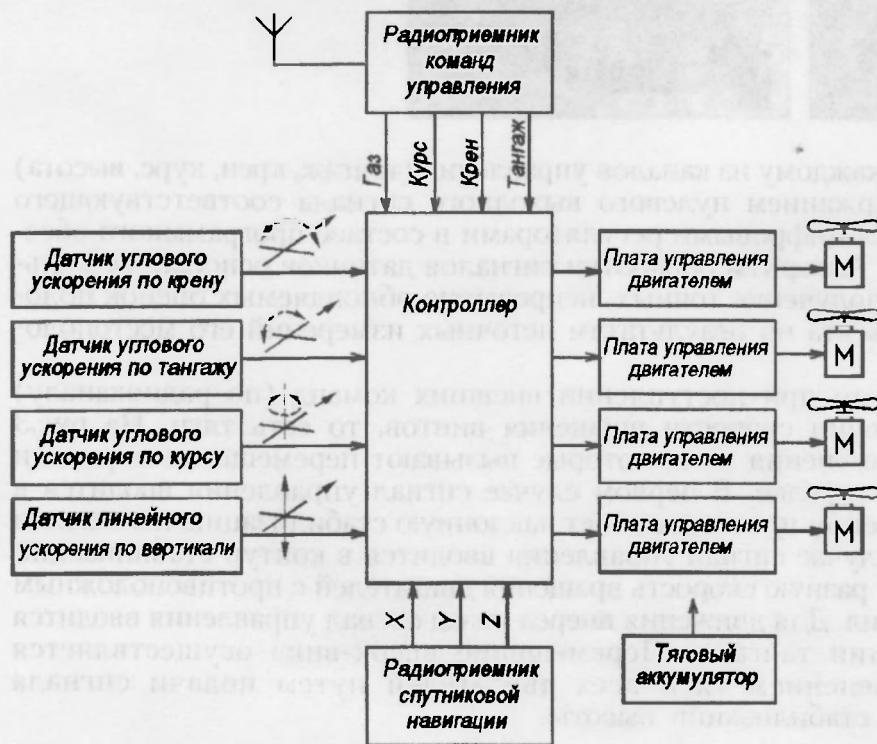


Рис. 4. Структурная схема стабилизации и управления полетом РГП.

Грузоподъемность РГП определяется суммарной мощностью всех двигателей. Нарращивание грузоподъемности выполняется при увеличении количества роторов до шести или восьми или диаметра роторов, с пропорциональным увеличением электрической емкости аккумуляторов. Другим способом наращивания грузоподъемности является сдваивание роторов. Типовая грузоподъемность четырехроторной РГП серийного производства GAUI 330X при полетном времени 12–15 минут составляет 0,5 кг, а при увеличении числа роторов или их площади достигает 1...1,5 кг (рис. 5).

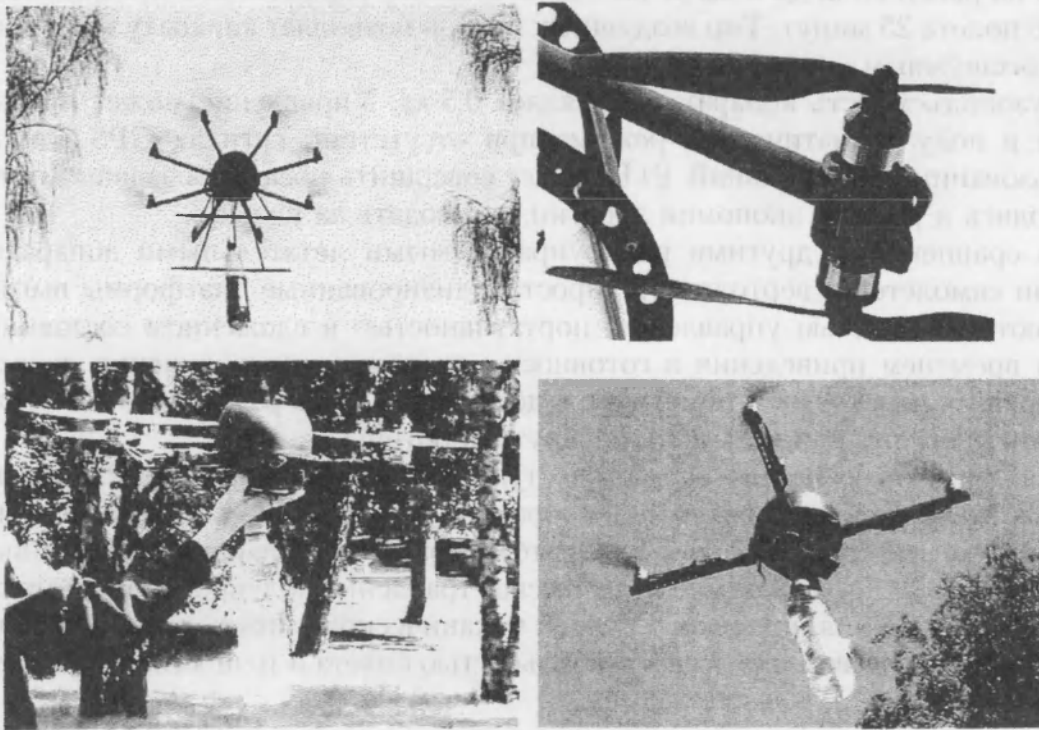


Рис. 5. РГП повышенной грузоподъемности – до 1,5 кг

Качественные показатели управления полетом (стабильность, случайные раскачивания, четкость отработки команд) определяются типом используемых микросхем – твердотельных датчиков положения, и уровнем программного обеспечения (порядком фильтра Калмана). Быстродействие системы управления в первую очередь зависит от способности двигателей быстро (за доли секунды) изменять скорость вращения (тягу). Рекордные полеты демонстрируют возможность аппарата с разгона наклониться для пролета через приоткрытую дверь (рис. 6), прижаться к стене, затем вылететь обратно таким же образом [4].

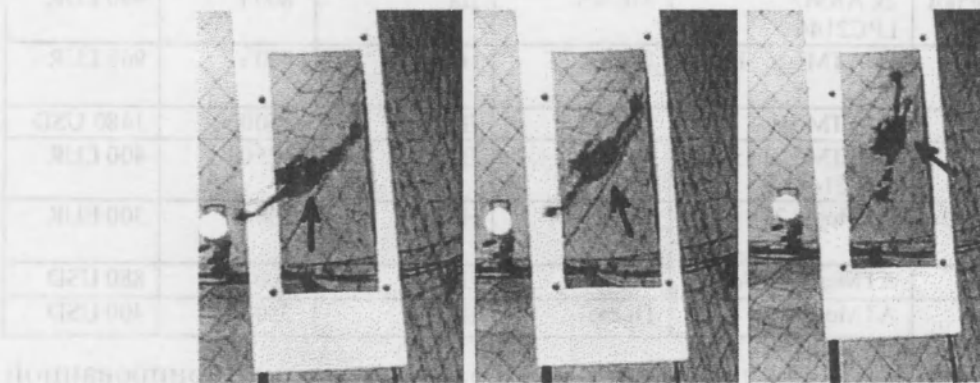


Рис. 6. Испытания РГП с повышенной маневренностью – полет с наклоном

Унікальні особливості польоту РГП не можуть залишатися без застосування в спеціальних завданнях, метою яких є повітряне фото-, відеонаблюдення і доставка вантажів через огорожені території з обмеженим доступом.

Наприклад, в червні 2010 г. приватною російською компанією ZALA AERO офіційно представлено шестироторний безпілотний апарат вертикального взльету ZALA 421-21, призначений для дистанційного контролю з висоти 10–1000 м на відстані до 5 км від наземної станції управління з тривалістю польоту 25 хвилин. Тип повітряних гвинтів дозволяє апарату бути достатньо безшумним.

Грузопідйомність апарату становить 0,5 кг. Керування може виконуватися в напівавтоматичному режимі при відсутності сигналу GPS або при використанні всередині будівель. РГП може виконати посадку в заданому місці і, перебуваючи в режимі економії енергії, стежити за ціллю.

У порівнянні з іншими радіокерованими літальними апаратами (моделі літаків і вертолітів), гіростабілізовані платформи вигідно відрізняються точністю управління, портативністю в складеному стані і малим часом приведення в готовність: операція приєднання лопатей або несучих плоскостей відсутня – достатньо лише розгорнути складені фрагменти хрестовидної рами і розкрутити ротори.

У таблиці 1 перераховані зразки доступних в відкритій торгівлі РГП різних виробників, постачані в зібраному і налагодженому вигляді, в тому числі з керуванними кронштейнами для фотоапаратури. Апарати з гіроскопами за технологією MEMS (об'ємне хімічне травлення напівпровідникових підложок для отримання рухомих частин механічного датчика в інтегральному виконанні) відрізняються більшою стабільністю польоту і точністю управління.

Таблиця 1

Роторні гіростабілізовані платформи, доступні на ринку

№	Виробник	Тип контролера	Тип гіроскопів	Наявність модуля супутникової навігації	Маса корисного навантаження	Ціна
1	AeroQuad	Arduino Mega	MEMS	Ні	300 г	350 EUR
2	DragonCopter	STM32F	MEMS	Так	420 г	540 EUR
3	AscTec AutoPilot	2x ARM7 LPC2146	MEMS	Так	800 г	990 EUR
4	AscTec FunPilot	1x ATmega, 1x LPC	П'єзо	Ні	600 г	960 EUR
5	Draganflyer X6	2x ATmega	MEMS	Так	1500 г	1480 USD
6	Mikrokopter	2x ATmega, 1x LPC2148	MEMS	Так	1250 г	400 EUR
7	Quadrocopter 450 ARF	ATmega128	П'єзо	Ні	500 г	300 EUR
8	RussoKopter	ATmega816AU	MEMS	Так	900 г	880 USD
9	GAUI 330X-S	ATmega88	П'єзо	Ні	350 г	400 USD

Розглядаючи РГП як потенційне засіб несанкціонованої доставки вантажів масою до 1...1,5 кг, слід звернути увагу на те, що

техніка потребує визначеного рівня підготовки операторів і не може використовуватися без радіоуправління або приєднання супутникових радіосигналів. Тому гарантованим способом захисту (не вважаючи проволочних і мережних захищених) є локальне зашумлення на частотах каналів радіоуправління і супутникової навігації при появі ознак радіоуправління, в тому числі управління підвісом відеокамери або скидання вантажу. Цей спосіб потребує постійного контролю радіообстановки на охороняємій території в усіх діапазонах командних радіолиній [6]. Додатковим ознакою прольоту РГП на висоті менше 50 метрів є специфічний шум роторів, ідентифікація якого може виконуватися автоматично за спектральним складом.

Висновок зробимо, що в даний час спеціалізована апаратура радіопротиводії управління літальними апаратами класу "моделі" відсутня, це напрямку потребує подальших спеціальних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Klaus-Michael Doth, Daniel Gurdan. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informations-technik. – Technische Universität München, München [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.jugend-forscht.de/index.php/projectsearch/detail/6038.1389>
2. Mikrocopter Theory and Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mikro-koetter.de/ucwiki/en/MikroKopter>.
3. Балакришнан А.В. Теорія фільтрації Калмана / М. : Мир, 1988. – 86 с.
4. Михацький А.Ю. Несанкціонований зйом відеоінформації маломерними літальними апаратами / А.Ю. Михацький // Сучасний захист інформації. – ДУІКТ, 2010. – С. 27–30.
5. Aggressive Maneuvers for Autonomous Quadrotor. Micro Autonomous Systems Technologies/GRASP Lab, University of Pennsylvania [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.youtube.com/user/TheDmel#p/u/7/MvRTALJp8DM>.
6. Михацький А.Ю. Протидія несанкціонованому зйому відеоінформації маломерними літальними апаратами / А.Ю. Михацький // Науково-практичний журнал "Сучасна спеціальна техніка". – 2010. – № 3(22). – С. 81–85.

Отримано 07.04.2011