

«Автопилот БПЛА с Инерциальной Интегрированной Системой — основа безопасной эксплуатации беспилотных комплексов»

д.т.н., профессор, Салычев Олег Степанович,

Главный конструктор ООО «ТеКнол»

117556 Москва, Варшавское ш., д. 79 к. 2

Тел. (495) 225-5981

www.teknol.ru

Задачи, решаемые в настоящее время с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) требуют их полноценного приборного оснащения. Современный БЛА по уровню технического оснащения зачастую превосходит пилотируемый самолет. Безусловно, успех миссии БЛА зависит от бесперебойной работы всех бортовых систем. Почему же мы уделяем такое внимание именно бортовому комплексу управления? Потому, что автономность, независимость от человеческого фактора и устойчивость к внешним воздействиям являются решающими факторами успешности выполнения миссий БЛА. Наличие полноценной системы автоматического управления — этим по существу и отличается Беспилотный Летательный Аппарат (именно, с Большой буквы) от дистанционно управляемой модели. Если посмотреть любой номер журнала “Unmanned systems”, издаваемого Международной Ассоциацией Беспилотных Систем (AUVSI), то более 60% публикуемой рекламы в той или иной степени относится к системам управления и датчикам движения. Почему так? А потому, что любая из подсистем БЛА (наблюдение, связь, электропитание, энергообеспечение) является производной, заимствованной из смежной отрасли техники, в той или иной степени адаптированной к применению. Если вес полезной нагрузки БЛА 10-15 килограммов, то, можно установить курсовертикаль весом 1,5-2 килограмма (хотя, более целесообразно было бы взять дополнительно топлива или аппаратуры). А вот для самолета, взлетный вес которого не превосходит 3,5-4 кг, создатели систем БЛА исхитряются, кто как может.

Что же мы понимаем под термином «полноценный автопилот БЛА»? В основе работы любой САУ лежит цепочка:

- измерение состояния системы
- сравнение текущего состояния с желаемым
- выработка воздействия для компенсации отклонения текущего состояния от желаемого.

Инерциальная система БЛА

Ключевым моментом в упомянутой цепочке является «измерение состояния системы». То есть координат местоположения, скорости, высоты, вертикальной скорости, углов ориентации, а также угловых скоростей и ускорений. В бортовом комплексе навигации и управления, разработанном и производимым ООО «ТеКнол», функцию измерения состояния системы выполняет малогабаритная инерциальная интегрированная система (МИНС). Имея в своем составе триады инерциальных датчиков (микромеханических гироскопов и акселерометров), а также барометрический высотомер и трехосный магнитометр, и комплексируя данные этих датчиков с данными приемника GPS, система вырабатывает полное навигационное решение по координатам и углам ориентации. МИНС разработки ТеКнола – это полная Инерциальная система, в которой реализован алгоритм бесплатформенной ИНС, интегрированной с приемником

системы спутниковой навигации. Именно в этой системе содержится «секрет» работы всего комплекса управления БЛА. По сути, одновременно работают три навигационных системы в одном вычислителе по одним и тем же данным. Мы их называем «платформами». Каждая из платформ реализует свои принципы управления, имея свои «правильные» частоты (низкие или высокие). Мастер-фильтр выбирает оптимальное решение с любой из трех платформ в зависимости от характера движения. Этим обеспечивается устойчивость системы не только в прямолинейном движении, но и при виражах, некоординированных разворотах, боковом порывистом ветре. Система никогда не теряет горизонт, чем обеспечиваются правильные реакции автопилота на внешние возмущения и адекватное распределение воздействий между органами управления БЛА. Компания провела серию испытаний МИНС. Точностные характеристики МИНС, аттестованы в ЛИИ им. М.М.Громова (Таблица 1).

Таблица 1: Точностные характеристики МИНС

	ИНС/СНС режим	Автономный инерциальный режим
Координаты (комплексированное решение)	6 м	500 м (5 мин. после пропадания GPS)
Высота	2 м	6 м
Путевая скорость	0,2 м/с	5 м/с (5 мин. после пропадания GPS)
Вертикальная скорость	0,25 м/с	0,3 м/с
Углы ориентации (крен, тангаж)		
Прямолинейный полет *	0,2°...0,3°	0,3°...0,4° (неограниченное время)
Маневрирование **	0,3°...0,5°	0,5°...0,7° (неограниченное время)
Высокоманевренный полет ***	1,3°	1,5° (неограниченное время)
Курс (путевой угол) ****	0,4°	3,0° (10 мин. после пропадания GPS)

Параметры указаны в как величина среднеквадратической ошибки (1 σ), определенной в сравнении с данными эталонного измерителя по результатам летных испытаний.

*) прямолинейный полет определяется как отсутствие намеренных маневров по курсу, крену и тангажу.

**) углы крена и тангажа не превышают 45°.

***) углы крена и тангажа в диапазоне от 45° до 75°.

****) автономное (без СНС) определение курса возможно при проведении компенсации магнитной девиации.

Бортовой комплекс управления БЛА

В состав Бортового Комплекса Навигации и Управления БЛА входят три составных элемента (Рисунок 1).

1. Интегрированная Навигационная Система;
2. Приемник Спутниковой Навигационной системы
3. Модуль автопилота.

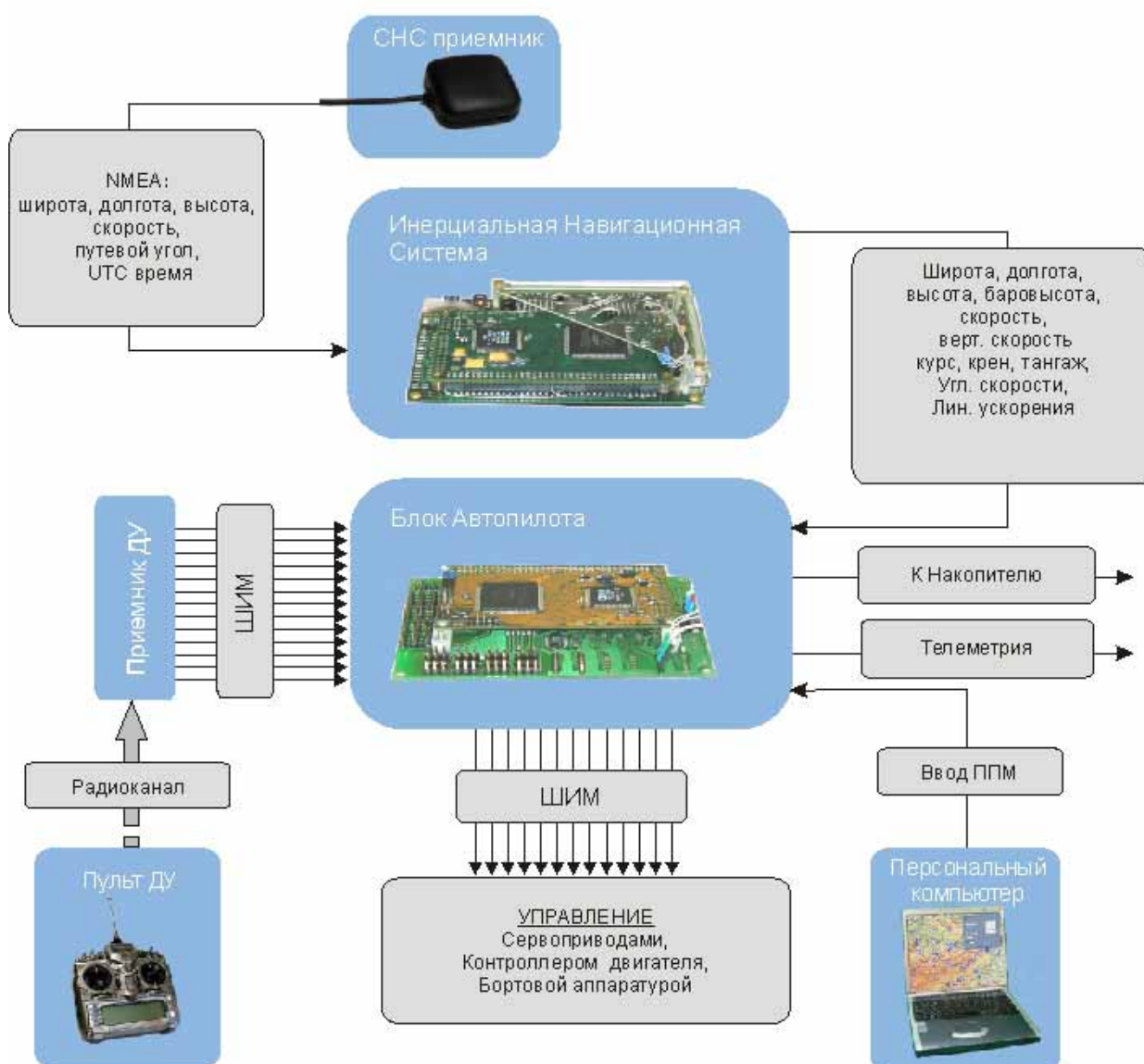


Рисунок 1: Бортовой комплекс Навигации и Управления БЛА

Модуль автопилота осуществляет выработку управляющих команд в виде ШИМ (широотно-импульсно модулированных) сигналов, согласно законам управления, заложенным в его вычислитель. Помимо управления БЛА, автопилот программируется на управление бортовой аппаратурой:

- стабилизация видеокамеры,
- синхронизированное по времени и координатам срабатывание затвора фотоаппарата,
- выпуск парашюта,
- сброс груза или отбор проб в заданной точке

и другие функции. В память автопилота может быть занесено до 255 поворотных пунктов маршрута. Каждая точка характеризуется координатами, высотой прохождения и скоростью полета.

В полете автопилот также обеспечивает выдачу в канал передачи телеметрической информации для слежения за полетом БЛА (Рисунок 2).

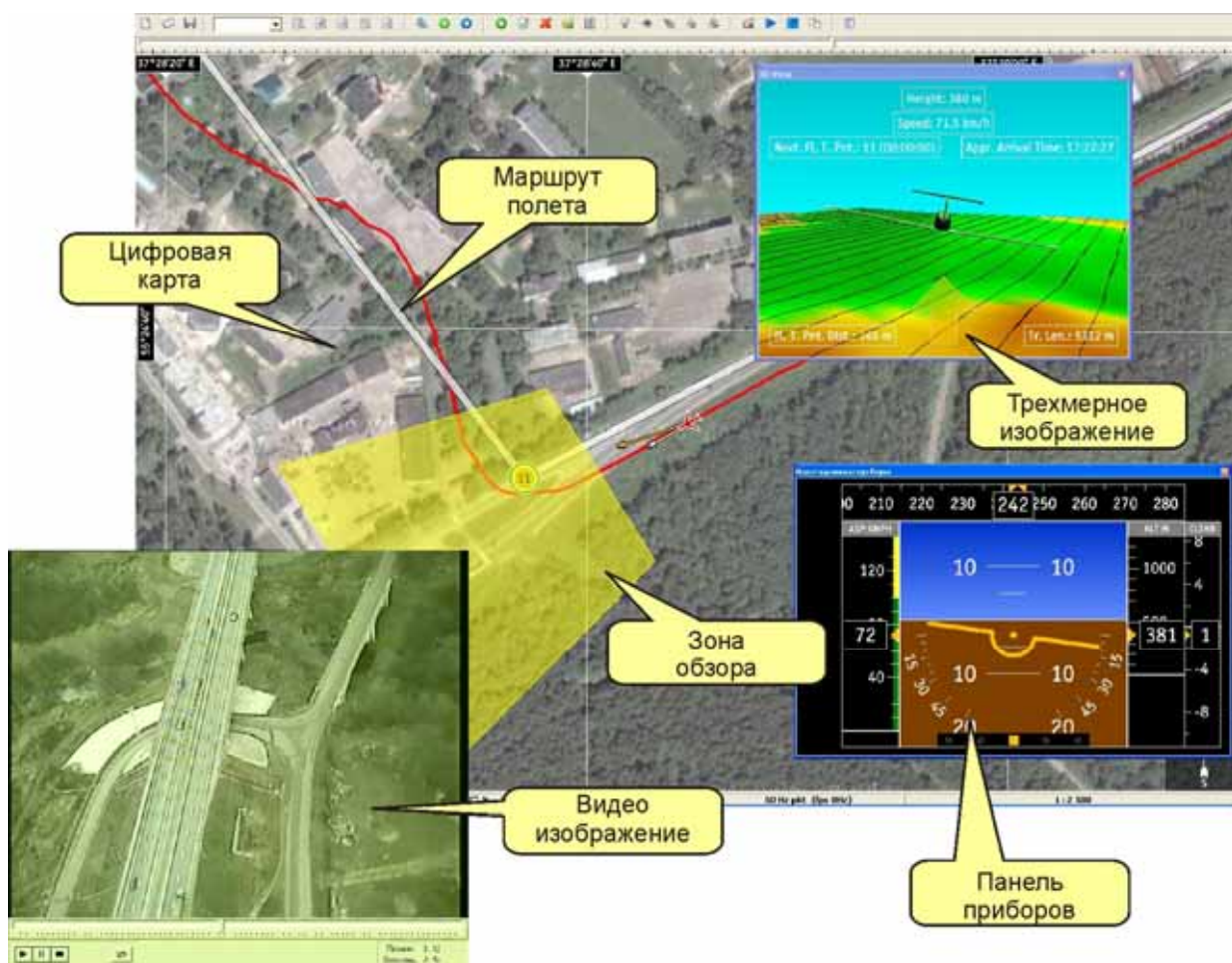


Рисунок 2: Экран отображения телеметрической информации

А что же тогда представляет собой «квазиавтопилот»? Многие фирмы сейчас декларируют, что обеспечивают своим системам автоматический полет с помощью «самого маленького в мире автопилота». Наиболее показательный пример такого решения — продукция канадской фирмы “MicroPilot”. Для формирования сигналов управления здесь используют «сырые» данные — сигналы от гироскопов и акселерометров. Такое решение по определению не является робастным (устойчивым к внешним воздействиям и чувствительным к условиям полета) и в той или иной степени работоспособно только при полете в стабильной атмосфере. Любое существенное внешнее возмущение (порыв ветра, восходящий поток или воздушная яма) чревато потерей ориентации летательного аппарата и аварией. Поэтому все, кто когда-либо сталкивался с подобной продукцией, рано или поздно понимали ограниченность таких автопилотов, которые никак не могут быть использованы в коммерческих серийных системах БЛА.

Более ответственные разработчики понимая, что необходимо настоящее навигационное решение, пытаются реализовать навигационный алгоритм с применением известных подходов Калмановской фильтрации.

К сожалению, и здесь не все так просто. Калмановская фильтрация — это всего лишь вспомогательный математический аппарат, а не решение задачи. Поэтому невозможно создать робастную устойчивую систему, просто перенося на MEMS интегрированные системы стандартный математический аппарат. Требуется тонкая и точная настройка на конкретное приложение. В данном случае — для маневренного объекта крылатой схемы. В нашей системе реализован более чем 15-ти летний опыт разработки инерциальных систем и алгоритмов комплексирования ИНС и GPS. К слову сказать, в мире только несколько стран обладают ноу-хау инерциальных систем. Это

Россия, США, Германия, Франция и Великобритания. За этим ноу-хау стоят научные, конструкторские и технологические школы, и по меньшей мере наивно думать, что такую систему можно разработать и изготовить «на коленке» в институтской лаборатории или в ангаре аэродрома. Дилетантский подход здесь, как и во всех прочих случаях, чреват в конечном счете финансовыми потерями и потерей времени.

Почему столь важен автоматический полет применительно к задачам, решаемым предприятиями топливно-энергетического комплекса? Понятно, что сам воздушный мониторинг не имеет альтернативы. Контроль за состоянием трубопроводов и других объектов, задачи охраны, мониторинга и видеонаблюдения лучше всего решаются с применением летательных аппаратов. А вот снижение издержек, обеспечение регулярности полетов, автоматизация сбора и обработки информации — здесь, совершенно справедливо уделяется внимание беспилотной технике, что и доказывает высокий интерес специалистов к проходящей выставке и форуму. Однако, как мы видели на выставке, беспилотные системы также могут представлять собой сложные и дорогие комплексы, требующие поддержки, обслуживания, создания наземной инфраструктуры и служб эксплуатации. В наибольшей степени это относится к комплексам, изначально созданным для решения военных задач, а теперь спешно адаптируемым к хозяйственным применениям.

Отдельно остановимся на вопросах эксплуатации. Управление БЛА — задача для хорошо подготовленного профессионала. В армии США операторами БЛА становятся действующие пилоты ВВС после годовой подготовки и тренинга. Во многих аспектах это сложнее, чем пилотирование самолета, и, как известно, большинство аварий беспилотных ЛА вызваны ошибками пилота-оператора.

Автоматические системы БЛА, оснащенные полноценной системой автоматического управления требуют минимальной подготовки наземного персонала, при этом решают задачи на большом удалении от места базирования, вне контакта с наземной станцией, в любых погодных условиях (Рисунок 3). Они просты в эксплуатации, мобильны, быстро развертываются и не требуют наземной инфраструктуры. Можно утверждать, что высокие характеристики систем БЛА, оснащенных полноценной САУ, снижают эксплуатационные издержки и требования к персоналу.



Рисунок 3

Системы автоматических БЛА

Каковы же практические результаты применения бортового комплекса с настоящей инерциальной системой? Компания «ТеКнол» разработала и предлагает заказчикам системы автоматических БЛА быстрого развертывания для решения задач мониторинга и воздушного наблюдения. Эти системы представлены на нашем стенде на выставке.

Автопилот в составе бортового комплекса навигации и управления обеспечивает

- Автоматический полет по заданному маршруту;
- Автоматический взлет и заход на посадку;
- Поддержание заданной высоты и скорости полета;
- Стабилизацию углов ориентации;
- Программное управление бортовыми системами.



Оперативный БЛА



Тактический БЛА

Рисунок 4: Системы БЛА быстрого развертывания

Таблица 2: Характеристики систем автоматических БЛА.

	Оперативный БЛА	Тактический БЛА	Многоцелевой БЛА
Взлетный вес	3,4...4 кг	7 кг	24 кг
Размах крыльев	1,8 м	2,8 м	3,6 м
Крейсерская скорость	70 км/ч	70 км/ч	130-150 км/ч
Продолжительность полета	40...50 мин	2,5 час	>4 час
Дальность полета	50 км	200 км	600 км
Вес полезной нагрузки	0,5 кг	2,5 кг	5 кг
Тип двигателя	Электрический	ДВС	ДВС

Система многоцелевого БЛА разрабатывается компанией «Транзас» и оснащается комплексом навигации и управления «ТеКнола».

Поскольку управление БЛА малого размера представляет наиболее трудную задачу, приведем примеры работы бортового комплекса навигации и управления для оперативного мини-БЛА взлетным весом 3,5 кг.

При проведении аэросъемки местности БЛА совершает полет по линиям с интервалом 50-70 метров. Автопилот обеспечивает следование по маршруту с отклонением, не превышающим 10-15 метров при скорости ветра 7 м/с (Рисунок 5). Понятно, что самый опытный пилот-оператор не в состоянии обеспечить такую точность управления.



Рисунок 5: Маршрут и траектория полета мини БЛА при съемке местности

Поддержание заданной высоты полета также обеспечивается МИНС, которая вырабатывает комплексированное решение по данным GPS, барометрического высотомера и инерциальных датчиков. При автоматическом полете по маршруту бортовой комплекс обеспечивает точность поддержания высоты в пределах 5 метров (Рисунок 6), что позволяет уверенно летать на малых высотах и с огибанием рельефа.



Рисунок 6: Точность поддержания высоты

Рисунок 7 показывает, как САУ выводит БЛА из критического крена в 65° , в результате воздействия порыва бокового ветра при совершении маневра. Только настоящая ИНС в составе бортового комплекса управления в состоянии обеспечить динамичное измерение углов ориентации БЛА, не «потерять горизонт». Поэтому в процессе испытаний и эксплуатации наших БЛА ни один самолет не был потерян при полете под управлением автопилота.

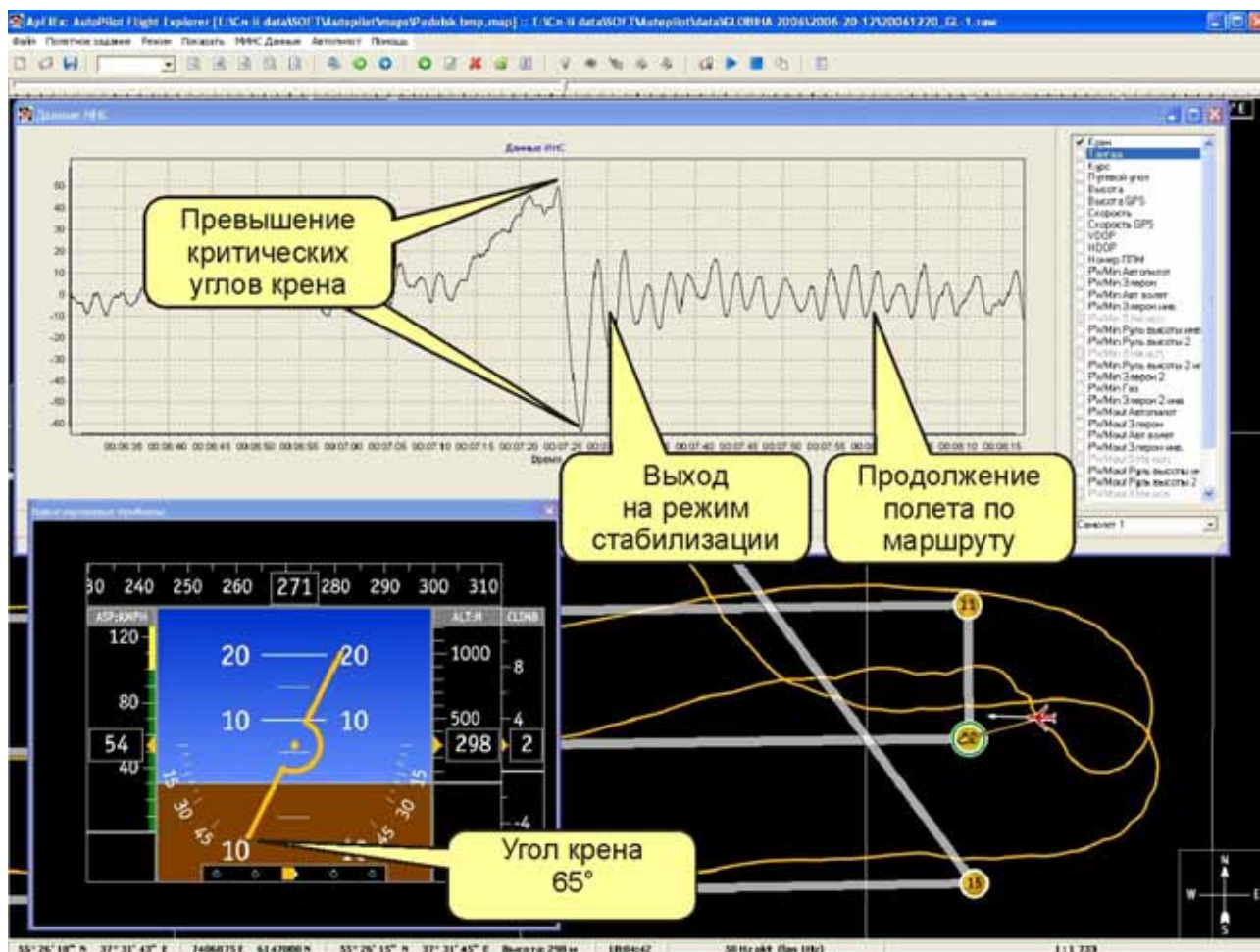


Рисунок 7: Автоматический вывод из критического крена

Еще одной важной функцией БЛА является управление видеочамерой. В полете стабилизация камеры переднего обзора обеспечивается обработкой колебаний БЛА по крену по сигналам автопилота и данным МИНС. Таким образом картинка видео изображения оказывается стабильной, несмотря на колебания ЛА по крену.

В задачах аэрофотосъемки (например, при составлении аэрофотоплана предполагаемого района проведения работ) точная информация об углах ориентации, координатах и высоте БЛА совершенно необходима для коррекции аэрофотоснимков, автоматизации сшивки кадров. Беспилотный комплекс аэрофотосъемки также разрабатывается ООО «ТеКнол». Для этого производится доработка цифрового фотоаппарата и его включение в контур управления автопилотом. Первые полеты намечено провести весной 2007 года.

Помимо упомянутых систем БЛА быстрого развертывания Бортовой Комплекс Навигации и Управления БЛА эксплуатируется СКБ «Топаз» (БЛА «Ворон»), устанавливается на новом БЛА разработанном компанией «Транзас» (многоцелевой комплекс БЛА «Дозор»), проходит испытания на мини БЛА компании Global Teknik (Турция). Ведутся переговоры с другими российскими и зарубежными клиентами.

Изложенная выше информация и, главное, результаты летных испытаний, со всей очевидностью свидетельствуют, что без полноценного бортового комплекса управления, оснащенного настоящей инерциальной системой, невозможно построение современных коммерческих систем БЛА, которые могут решать задачи безопасно, оперативно, в любых погодных условиях, с минимальными издержками со стороны эксплуатирующих служб. Такие комплексы серийно выпускаются компанией «ТеКнол».