

РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЯ МИНИАТЮРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ЗА РУБЕЖОМ

В.А. Попов, Д.В. Федутин
ФГУП «ГосНИИАС»

Излагаются концептуальные основы нового направления развития беспилотных разведывательных и ударных аппаратов – миниатюризации и создания беспилотных летательных аппаратов мини- и микро-класса. Рассматриваются возможные области целевого применения и аспекты технической реализации мини-БЛА, освещаются работы, проводимые Управлением перспективных исследований и разработок МО США DARPA, по основным компонентам таких аппаратов: летательному аппарату, энергосиловой установке, двигателю, полезной нагрузке, информационным датчикам, системе управления, навигации.

Новые технологии ведения боевых действий базируются в значительной мере на идеях создания единой информационной, управляющей и ударной среды, простирающейся от поверхности земли до космоса и доступной различным военным потребителям от стратегического уровня (армия, ТВД) до тактического уровня - взвод, группа солдат и даже отдельный солдат. Всеобъемлющая и своевременная информация, а также управление рассматриваются в качестве ведущего компонента достижения успеха. Главным принципом боевого применения становится непрерывная разведка, планирование и управление выполнения запланированных действий с привлечением минимально необходимых ударных средств.

Конфликты на Ближнем Востоке, на Балканах, в Ираке продемонстрировали действенность новых технологий ведения боевых действий и обозначили новые направления их развития и совершенствования с учетом новых достижений в создании интеллектуального оружия различного назначения.

Одним из типов такого оружия, вызывающего особый интерес в последнее время, стали беспилотные летательные аппараты (БЛА) (по американской терминологии – unmanned air vehicle (UAV)). Известные проекты БЛА разработаны или разрабатываются в большинстве своем для целей разведки или целеуказания оружию, хотя в концептуальном плане просматриваются различные варианты целевого применения, в том числе в качестве ударных средств.

Очевидно, что содержание решаемых задач будет зависеть от уровня оснащения электронной "начинкой" и "интеллектом", при этом в качестве важного отличительного свойства БЛА рассматривается способность маневрирования в районе цели и выхода в оптимальную для выполнения задания точку с использованием текущей информации об обстановке, что недоступно, как правило, другим типам аппаратов.

Опыт боевых действий последних лет, а также условия ведения боевых действий в локальных конфликтах (а также участия в миротворческих операциях) выявили потребность повысить информационную обеспеченность наземных войск тактического уровня.

Учитывая, что в подобных конфликтах большую роль должны играть боевые действия малых групп солдат, в качестве нового перспективного направления развития БЛА рассматриваются мини- и микро-БЛА.

Повышенный интерес в этому классу аппаратов в последнее время, согласно данным Управления перспективных исследований и разработок МО США (DARPA) [1], является результатом одновременного появления новых достижений в области миниатюризации

компонент ЛА и новых военно-технических концепций применения таких аппаратов, лежащих в русле перспективных концепций информатизации вооруженной борьбы [2].

Идея серии БЛА размером с ладонь (MAV - micro air vehicle), была предложена DARPA. Для оценки технической реализуемости аппаратов DARPA проводит работы по основным компонентам таких аппаратов (летательному аппарату, энергосиловой установке, двигателю, полезной нагрузке – информационным датчикам, системе управления, навигации). DARPA финансирует работы по ряду таких устройств, в том числе по лёгким батареям и пьезоэлектрическим моторам для машущих крыльев. Последние могут быть эффективны для микроаппаратов нетрадиционных аэродинамических компоновок, осуществляющих полёт по принципу птиц или насекомых.

Целевая потребность в аппаратах этого класса связывается с прогнозируемыми условиями ведения конфликтов в XXI-м веке. При этом особо выделяются боевые действия в нестандартных условиях, например, в городских. Локально управляемые мини-БЛА позволят значительно уменьшить время ожидания, свойственное существующим средствам разведки, и, действуя по требованию отдельного солдата, выдавать информацию относительно окружающей обстановки, повышать ситуационную осведомленность и на этой основе повышать эффективность предпринимаемых действий, снижая требования к численности и уменьшая потери среди личного состава подразделений [3].

Основным назначением для первого поколения мини-БЛА все же является использование в сфере разведки. Микродатчики дают возможность уменьшения времени ожидания и значительного расширения ситуационной осведомленности для небольшого соединения или даже для отдельного солдата. Они являются атрибутом прямой связи между системами и пользователем в действующих концепциях военных конфликтов. Это означает, что мини-БЛА должен быть личной принадлежностью солдата – подобно воде или боеприпасам. Система должна быть доступной и при выполнении многих заданий должна действовать незаметно. Все эти требования указывают на необходимость создания сверхкомпактной малой системы.

К тому же способность мини-БЛА функционировать в ограниченных пространствах подобно городским улицам и даже внутри зданий, придает этим системам уровень уникальности, неизвестный в других концепциях. Использование мини-БЛА возможно с пилотируемых аппаратов: малые размеры делают возможность их использования с любых существующих ЛА.

Мини-БЛА смогут решать широкий диапазон военных задач, в том числе задачу разведки "за холмом" (вне пределов прямой видимости), схема которой проиллюстрирована на рис. 1.



Рис. 1. Использование мини-БЛА в задаче разведки "за холмом" (вне зон прямой видимости)

Существующие технические концепции, разработанные в США, предполагают, что разведка с помощью мини-БЛА будет происходить на удалении до 10 км, иметь длительность до 1 часа и скорость от 10 до 20 м/с при обеспечении оперативности и круглосуточности наблюдения. Хотя некоторые варианты применения могут требовать и меньших характеристик по дальности и полезной нагрузке. При этих вариантах использования БЛА приближается по функциональным возможностям к стационарным автоматическим поверхностным датчикам в вариантах от визуального до сейсмического наблюдения.

В то же время малоразмерный БЛА должен запускаться и эксплуатироваться сравнительно просто с наземной установки. Наземные установки могут использовать направленные антенны для поддержания контакта с БЛА на больших дальностях.

При проведении операций в городских условиях мини- /микро-БЛА, используемый небольшими группами солдат, способен вести разведку и наблюдение в городских условиях между зданиями и может выполнять функции ретранслятора связи. Он может обеспечивать наблюдение через окна, а также располагаться на вертикальных и горизонтальных поверхностях. Возможность прикрепления аппаратов к зданию требует соответствующей разработки. Способность управления полетом по сложному профилю с облетом препятствий и передачей информации требует существенно более высокого уровня технологий.

Задача химической разведки и мониторинга (Рис.2) также рассматривается в качестве одной из сфер применения миниатюрных БЛА. Используя датчики измерения градиента параметров среды и управляемый полет, беспилотник способен отобразить размер и форму опасных облаков и обеспечивать их мониторинг в реальном времени.



Рис. 2. Мини-БЛА как подвижный датчик

Применение мини- /микро-БЛА в поисково-спасательных операциях рассматривается в различных вариантах. Мини- /микро-БЛА может быть вмонтирован в механизм катапультируемого кресла самолета-истребителя. При катапультировании пилота беспилотный аппарат может быть выпущен из кресла катапультирования и барражировать в воздухе до 1 часа, обеспечивая пилота информацией и посылая сигнал бедствия.

В то время как проблемы разработки долголетающего малоразмерного БЛА, способного удовлетворить всем обозначенным требованиям, еще требует своего разрешения, более кратковременное применение такого БЛА может быть реализовано с использованием внешнего источника движения. Мини- /микро-БЛА может быть запущен с другого летательного аппарата с использованием внешнего ускорителя (из пусковой трубы). В районе применения подобный аппарат функционирует автономно, обеспечивая, например, сбор информации для наведения и оценки нанесенного ущерба с последующей передачей оператору.

Кроме военных областей применения рассматривается большое количество потенциальных коммерческих приложений. Они включают оперативный контроль движения, контроль границ, противопожарный дозор и спасательные операции, мониторинг в лесном хозяйстве, наблюдение живой природы, мониторинг и фотосъемка недвижимости и др.

Техническая реализуемость концепций миниатюрных БЛА связывается с достижениями в области микро- и нано-технологий, в том числе в области развития микроэлектромеханических систем (MEMS). Эти системы служат основой комплексирования электронных микрокомпонент с соразмерными механическими элементами различной сложности, что позволяет получить уникальные функциональные возможности (интегрированные системы датчиков, приводов и процессоров). Технологически производство этих устройств ориентируется на использование методов микротехнологий изготовления, что создает предпосылки организации в будущем дешевого промышленного производства. Среди достижений в области уникальных электронных микросистем можно отметить: микросистемы типа крошечных фотокамер (CCD-матричных), миниатюрные инфракрасные датчики, детекторы опасных веществ размера электронного чипа. Они стали катализатором создания сверхминиатюрных платформ доставки.

Однако для успешного интегрирования этих полезных нагрузок в функциональные БЛА должны быть решены многие технические проблемы. Новаторские технические решения должны быть найдены в области аэродинамики и управления, двигателей и энергетики, навигации и связи.

Первые предложения по концепции технической реализации малоразмерных БЛА появились в начале 1990-х годов в исследованиях Корпорации RAND по микропроцессорным системам и лаборатории Линкольна Массачусетского технологического института (MIT Lincoln Laboratory)[4] по летательным микроаппаратам. В 1995 г. был создан семинар DARPA по проблемам летательных микроаппаратов. Результатом этих усилий стала программа DARPA по разработке проблем создания аппаратов новой микроразмерности.

Проблемы создания мини- /микро-БЛА

Разработка и позиционирование военного применения мини- /микро-БЛА требуют преодоления значительных технологических и операционных проблем.

Термин летательный микроаппарат может несколько вводить в заблуждение, если интерпретируется слишком буквально. Мини- /микро-БЛА – это не малая версия большего самолета. Он полностью самостоятелен и функционален в военном отношении как летательный микроаппарат собственного класса.

Определение, использованное в программе DARPA, ограничивает этот аппарат размером меньше, чем 15 см (приблизительно 6 дюймов) по длине, ширине или высоте.

Об аппаратах мини- /микро-БЛА следует говорить, как о воздушных роботах с "шестью степенями свободы", способных доставлять полезную микронагрузку к отдаленному или опасному объекту, где могут выполняться различные целевые задания, включая разведку и наблюдение, наведение или биохимический сенсоринг.

Ограничение в 15 см несколько произвольно, однако оно связано с физическими и технологическими соображениями. Полностью оценить масштаб этого ограничения можно на фоне сравнения с летательными аппаратами известных классов (рис. 3). Это сравнение дано в координатах общей массы аппарата и числа Рейнольдса. Число Рейнольдса (размерность, умноженная на скорость) возможно наиболее полезный скалярный параметр для оценки характеристик условий полета. Одним из известных используемых беспилотных аппаратов малого размера является ретранслятор «Sender», разработанный и эксплуатируемый Научно-исследовательской лабораторией ВМС США [5]. Этот аппарат имеет 4 футовое крыло и массу около 10 фунтов - хорошие данные на фоне дальности действия близкой к 100 милям. Беспилотный аппарат класса микро должен быть на порядок

меньше при обеспечении возможности применения в различных конфигурациях в соответствии со специфическими требованиями заданий.

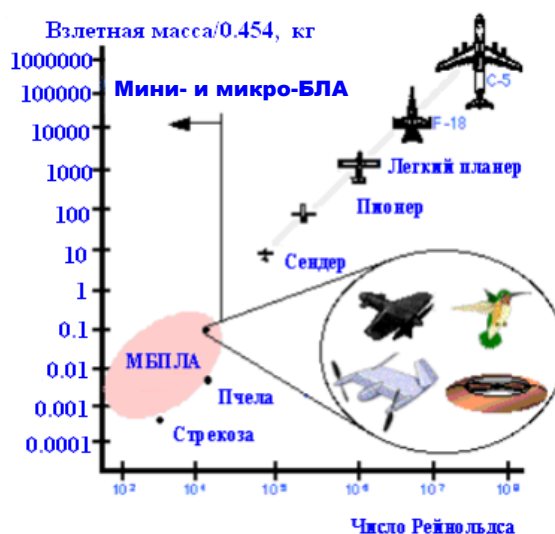


Рис. 3. Область параметров мини- и микро-БЛА в сравнении с существующими летательными аппаратами, а также некоторыми птицами и насекомыми

Низкие числа Рейнольдса имеют фундаментальное значение для аэродинамики аппаратов масштаба и скоростей микро-БЛА - это диапазон, более свойственный маленьким птицам и большим насекомым. И если наше понимание эффектов низких чисел Рейнольдса будет недостаточным, то и наши способности реализовать эффективный полет при этих условиях будут невелики.

С небольшими размерами аппаратов микро-БЛА приходят высокие отношения "площади поверхности к объему" и строгие весовые и объемные ограничения. Технологические проблемы разработки и физического комплексирования всех элементов и компонент для обеспечения полета аппаратов этой новой размерности требуют беспрецедентного уровня многофункциональных связей компонент системы. Традиционная парадигма проектирования самолета - "заполнение оболочки" компонентами вряд ли может быть осуществима для микро-БЛА.

Микро-БЛА - летательный аппарат размерности на порядок меньшей упоминавшегося БЛА «Sender» - может иметь вес около 50 г, что составляет только сотую веса БЛА «Sender». Рис. 4 иллюстрирует это отличие в размерности. Однако микро-БЛА должен быть способен к пребыванию в полете от 20 до 60 минут, перенося при этом полезную нагрузку до 20 г на расстояние до 10 км. Одной из основных проблем при этом является разработка источников энергопитания с высокими энергоемкостью и мощностью. И если «Sender» является традиционным ЛА с фиксированным крылом умеренного удлинения, то для микро-БЛА могут потребоваться более необычные конфигурации и подходы, в том числе использование крыла малого удлинения, роторного крыла или даже более нетрадиционных решений подобно машущему крылу.

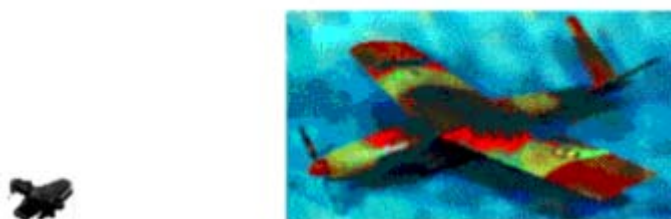


Рис. 4. Сравнение размерности микро-БЛА и БЛА Sender

В качестве примера высокотехнологичного микро-БЛА нетрадиционной конфигурации в американской печати упоминается микро-БЛА «Энтомоптер», создаваемый в Технологическом институте шт. Джорджия (руководитель проекта Р. Майкельсон) [6]. Детальное описание конструкции не разглашается и опубликовано лишь общее описание аппарата, однако, отмечается, что он совершает полет при помощи машущих крыльев, которые приводятся в движение абсолютно новой силовой установкой называемой «возвратно-поступательные химические мускулы», при этом энергия вырабатывается за счет переработки биоматериалов. Получаемой энергии хватает как для полета, так и для питания миниатюрной разведывательной и передающей аппаратуры. По заявлению создателей, «Энтомоптер» может совершать вертикальный взлет и посадку, разворачиваться на 360 градусов, совершать горизонтальный полет в разных режимах и, возможно, даже плавать. В перспективе планируется разработать систему самообеспечения энергией. При истощении источника энергии «Энтомоптер» будет автоматически совершать посадку и при помощи миниатюрных электромеханических манипуляторов сам загрузит в камеру переработки подходящую биомассу. Иными словами, «Энтомоптер» будет есть, когда голоден. «Энтомоптер» - не единственный аппарат, который летает, как насекомые, при помощи машущих крыльев. В Калифорнийском технологическом институте разрабатывается микро-БЛА «Летучая мышь» [7]. Вес его составляет всего 10 г, предполагается оснастить его миниатюрной видеокамерой и передатчиком. Работы по созданию опытных образцов, по заказу Пентагона, ведут и другие организации.

Физическое комплексирование

Проблема комплексирования и физической интеграции является наиболее трудной и степень ее сложности связана с миниатюрными размерами аппарата и высокой функциональной сложностью. При размерности ниже 15 см, концепция "заполнения" каркаса подсистемами - стандартный подход проектирования и интеграции средств - становится чрезвычайно трудно реализуемой. Разнообразие составляющих мини- и микро-БЛА элементов и систем иллюстрируется на рис. 5.

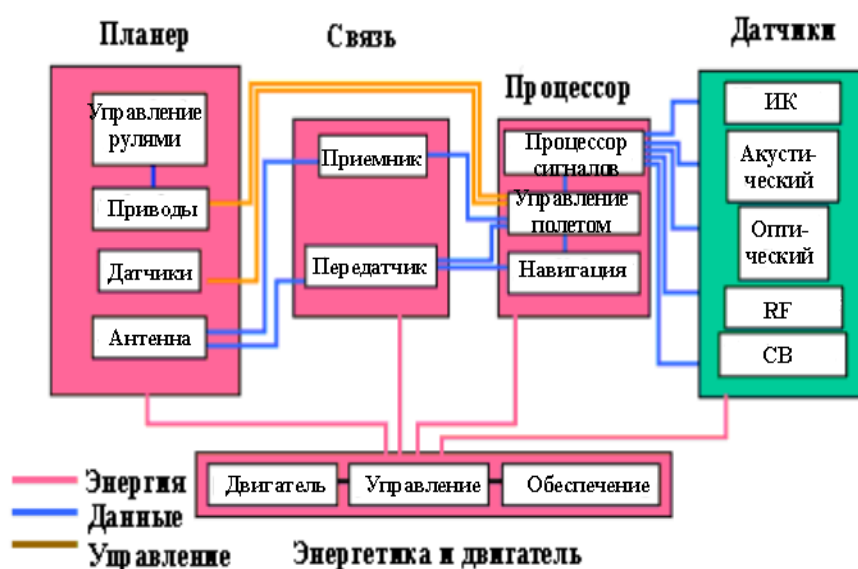


Рис. 5. Интеграция подсистем мини- и микро-БЛА

Многие из функций системы будут обеспечиваться микроэлектроникой и компонентами на основе упомянутых MEMS-технологий. Даже в этом случае отдельные модули для каждой функции потребовали бы большего объема, чем доступно.

Перспективные электронные технологии позволяют скомплексировать бортовой процессор и линии связи как ядро системы, которое обеспечивает основные (критические) линии связи между бортовыми датчиками и наземной станцией, а также системы управления двигателем. В схеме, показанной на рис. 5, подсистемы энергопитания поддерживают критическую электронику, аппаратуру управления полета и двигатель. Многофункциональные возможности, потребность в которых определяется ограничениями веса и мощности, могут быть достигнуты только высокоинтегрированной конструкцией с физическими компонентами, выполняющими многие функции. Например, крыло может также служить в качестве антенны или апертуры датчика. Источник питания может быть интегрирован с конструкцией фюзеляжа и так далее. Подобная степень конструктивной синергетики никогда не была достигнута в конструкции традиционных летательных аппаратов.

Устойчивый управляемый полет

Управление полетом - главная технологическая проблемная область с большим числом неизвестных для проектировщика малоразмерных БЛА. Относительно большие аэродинамические силы и моменты, создаваемые в полете, трудно предсказуемы, но существенны для обеспечения устойчивого полета. Неустойчивые потоки, как результат атмосферных порывов или маневрирования аппарата, особенно сильно проявляются для ЛА масштаба мини и микро с несущественным моментом инерции и малой нагрузкой на крыло. Стабилизация и управление таким аппаратом требует быстродействующих автономных систем управления.

Общее правило для самолетов состоит в том, что малые аппараты перемещаются медленнее и имеют, как правило, более высокие отношения площади крыла к весу аппарата. При наличии ограничения размаха крыла в мини-БЛА вероятно придется достигать высоких относительных площадей крыла за счет использования больших хорд крыла, т.е. используя конфигурации с малым удлинением крыла, близкие к конфигурации летающее крыло. Для микро-БЛА вероятно потребуются учитывать полностью трехмерную аэродинамику обтекания при более низких числах Рейнольдса, отличную от двумерного обтекания пластины. Сложность аэродинамики аппарата связана также с тем, что миниатюрные БЛА подвержены неустойчивым потокам естественной турбулентности атмосферы. Интересно, что естественные «летуны» того же масштаба используют другой источник неустойчивой аэродинамики, машущие крылья для создания подъемной силы и тяги. Для некоторых приложений мини- и микро-БЛА, вероятно, в конечном счете придется использовать тот же принцип.

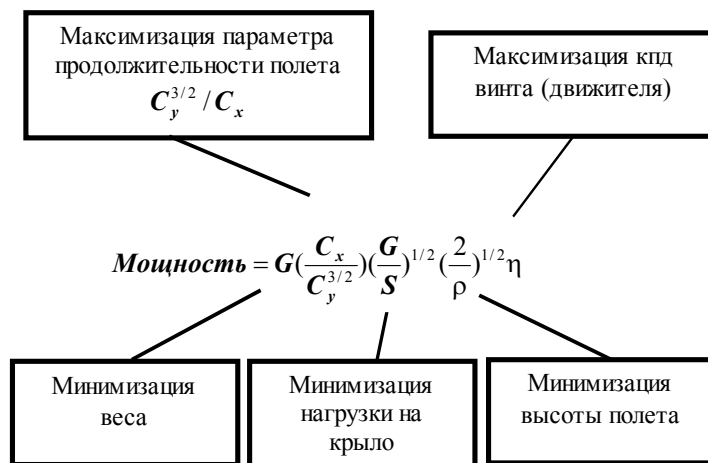
Эффекты низких чисел Рейнольдса требуют использования высоко интегрированных систем управления полетом, с автономной стабилизацией. В ограниченных средах подобно городским улицам или внутренним объемам, требуются также автономные системы предотвращения столкновения с препятствиями.

Высокий КПД двигательной установки

Двигательные установки малого масштаба должны будут удовлетворять экстраординарным требованиям по энергетической емкости и удельной мощности. Кроме того, для гарантирования скрытности должны быть разработаны акустически тихие двигатели.

Некоторые факторы выбора двигателя БЛА в соответствии с уравнением мощности на винте двигателя показаны на рис. 6. Это выражение отражает соотношение потребной мощности двигателя. Для уменьшения мощности во-первых необходима хорошая аэродинамика (высокое аэродинамическое качество), но низкие числа Рейнольдса позволяют

иметь качество (отношение коэффициента подъемной силы к сопротивлению) в диапазоне не более $1/3 \div 1/4$ для стандартных конфигураций самолета. Аэродинамика винта должна быть также эффективна. В результате низкие числа Рейнольдса затрагивают двигатель двумя способами: низкое аэродинамическое качество (увеличивает требуемую мощность) и низкий КПД винта.



Обозначения:

- G - взлетная масса аппарата;
- c_x - коэффициент сопротивления;
- c_y - коэффициент подъемной силы;
- S – площадь крыла;
- ρ - плотность воздуха;
- η - КПД винта.

Рис. 6. Факторы минимизации потребляемой мощности двигателя БЛА

Потребная мощность может быть уменьшена значительно при наличии низконагруженного крыла, что может быть достигнуто в малоразмерных БЛА при наличии больших площадей крыла и малой массы аппарата. Например, аппарат Gossamer Albatross [8] имел огромную площадь крыла (и низкий вес) так, что мог двигаться с использованием очень слабого двигателя (мускульной силы человека). Но это было обеспечено огромным размахом крыла. В противоположность этому ограничение 15 см означает, что для случая микро-БЛА, вероятно, придется максимизировать площадь, увеличивая хорду крыла, ведя к конфигурациям с низким удлинением крыла.

В заключение относительно уравнения мощности следует отметить, что нет ничего более эффективного для уменьшения требований мощности, чем низкий вес. Технологии подобно MEMS, электроника малой мощности и многофункциональные возможности оборудования помогут в этом плане. При этом высокая энергоемкость источников питания существенно необходима. Электрические батареи вероятно будут использоваться для первого поколения мини- и микро-БЛА, для последующих поколений – потребуются нетрадиционные технологии, например, подобно топливным элементам.

Навигация

Если проблемы мощности двигателя разрешаются, то не меньше, если не больше проблем с навигацией аппарата. Полеты в открытых окружающих средах могут быть обеспечены с использованием имеющихся технологий, но для многих практических приложений, для которых мини- и микро-БЛА потенциально подходит, требуются другие подходы. Навигация с использованием GPS была бы почти идеальным решением, но

существующие системы слишком тяжелы и энергозатратны для применения на микро-БЛА. Инерциальная навигация для микро-БЛА ждет разработки микрогироскопов с низким дрейфом и соответствующих акселерометров. Применение в городских условиях с сужающимися коридорами улиц сложной геометрии, наличием препятствий, в том числе движущихся, составляют неординарную внешнюю среду для мини- /микро-БЛА. Оперативное участие оператора для стабилизации аппарата и управления рассматривается для ранних проектов, но условия и ограничения полета делает это решение неэффективным для большого количества приложений.

Например, необходимый маневр аппарата в ответ на порыв воздуха может быть отработан человеком-оператором, однако оперативное участие оператора в управлении может быть реализовано только для простых сценариев применения. Ясно, что необходим значительный прогресс в областях миниатюрных систем навигации, систем наведения и управления.

Надежная связь с пользователем

Успех в любом полете БЛА достигается способностью установить надежную, линию связи между БЛА и пользователем. Рисунок 7 иллюстрирует некоторые из факторов, влияющих на параметры системы связи.

Проблемы связи связываются прежде всего с малыми размерами аппарата, соответственно малыми размерами антенн, ограниченной располагаемой мощностью для поддержания требуемого быстродействия передачи 2-4 Мбит/с (для передачи изображений). Функции управления требуют намного более низких возможностей (в диапазоне 10 кбит/с). Сжатие изображения уменьшает требования к быстродействию, но увеличивает бортовую обработку и, следовательно, потребности энергии. Ограничения по мощности означают, что использование всенаправленного сигнала из-за слабости невозможно. Так что требуются направленные наземные антенны, чтобы сопровождать аппарат по линии визирования. Но для городских условий существуют ограничения по прямой видимости, поэтому необходимы другие подходы. Один из подходов связан с исследованиями систем связи сотовой архитектуры.

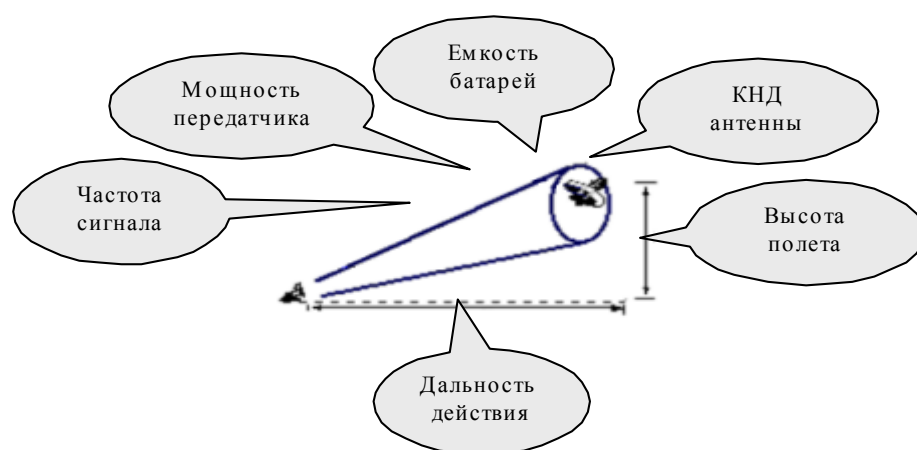


Рис. 7. Факторы эффективности системы связи БЛА

Полезная нагрузка

Первое поколение мини- и микро-БЛА будет оборудовано пакетами датчиков, чтобы выполнять функции разведки и наблюдения. Датчики должны быть адаптированы и

интегрированы в системы БЛА. Перечень датчиков по физическим принципам может включать оптические, ИК, акустические, биохимические, радиационные, и др.

Система получения видимых изображений возможно будет основной полезной нагрузкой для первых поколений микро-БЛА и это будет наглядным способом демонстрации достижений технологий микродатчиков. На рис. 8 показана миниатюрная видеосистема, исследовавшаяся лабораторией Линкольна [4]. Камера весом всего в 1 гр. и объемом около 1 см³ показана в сравнении с мухой. Разрешение камеры 1000x1000 пикселей, потребная мощность 25 мВт. Согласно исследованиям Лаборатории Линкольна эта концепция реализуема с учетом прогресса технологий через несколько лет.

На рис. 9 показано размещение этой камеры в проекте микро-БЛА. Концепция этого аппарата размерности 8 см исследовалась Лабораторией Линкольна. Полный вес аппарата - только 10 гр., и суммарная потребляемая мощность - 1 Вт. Двигатель требовал 90% всей мощности и 70% суммарного веса. В этой концепции видеосистема обеспечивает только один фрейм каждые две секунды. Видеосистема установлена впереди и смотрит на 45 градусов вниз по направлению полета. Более высокие числа фреймов увеличат требование по мощности и плотности источников питания. Дополнительная мощность потребовалась бы для бортового сжатия изображения и для более высокой скорости передачи данных.

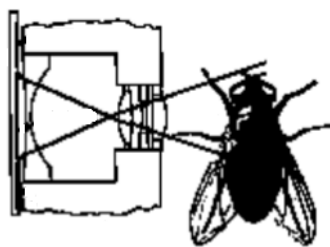


Рис. 8. Концепция камеры для микро-БЛА (Источник - MIT Lincoln laboratory)

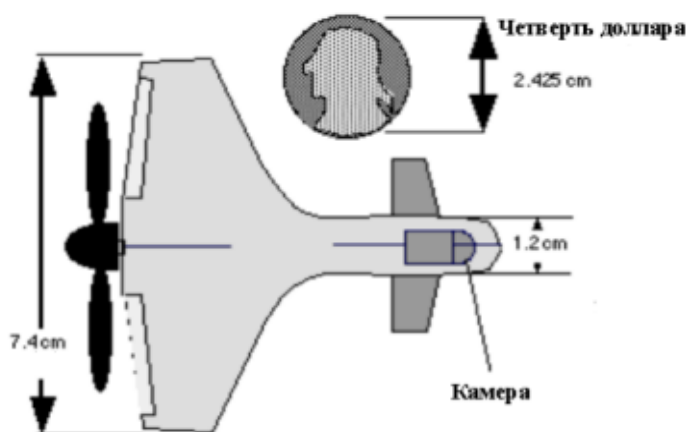


Рис. 9. Концепция микро-БЛА (MIT Lincoln laboratory)

Более вероятно, что в ближайшем будущем миниатюрные БЛА самолетной схемы будут иметь порядка 6 дюймов длины, весить порядка 50 г и требовать 8-10 Вт мощности. Двигательные установки потребуют почти 90 % от всей доступной мощности, оставляя только 10 % для систем авионики, включая связь.

Требования эксплуатации

Создание микро-ЛА, который сможет выполнять полезные функции - действительно сложная проблема. Но необходимо создание боевой системы, которая может выживать в зоне противника, способна функционировать в реальных условиях военной обстановки. Все это увеличивает проблему, по крайней мере, на порядок.

Мини- /микро-БЛА должен быть безопасным и простым для эксплуатации предпочтительно одним солдатом. Система запуска должна обеспечивать запуск в различных начальных условиях, в том числе запуск на скорости или под критическим углом. Электронная связь должна быть надежной и быстрой. Интерфейсы управления должны требовать минимальную концентрацию со стороны оператора, освобождая его и не отвлекая от выполнения других работ.

Аппарат должен быть простым невосстанавливаемым средством или ремонтируемым в полевых условиях. Он должен быть легко доставляемым в район боевых действий, должен быть защищенным от различных опасностей, включая удары и т.п.

Мини- /микро-БЛА должен быть доступным. Доступность в определенной степени определяется сложностью выполняемых заданий и стоимостью. В ряде исследований высказывается суждение, что для большинства стандартных операций использования расход мини- /микро-БЛА (для невосстанавливаемых аппаратов) должен стоить не больше, чем типовой расход противотанковых средств.

Несмотря на значительные проблемы, стоящие перед разработчиками малоразмерных БЛА, все указывает на то, что эти аппараты могут быть разработаны с использованием современных и/или перспективных электронных и связанных с ними технологий.

Малый масштаб аппаратов ставит огромные технические проблемы, но это представляет и главные преимущества, не только в терминах новых заданий, но и в терминах потенциально короткого изготовления и тестирования (во временном масштабе).

Так что вариант достаточно быстрого развития миниатюрных БЛА военного назначения в не слишком отдаленном будущем представляется вполне реалистичным.

Литература:

1. Управление перспективных исследований и разработок МО США DARPA – darpa.mil;
2. Richard O. Hundley, E.C. Gritton, " Future Technology-Driven Revolutions in Military Operations: Results of a Workshop", RAND corporation, 1994;
3. William R. Davis: «*Micro UAV*», Association for Autonomous Vehicle Systems International, 1996 (AUVSI-96), 15-19 июля, 1996;
4. Лаборатория Линкольна Массачусетского Технологического института – ll.mit.edu;
5. Kenneth Munson (ed.): "Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, #15, Jane's, 2000;
6. Технологический институт штата Джорджия – gatech.edu
7. Технологический институт штата Калифорния – caltech.edu
8. Dryden Flight Research Center – dfrc.nasa.gov