



# БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Наша страна некогда являлась одним из ведущих государств в области создания беспилотных авиационных систем (БАС). Сегодня в этой сфере ситуация становится угрожающей, речь всерьез идет о возможности закупки соответствующих систем военного назначения за рубежом. А ведь в России ведется создание ряда беспилотных летательных аппаратов и систем на их основе. Возможно, одна из проблем, влекущих печальные результаты, — отсутствие единой политики в области создания и эксплуатации БАС как военного, так и гражданского назначения. Авторы статьи анализируют и классифицируют основные характеристики БАС, показывая их взаимосвязь, а также воздействие на функциональность БЛА. Нам кажется, в статье удалось показать, что к разработке БЛА — от планера до полезной нагрузки — следует относиться как к разработке сложной системы. При этом должны учитываться не только все особенности совместного функционирования ее составных частей, а также то, что БЛА сам является элементом сложной системы более высокого порядка. А вся проблема в целом требует очень серьезного профессионального подхода многих специалистов.

## БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Беспилотные авиационные системы (БАС) — наиболее динамично развивающийся во всем мире класс авиационной техники. БАС — это системы двойного назначения. Однако в России отсутствие законодательной базы и нерешенные вопросы практического применения БАС для гражданских целей привели к тому, что основные факторы, определяющие тенденции и направления развития авиационной робототехники, — это совершенствование технических систем военного назначения, а также взглядов на характер войн будущего. Развитие современной техники достигло уровня, позволяющего создавать высокоэффективные БАС практически любой сложности. Однако самым сложным остается внедрение БАС в сложившуюся структуру эргатических систем, содержащих технику разных поколений, с несовершенной системой внутренних

В. Ростопчин (ЦНИИ АРКС), к.т.н.  
И. Бурдун ("Интелоника"), к.т.н.  
rvv30@mail.ru

информационных каналов. Это в значительной степени сдерживает объективное восприятие БАС и порождает излишне восторженные ожидания.

Изучение мирового парка беспилотных летательных аппаратов показывает, что сегодня существует весьма насыщенный рынок предложений подобной техники (качественное состояние мирового парка БЛА оценивалось по выборке в 170 БЛА, мишени и воздушные цели не рассматриваются) [1]. Однако основная доля мирового парка БЛА приходится на микро-, малые и легкие БАС (рис.1) (здесь и далее в статистике БЛА вертикального взлета и посадки, а также БЛА с воздушно-реактивными двигателями из-за их малой доли не рассматривались). Это свидетельствует о том, что развитие и миниатюризация радиоэлектронной техники позволили делать БАС более легкими и компактными.

Развитие радио- и микроэлектроники, миниатюризация и реализация на новых принципах исполнительных устройств и силовых установок привели к существенному росту предложений на рынке беспилотной техники. Стандартизация интерфейсов обмена данными позволяет создавать БЛА в очень короткие сроки. В результате в создании БАС принимают участие немало небольших предприятий, которые отличаются высокой производственной мобильностью и дина-

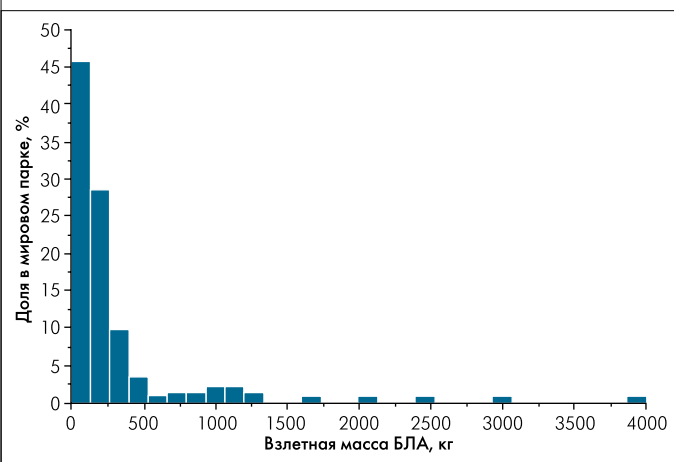
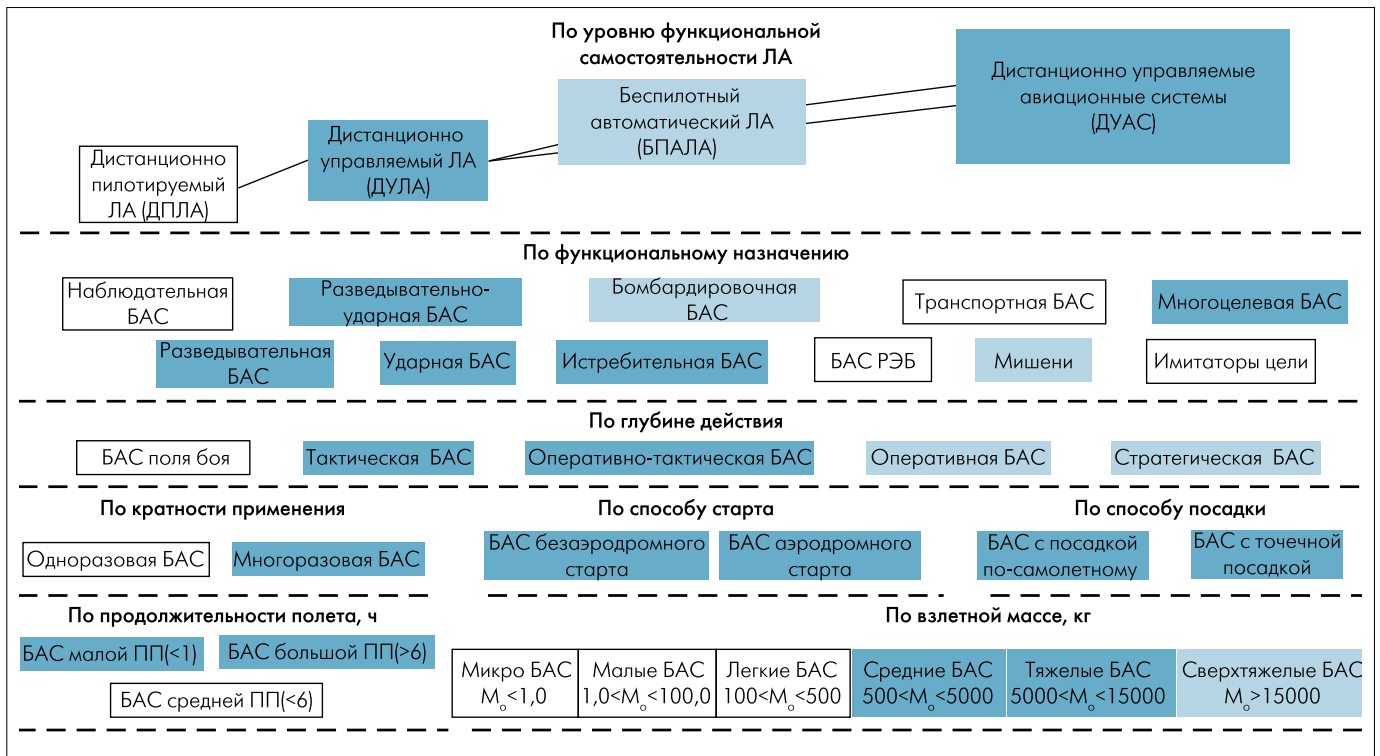


Рис. 1. Гистограмма распределения мирового парка БЛА по взлетной массе



**Рис.2. Классификация БАС военного назначения по основным параметрам и условиям, определяющим их технический облик**

микой. Но такие предприятия в основном обладают скромной технической и производственной базой.

С одной стороны, это отрадный факт. Но стало постепенно забываться, что БЛА – это не только платформа для размещения полезной нагрузки. Существует жесткая взаимосвязь между свойствами БЛА (летно-техническими характеристиками, показателями функциональной эффективности, выживаемости, надежности и т.п.) и условиями его эксплуатации. Следовательно, создание высокоэффективного БЛА является сложной организационно-технической задачей, решение которой требует привлечения как специалистов, так и технологий из разных областей науки и техники.

Конечно, разработать и изготовить несколько БЛА можно и без привлечения серьезного производства. Но так не создать крупную партию или серию. Не менее жесткие требования к БЛА предъявляются и со стороны погодных-климатических условий региона предполагаемой эксплуатации. Например, очень часто удовлетворение требований к летно-техническим характеристиками приводит к тому, что для старта БЛА приходится использовать специальные устройства в виде катапульт или пороховых двигателей. Это может свести на нет функциональную эффективность БЛА при решении конкретных задач из-за высокой стоимости одного вылета.

Несмотря на относительную молодость и все многообразие авиационной беспилотной техники, она уже имеет сложившуюся систему классификации, которая во многом опирается на "традиционную", т.е. пилотируемую авиацию. В связи с этим, из огромного перечня классификационных вариантов БЛА (рис.2) необходимо выби-

рать тот, который в наибольшей степени обеспечит в конечном итоге требуемый экономический эффект.

Отметим, что основной потребитель БАС в любой стране (Министерство обороны) принимает на вооружение всего несколько базовых типов БАС, с помощью которых затем выстраивается типовой ряд беспилотных комплексов. Например, в ВС СССР базовыми являлись всего четыре БАС (см. таблицу), при том, что в стране разными организациями велась разработка, производились опытные и серийные образцы до 25 типов БЛА [2]. Зарубежные государства сегодня также принимают на вооружение незначительное число типов БЛА.

Изучение основных классификационных признаков позволяет показать необходимость наличия различных типов БАС, с одной стороны, и возможность сведения излишнего многообразия БАС к нескольким базовым типам – с другой.

**Базовые (принятые на вооружение) типы БЛА в ВС СССР**

Показатель	"Пчела – 1"	Ту-143	Ту-141	Ту-123
Назначение	тактический разведчик	тактический разведчик	оперативный разведчик	стратегический разведчик
Взлетная масса, кг	140	1215	6040	38500
Дальность полета, км	260	190	до 1000	до 3800
Скорость полета, км/ч	140	900–950	950–1100	2700
Высота полета, м	100–2500	100–3000	50–6000	до 20000
Продолжительность полета, ч	2	0,2	до 1,0	1,5

**СТЕПЕНЬ АВТОНОМНОСТИ**

Из анализа данных по мировому парку беспилотной техники видно, что в качестве основного классификационного признака целесообразно использовать уровень функциональной самостоятельности беспилотного летательного аппарата (БЛА), входящего в БАС. Этот уровень полностью определяется интеллектуальным совершенством его бортового комплекса, который должен полностью согласовываться с техническими решениями, заложенными в конструкцию. По данному критерию сегодня устойчиво выделяется четыре группы БАС.

**Дистанционно пилотируемый ЛА (ДПЛА)** – ЛА, непрерывно управляющийся оператором, находящимся вне ЛА. В БАС с ДПЛА все функции управления параметрами и функциональным поведением ЛА отданы оператору.

**Беспилотный автоматический ЛА (БПАЛА)** – ЛА, выполняющий свои функции в автоматическом режиме без связи с оператором, по заложенным в систему управления алгоритмам и программами функционирования. В БАС с БПАЛА все функции управления реализует программный комплекс с базой данных, используемые в системе автоматического управления (САУ).

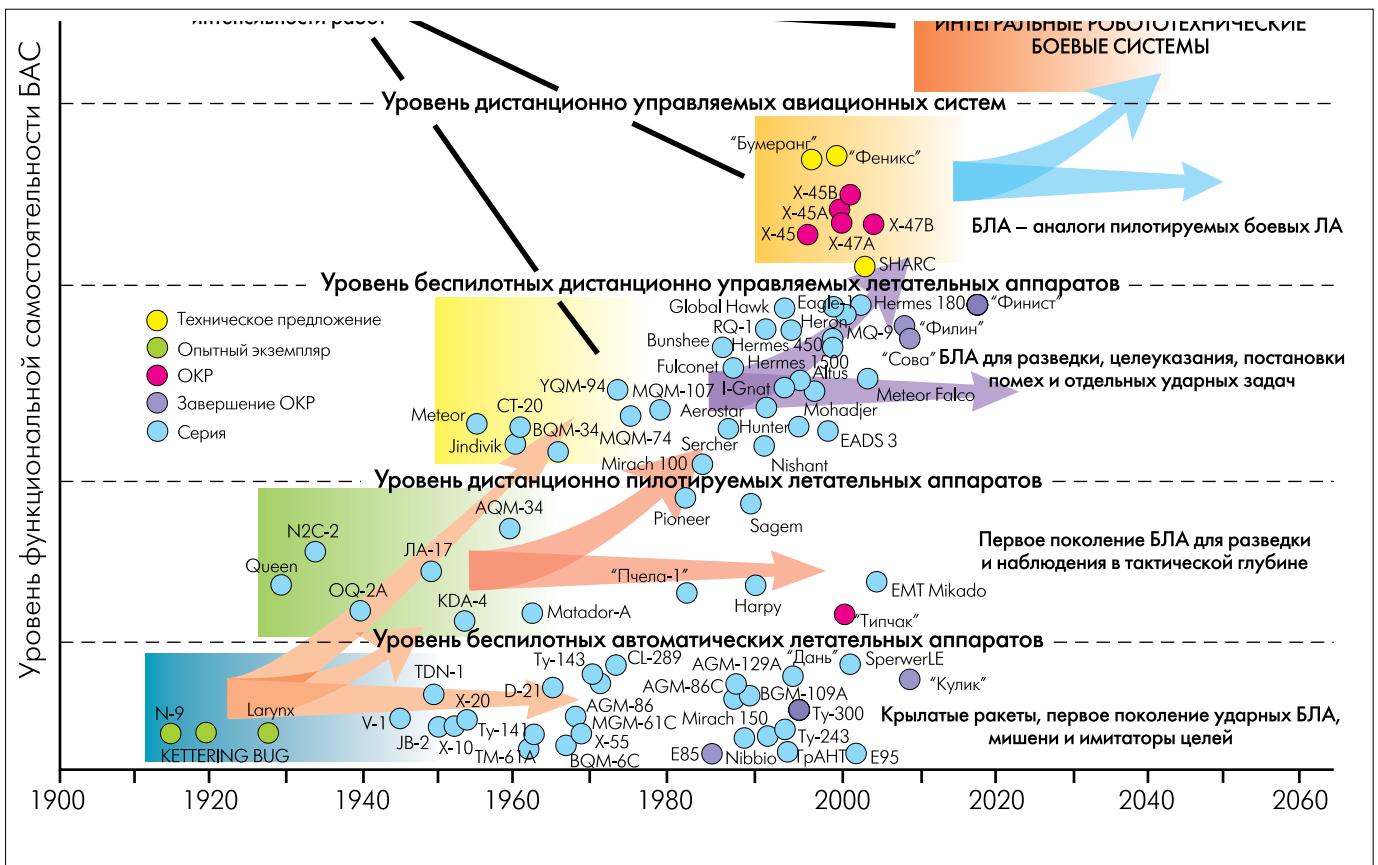
**Дистанционно управляемый ЛА (ДУЛА)** – это беспилотный автоматический ЛА, в управление которым допускается эпизодическое вмешательство оператора – в случае необходимости, для коррекции полетного задания или в аварийных условиях.

**Дистанционно управляемая авиационная система (ДУАС)** – это ДУЛА, оснащенный "интеллектуальной" САУ, позволяющей са-

мостоятельно динамически формировать алгоритмы выполнения поставленных задач. Например, решая задачу поиска нескольких объектов на определенной площади, для ДУЛА необходимо задавать траекторию полета в виде множества опорных точек. Напротив, концепция ДУАС предполагает общую постановку задачи – "поиск таких-то объектов на такой-то территории". И уже исходя из условий задачи, внешних условий и летно-технических характеристик бортовой вычислительный комплекс ДУАС определит необходимые траектории и сможет их динамически изменять в ходе полета. Вмешательство оператора в действия такой системы заключается в перенацеливании или постановке новой задачи.

Второе важное отличие ДУАС – способность организации автономного взаимодействия группы из нескольких БЛА. Причем оператор может взаимодействовать лишь с одним из БЛА в группе, который уже на основе полученного задания выдает целеуказания и определяет поведение всей группы. Подобные системы сейчас начинают внедряться, в частности в ВС США.

По сути, ДУАС – это беспилотный аналог пилотируемых ЛА. Для ее функционирования необходим высокопроизводительный бортовой вычислительный комплекс, который требует существенных энергетических ресурсов. С одной стороны, это означает, что оснащенный им ДУАС должен обладать высокими энергетическими и массогабаритными характеристиками. Но по мере развития микроэлектронных технологий, учитывая специфичность задач бортового вычислителя, это оборудование становится все миниатюрнее и менее энергоемким.



**Рис.3. Тенденции развития мирового парка БАС по уровню функциональной самостоятельности**



Отметим, что каждый из приведенных типов классификации по признаку автономности соответствует своей группе сложности решаемых задач. Кроме того, стоимостные характеристики БЛА также существенно зависят от его автономности. Это означает, что для экономически эффективного решения различных задач необходим парк всех перечисленных типов БЛА. Каждый из них имеет собственные уникальные конструктивные особенности и поэтому не может быть получен методом масштабирования одного в другой и/или путем простого усложнения бортовой аппаратуры.

Обобщение статистики по БАС [1, 2] в терминах приведенной классификации позволяет определить тенденции развития мирового парка беспилотной техники (рис.3). Очевидно, что расширяющиеся технологические возможности позволяют разработчикам создавать "полноценные аналоги" пилотируемых ЛА. При этом ведутся разработки как перспективного бортового оборудования, так и сложных многоуровневых алгоритмов функционирования перспективных БАС.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ДИАПАЗОН ВЫСОТ И СКОРОСТЕЙ

В качестве основной характеристики БАС используется эксплуатационный диапазон высот и скоростей БЛА (рис.4). Диапазон высот и скоростей прямолинейного горизонтального полета обычно называют область, в которой БЛА способен совершать прямолинейный горизонтальный полет с постоянной скоростью без внешних возмущений. Как видно из рис.4, диапазон высот и скоростей ограничен линиями минимально  $V_{\min}(H)$  и максимально  $V_{\max}(H)$  допустимых скоростей полета. Внутри диапазона располагается линия полетов с максимальным аэродинамическим качеством  $K_{\max}$ , соответствующая максимальной продолжительности полета. Эксплуатационный диапазон высот и скоростей полета (заштрихованная область) представляет собой область, ограниченную минимально допустимой нормальной перегрузкой  $n_y = 1,02$  (минимальное ускорение

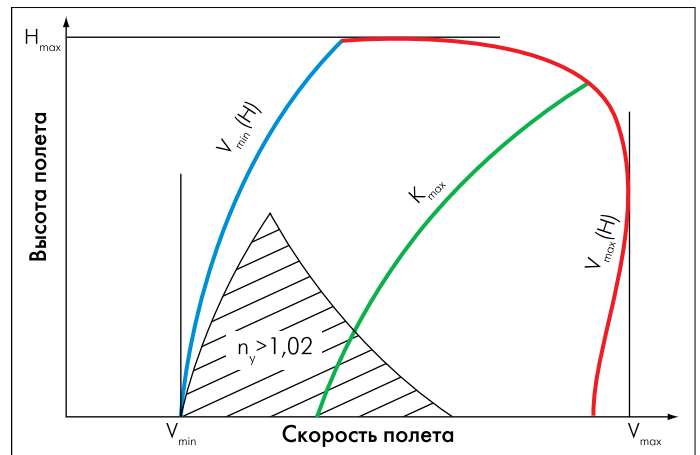
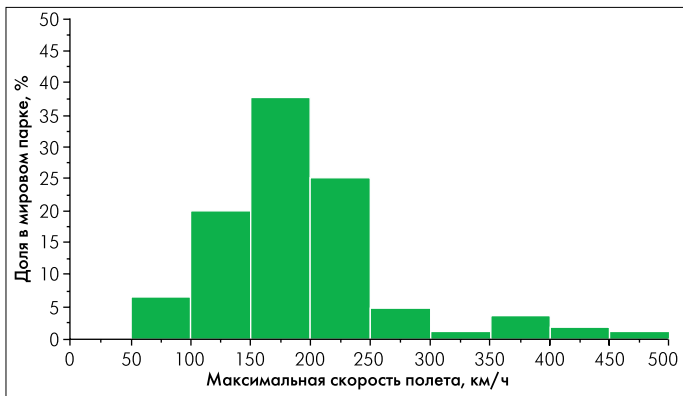


Рис.4. Пример диапазона высот и скоростей БЛА

в единицах  $g$ , обеспечивающее выполнение маневра). Она соответствует полету на высоте 200 м в установившемся вираже с радиусом 600 м и скоростью 123–124 км/ч. Такая перегрузка возникает при вертикальном порыве ветра 0,08–0,12 м/с.

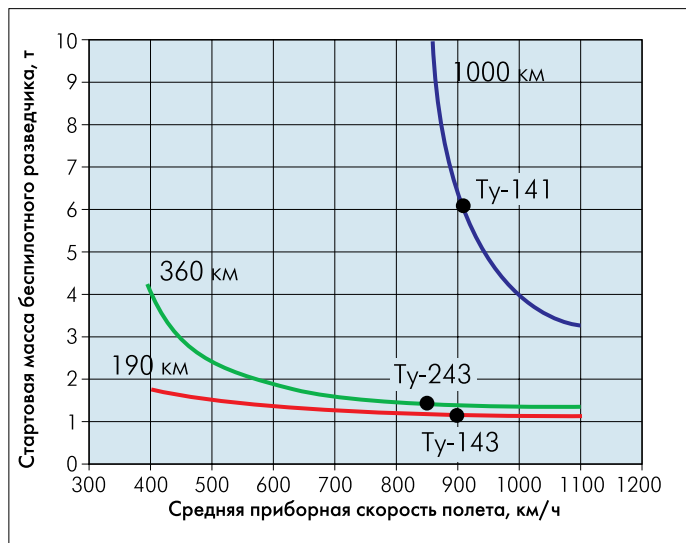
Внутри эксплуатационного диапазона энергетика силовой установки БЛА и его аэродинамика обеспечивают заданную скорость и высоту горизонтального полета при стабилизации углового положения планера с заданной точностью. Иными словами, если БЛА в полете, находясь вне эксплуатационного диапазона высот и скоростей, подвергается внешнему воздействию в виде порыва ветра или потребуются изменить направление полета, создавая перегрузку, его скорость и высота полета изменяются до уровня, находящегося внутри или на границе эксплуатационного диапазона, т.е. управлять полетом БЛА вне эксплуатационного диапазона невозможно. Физическое определение эксплуатационного диапазона высот и скоростей БАС является сложной технической задачей, которая под силу предприятиям, имеющим возможность проведения всесторонних и дорогостоящих летных испытаний. Однако можно существенно сокра-



**Рис.5. Гистограмма распределения мирового парка БЛА по максимальной скорости полета**

тить их объем, если предприятие владеет методиками и вычислительными мощностями для их симуляции.

Важность эксплуатационного диапазона высот и скоростей БЛА в том, что эта характеристика определяет условия его применения и диапазон решаемых задач. Однако не менее 80% мирового парка БЛА обладают эксплуатационным диапазоном высот и скоростей, стремящимся к точке. Относительно широкий эксплуатационный диапазон необходим для полетов в сложных климатических условиях, при существенной ветровой нагрузке или в местности со сложным (горным) рельефом. Ширина эксплуатационного диапазона определяется энерговооруженностью БЛА. При малом эксплуатационном диапазоне противодействовать внешним факторам можно в основном только за счет изменения углового положения БЛА. В этом случае в условиях полета в турбулентной атмосфере амплитуда колебаний БЛА по тангажу (в продольном канале) может достигать 5°. При малых значениях осевых моментов инерции планера или наличии больших удлинений фюзеляжа и крыла возникает проблема обеспечения стабилизации целевого оборудования, особенно удаленного



**Рис.6. Взаимосвязь функциональной скорости БЛА с его стартовой массой. Кривые соответствуют классам БЛА с заданной дальностью полета. Точками отмечены конкретные БЛА**

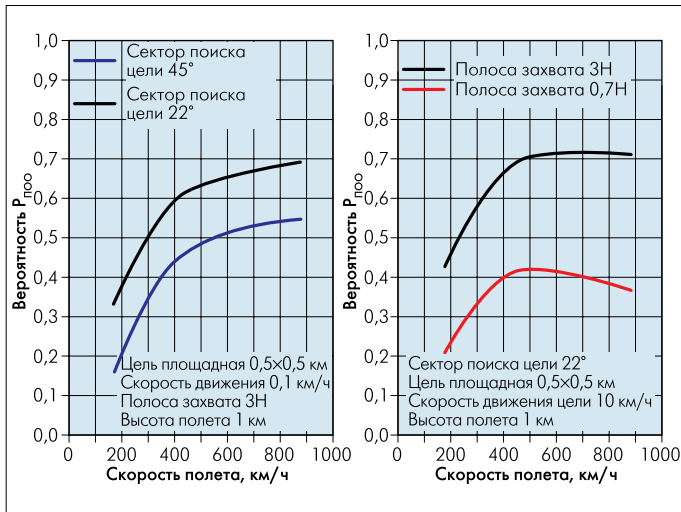
от центра масс БЛА. Решение этих проблем требует существенного усложнения САУ, систем стабилизации и учета характеристик упругости планера. Необходимо использовать либо тяжелые и сложные гиросtabilизированные платформы (что далеко не всегда возможно), либо работа бортового оборудования серьезно затрудняется. В частности, для оптикоэлектронных систем ошибка в определении местоположения объекта на земле может достигать 100 калибров объекта – с высоты 200 м ошибка определения координаты человека может составить 100 м, что совершенно недопустимо.

Расширение эксплуатационного диапазона позволяет упростить систему управления, перейти от тяжелых гиросtabilизированных платформ к электронным инерционным датчикам и программным системам стабилизации, обеспечить приемлемые режимы работы бортового оборудования. Но решается эта задача за счет правильного выбора аэродинамики и энерговооруженности БЛА. Например, малоразмерные БЛА принципиально не способны обладать широким эксплуатационным диапазоном – соответственно, БАС для выполнения детальной разведки целей при удовлетворении прочих функциональных требований (выживаемость, точность определения координат целей и т.п.) не могут быть меньше определенных пороговых величин. С другой стороны, микро- и малые БЛА должны применяться для решения задач, в которых, например, не требуется высокая точность определения координат, детализация наблюдаемого объекта, а также в приемлемых погодных условиях. В этом случае в широком эксплуатационном диапазоне нет необходимости.

**МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОЛЕТА**

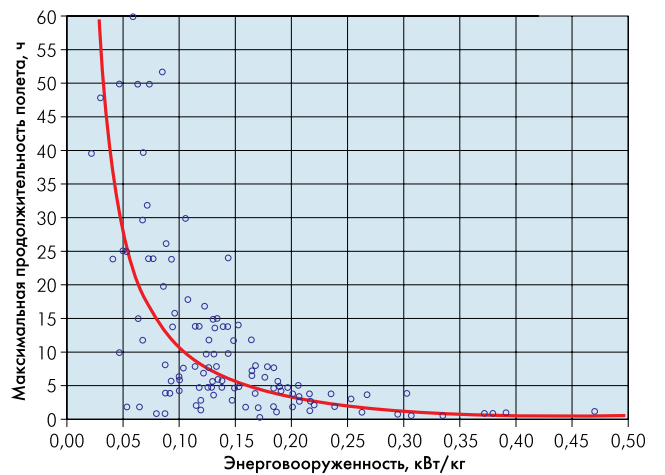
Вторым важным параметром, характеризующим БЛА и БАС на его основе, является максимальная скорость полета. Подавляющая доля мирового парка БЛА имеет максимальную скорость  $V_{max}$  в диапазоне 125–220 км/ч (рис.5). Функциональная скорость (скорость, на которой реализуется функциональное назначение БЛА) этих БЛА составляет примерно 60–70% от  $V_{max}$ . Этот факт также подтверждает тезис о том, что основная масса БАС создается небольшими предприятиями с относительно скромными технологическими возможностями. Создание скоростных БЛА – существенно более сложный технологический процесс. Например, на рис.6 приведены результаты исследований зависимости массы от функциональной скорости. Задав таким функциональным требованием к различным типам советских БАС, как глубина разведки, разработчики получили кривые зависимости массы от скорости и выбрали оптимальные значения для конкретных БЛА. Видно, что чем больше глубина проведения разведки, тем сильнее сказывается на массе функциональная скорость БЛА.

С функциональной скоростью связана и результативность БАС, выражающаяся в виде вероятности выполнения задания, например – поиска подвижной площадной цели (дрейфующая



**Рис.7. Взаимосвязь вероятности обнаружения подвижной площадной цели (дрейфующая льдина с людьми, боевое подразделение в рассредоточенном порядке и т.п.) со скоростью полета БЛА и параметрами его бортового комплекса**

льдина с людьми, боевое подразделение в рассредоточенном порядке и т.п.) (рис.7). Этот пример отражает зависимость технического облика БАС от перечня решаемых им задач и служит иллюстрацией того, что планер и его системы, являющиеся составными частями БЛА, вносят очень весомый вклад в уровень совершенства БАС. Иногда решающий.



**Рис.8. Влияние взлетной энерговооруженности на максимальную продолжительность полета БЛА**

### ЭНЕРГОВООРУЖЕННОСТЬ

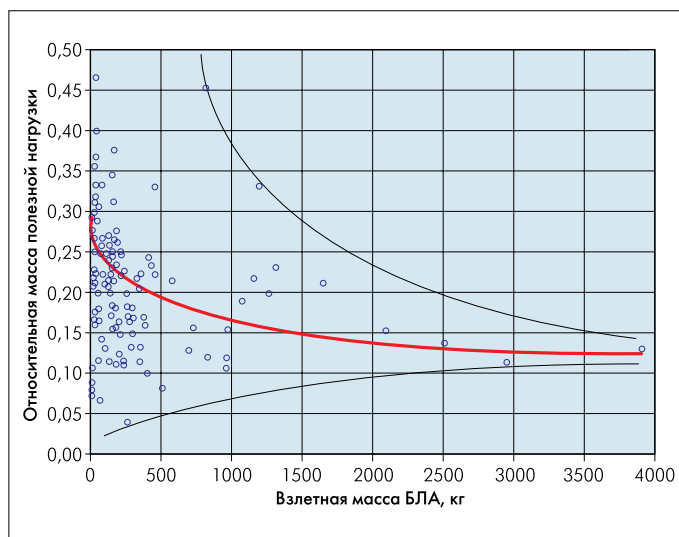
Еще один важнейший показатель БЛА – его взлетная энерговооруженность. Статистика (рис.8) показывает однозначную связь этого параметра с важнейшим летно-техническим параметром – максимальной продолжительностью полета. Видно, что для увеличения максимальной продолжительности полета БЛА необходимо снижать мощность двигателя. Однако не для всех климатических зон такой под-

ход возможен. В районах с относительно высоким уровнем ветровой нагрузки (более 8 м/с [3]) применение БЛА с энерговооруженностью менее 0,2–0,25 кВт/кг проблематично – невозможно выдерживать заданные параметры полета. Следует также учитывать отбор мощности двигателя для обогрева аэродинамических поверхностей, чтобы предотвратить их обледенение.

### ОБЪЕМ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ

Не менее важным показателем развития БАС является величина относительной полезной нагрузки  $E_{пн} = M_{пн} / M_0$ , где  $M_0$  и  $M_{пн}$  – стартовая масса БЛА и масса полезной нагрузки, соответственно. Результаты обработки статистики по мировому парку БЛА (рис.9) показывают, что диапазон относительных масс полезной нагрузки с уменьшением размерности БЛА по стартовой массе существенно увеличивается. Это объясняется большой дискретностью по массе выпускаемого оборудования для решения задач наблюдения и разведки (оптоэлектронное оборудование, датчики излучения), бортовых систем (рулевые машинки, источники питания и т.п.). Велика дискретность и по мощности двигателей. Кроме того, в ряде случаев достаточно низкая или высокая величина  $E_{пн}$  обусловлена волюнтаризмом разработчиков при выборе размерности планера и технологии его изготовления. Следовательно, для оптимизации БАС необходимо создание комплектов полезной нагрузки для каждого класса размерности БЛА.

Также необходимо учитывать проблемы комплексирования различных по физической природе датчиков в рамках одного состава полезной нагрузки, устанавливаемой на борт БЛА для конкретного полета. Стремление постоянно иметь на борту полный комплект оборудования, вне зависимости от реальной потребности конкретного полета, влечет заметное снижение функционально-экономической эффективности БЛА. Однако подобная тенденция наблюдается, что связано со стрем-



**Рис. 9. Взаимосвязь относительной массы полезной нагрузки со взлетной массой БЛА**

лением уменьшить типоряд БЛА за счет наращивания универсальности полезной нагрузки. Но в этом случае более эффективен модульный принцип в реализации БЛА [4]. Он подразумевает, что БЛА конструктивно допускает смену контейнеров с разного рода бортовым оборудованием. Зачастую более эффективно использовать несколько БЛА с различной полезной нагрузкой, чем один – с универсальной.

Сложности адаптации БЛА к конкретным условиям, проблемы применения БЛА для решения различных задач в полной мере нашли свое отражение в накапливающемся опыте эксплуатации немногочисленных отечественных БЛА. Несмотря на множество восторженных и оптимистичных заявлений разработчиков и производителей БЛА, у эксплуатантов этой техники постепенно накапливается объективное понимание возможностей беспилотной техники и осознание того, что эффективность применения этой техники зависит от множества факторов, связанных с ее созданием – от формулировки исходных требований до организации процесса разработки и производства.

В целом, сегодня БЛА представляют собой достаточно дорогостоящие объекты (в среднем стоимость 1 кг БЛА колеблется от 3 до 8 тыс. долл. – в разы выше, чем для пилотируемых ЛА), в создание которых ведущие мировые страны вкладывают немалые средства. Только в США государственные инвестиции в разработку и исследования проблематики БАС с 2003 года составляли не менее 1 млрд. долл. в год, а с 2005 – не менее 2 млрд. долл. По планам, объем инвестиций только со стороны МО США с 2005 по 2011 год превысят 17 млрд. долл. [5]. Это означает чрезвычайную важность комплексного и согласованного подхода к их созданию, к интеграции усилий всех заинтересованных сторон – и эксплуатантов, и разработчиков радиоэлектронного оборудования, бортовых систем, а также авиационных комплексов в целом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Unmanned Aerial Vehicles and Targets. Issue Twenty-three – November 2004.
2. Ганин С.М., Карпенко А.В., Колногоров В.В., Петров Г.Ф. Беспилотные летательные аппараты. – С-Пб.: Невский бастион, 1999.
3. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
4. Ростопчин В.В., Федин С.И. Применение беспилотных летательных аппаратов в борьбе с распространением наркотических веществ. – www.uav.ru, 2006.
5. Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005–2030. – DoD, Office of the Secretary of Defence, 2005.