

# Микропланы:

от шедевров конструирования — к серийным системам

*Авиамоделизм как замечательное хобби, увлекательный вид спорта и колыбель авиаконструкторов с недавних пор стал прародителем нового направления в развитии авиационной техники — микропланов. Потребности миниатюризации технических устройств в рамках новой концепции робототехники, получившей наименование технологий микроэлектромеханических систем (MEMS) [1], наконец-то востребовали накопленные за годы развития авиамоделизма теоретические наработки по аэродинамике малоразмерных летательных аппаратов и богатый практический опыт их создания. В совокупности с успехами микроэлектроники все это послужило основой для развертывания в США и Европе широкомасштабных исследований по формированию конструктивного облика прототипов нового поколения авиатехники.*

В соответствии с принятой классификацией к микропланам (MAV, micro air vehicle) сегодня относят миниатюрные летательные аппараты, максимальные размеры которых составляют около 6 дюймов (15 см). Именно такой размах крыльев при массе 85 г имеет демонстрационный образец MicroSTAR, серию летных испытаний которого начали проводить с января 1999 г. Пентагон и фирма Локхид Мартин [2]. Ожидается, что в ближайшем будущем габариты микропланов могут быть существенно уменьшены, вплоть до размеров крупных насекомых. В пользу осуществимости такого прогноза свидетельствуют успешные попытки создания прототипов микропланов, помещающихся на ладони (рис.1).

В качестве главных потребителей нового вида летательных средств рассматриваются, прежде всего, силовые ведомства. По взглядам военных аналитиков, воздушные микроаппараты (ВМА)

размером с кирпич или меньше в недалеком будущем позволят значительно расширить возможности проведения боевых и разведывательных операций. Оснащенные миниатюрными фото-, телекамерами и другими датчиками ВМА дадут возможность располагать мгновенной информацией относительно непосредственного военного окружения, лишая неприятеля малейшей возможности внезапных боевых действий.

Как известно, наиболее уязвимым местом современных военных технологий является ограниченная возможность уничтожения вражеских отрядов, действующих в условиях большого города или джунглей, то есть там, где есть свобода скрытного перемещения. В особенности актуальна данная проблема для миротворческих сил ООН. "Рой" ВМА, подобный стае птиц (рис.2), будучи направленным в сторону противника, обеспечит высококачественное наблюдение за подконтрольной территорией в реальном времени. Небольшие размеры и практически бесшумная работа этих аппаратов позволяют вести наблюдение скрытно, особенно в лесных зонах. Противник может уничтожить отдельные аппараты, но ему почти невозможно уничтожить все, учитывая их малые размеры. С другой стороны, миниатюрность ВМА позволяет каждому солдату хранить их в специальном ранце и использовать микропланы индивидуально в качестве дистанционной "высокоманевренной пары глаз" для поиска вражеского персонала и оценки обстановки в условиях города.

Другие предложения относительно использования ВМА касаются радиационного мониторинга, локализации местоположения источников опасных биотоксинов или химикатов, прецизионной доставки небольших боеприпасов, в том числе внутрь зданий, формирования "роем" аппаратов мобильной антенной решетки для ведения радиотехнической разведки, создания помех системам ра-

диосвязи, спутниковой навигации и радиолокации. В частности, по данным [3], существующие средства GPS-навигации теряют работоспособность при воздействии одиночного источника помехи мощностью всего лишь 0,25 Вт с дальности 4 км. Ясно, что подлетев на более близкие расстояния, микроплан сможет эффективно подавить GPS-средства при гораздо меньших мощностях генератора помех. По мнению представителей Управления перспективных оборонных исследований США (DARPA), для превращения в серьезный тактический фактор микропланам необходимо иметь способность к "выполнению боевой задачи" в течение 20-60 мин на расстояниях 30-70 км [2]. При этом их стоимость не должна превышать 1000 \$.

Применение ВМА в невоенных целях может предусматривать, к примеру, решение задач контроля воздушных загрязнений взамен метеорологических зондов. Единичные ВМА могли бы обеспечивать телефонные переговоры в условиях города, а при оснащении чувствительными инфракрасными датчиками осуществлять поиски людей в домах во время пожара, участвовать в ночных поимках преступников. Такой микроробот-помощник не стал бы лишним и в снаряжении туристов, геологов. Ориентируясь на оптимистичные прогнозы в отношении перспективной роли микропланов, наиболее интенсивную разработку таких устройств сегодня осуществляют фирмы США и Великобритании, среди которых в первую очередь необходимо отметить D-STAR Engineering, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Vanderbilt University, чей оригинальный проект показан на рис.3.

В основе всех достижений такого рода лежит уменьшение размеров и повышение быстродействия микропроцессоров, а также качественно новый уровень технологического прогресса, позволившего конструировать миниатюрные версии функционально необходимых уз-

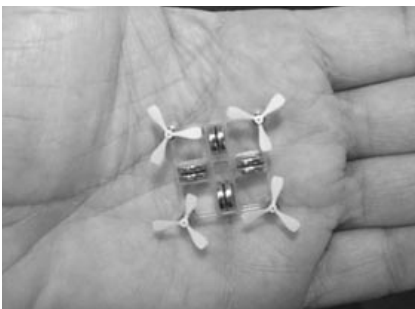


Рис.1



Рис.2

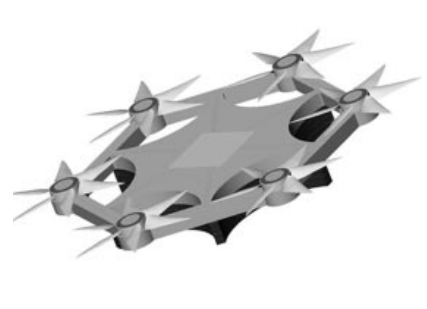


Рис.3

лов. Наиболее важная технология, применяемая во многих ВМА, была создана в 1995 г., когда в лаборатории Линкольна (MIT) разработали телекамеру на микросхеме, а также проект микро-самолета для ее транспортировки. Другим важным достижением явились упомянутые выше MEMS-технологии, необходимые для создания двигателей, камер сгорания, шасси, средств управления полетом, а также конструирования микроприборов типа акселерометров.

Однако жесткие технические требования, предъявляемые проектировщиками к ВМА, порождают на данный момент ряд уникальных проблем, связанных с небольшими размерами микросамолетов. Основных технических проблем - три. Первая связана с аэродинамической устойчивостью и созданием достаточной подъемной силы. При 15-сантиметровом размахе крыльев осуществлять полет по законам аэродинамики довольно сложно. При таких размерах увеличивается вероятность "клевков", летательный аппарат имеет незначительную подъемную силу, что в комплексе с относительно медленным движением приводит к недостаточно эффективному набору высоты. Между тем микроаппарат должен обладать способностью летать в турбулентных потоках, при скорости ветра до 25-30 км/ч, выполнять крутые развороты около зданий и совершать неоднократные подъемы на высоту до 1000 м. ВМА должны быть достаточно устойчивы в полете, чтобы обеспечить высокое качество транслируемого изображения при использовании их в роли видеоплатформ.

Группа исследователей Стенфордского университета и компании M-DOT для решения аэродинамической проблемы предлагает использовать принципиально новый класс летательных аппаратов Mesicopter, представляющих собой много-роторное подобие вертолета (рис.4) [4]. Управляя количеством оборотов каждого ротора, предполагают изменять угол атаки аппарата и тем самым оптимально адаптировать пространственную ориентацию его корпуса под воздушные потоки. Примечательно, что разработка месикоптеров изначально

ориентирована на достижение сантиметровых габаритов микроплана с последующим снижением их до нескольких миллиметров. В настоящее время разрабатывается два прототипа с диаметром корпуса 3 и 1 см, которыми будет управлять 4-6 электродвигателей, каждый с внешними габаритами в пределах от 3 до 1 мм и мощностью приблизительно от 100 до 10 мВт. Первоначальный вариант предполагает установку на борту собственных батарей питания. Более поздние версии планируют оборудовать достаточным количеством датчиков и интеллектуальной бортовой системой управления.

Очевидно, что с проблемой эффективной аэродинамики тесно связана и другая, касающаяся управления полетом микропланов и их навигации. В последнее время в ее решении наметился определенный прогресс, связанный с дальнейшей миниатюризацией электронных компонентов, развитием технологии систем на одном чипе. Так, наименьший из известных ныне GPS-приемников GPS2020, разработанный дочерней фирмой SyChip компании Lucent Technologies, имеет габариты 11x14x3,5 мм [5], что позволяет использовать его в качестве бортового навигационного средства. В модуле таких размеров удалось разместить 12-канальный приемник радиосигналов, сигнальный процессор и 8 Мбайт флэш-памяти. Как возможный вариант следует рассматривать и использование внутренней системы автономной навигации (INS), которая при известных координатах точки старта определяет отклонение от направления движения, ускорение и высоту, вычисляет текущие координаты. Однако серьезное влияние на точность такой навигации могут оказывать ветры и вызванные ими атмосферные возмущения, способные сбивать с курса столь миниатюрные летательные аппараты. По этой же причине значительную угрозу для ВМА представляют грозы и бури. С учетом указанных факторов оптимальным решением является

комплексирование на борту ВМА нескольких разнотипных навигационных систем.

И все же самой большой проблемой в создании эффективных микропланов является получение приемлемых по характеристикам двигателей. Все известное многообразие подходов к их созданию так или иначе группируется вокруг разработок двигателей четырех основных типов: двигателей внутреннего сгорания (ДВС), электродвигателей (ЭД), так называемых химическо-мускульных (ХМД) и турбореактивных. ДВС сравнительно дешевы, малогабаритны. Например, Сох 010 (Estes) является наименьшим двигателем внутреннего сгорания в мире, который выпускают серийно [2]. При объеме 0,2 см<sup>3</sup> он обеспечивает вращение винта диаметром 5 см со скоростью 30 тыс. об/мин и развивает мощность около 40 Вт. Однако для работы Сох 010 и других ДВС в течение 20 мин полета, а тем более 1 ч, требуется столько топлива, что его не в состоянии поднять в воздух ни один микроплан. Кроме того, ДВС чувствительны к влажности и температуре воздуха, а шумы и вибрации, неизбежно возникающие при их работе, мешают вести наблюдение.

Электродвигатели более надежны, бесшумны, меньше вибрируют. Но эффективность батарей питания ограничена их массой, к тому же достигнутая на сегодня удельная емкость батарей на 1 г массы позволяет обеспечить не более 15 мин полета, что не удовлетворяет требованиям Пентагона. Поэтому разработчикам пока что остается ждать усовершенствования технологии изготовления аккумуляторных батарей или использовать другие средства производства электроэнергии. В частности, довольно интересной является идея привлечения ректенных технологий, при которых в качестве источника питания используется наземный СВЧ-генератор [6]. Его излучение принимается расположенной на борту микроплана антенной, детектируется и используется для элек-

E-mail: ra@sea.com.ua http://www.sea.com.ua/ra



Рис.4

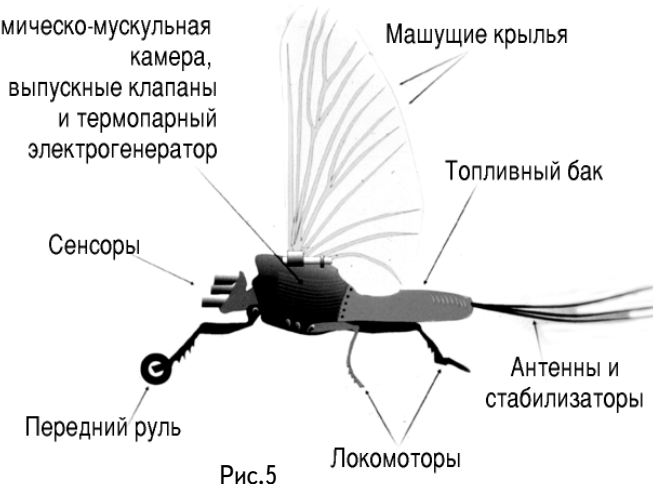


Рис.5

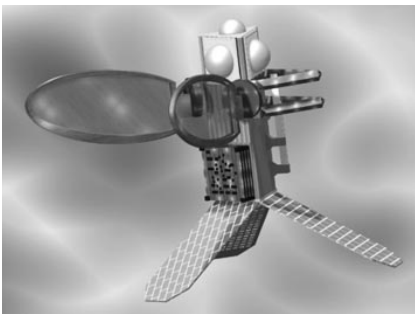


Рис.6



Рис.7

тропитания. Перспективным вариантом источников тока для ВМА могут быть также химические топливные элементы. Например, выпускаемый фирмой Beaswood (штат Огайо, США) элемент IGR имеет массу меньше 30 г и способен поддерживать мощность 20 Вт в течение часа. Данный твердотопливный элемент толщиной 1 см и размером с кредитную карточку имеет кожух из нержавеющей стали и нечувствителен к влажности воздуха. В состоянии разработки находится другой тип двигателей для ВМА - химическо-мускульные. Их планируется устанавливать на микроаппаратах, получивших название энтомоптеров. Энтомоптеры (рис.5, 6) больше похожи на огромных насекомых, чем на традиционные самолеты. Они имеют машущие крылья и "ноги"- опоры, могут зависать в заданной точке пространства, "прыгать" или двигаться по земле, что невозможно для ВМА с фиксированным крылом. Однако специалисты полагают [2], что для разработки достаточно эффективных ХМД, пригодных к установлению на энтомоптеры, понадобится еще несколько лет.

В целом же наиболее перспективным двигателем для ВМА может оказаться турбореактивный. Его преимущества -

большая мощность, возможность обеспечить высокие скорости полета и относительно малые вибрации. Конструкторы стараются уменьшить размеры реактивных двигателей. Так, например, специалисты газотурбинной лаборатории MIT работают над двигателем из карбида кремния диаметром 1 см и толщиной 3 см, который будет иметь мощность 10-20 Вт. Исследователи надеются завершить данную разработку до 2002 г. Тем временем инженеры компании M-DOT занимаются созданием альтернативного турбореактивного двигателя размером с куриное яйцо, массой 78 г и мощностью 1,5 кВт. Для этого предварительно им пришлось разработать новые передовые технологии такие, как восковое микролитие, лазерная сварка и формирование деталей из жести толщиной 100 мкм, а также изготовить электрический топливный насос объемом всего 1 см<sup>3</sup>. Исследователи надеются завершить все указанные разработки на протяжении трех лет. После завершения испытательных работ турбореактивный двигатель M-DOT будут выпускать серийно.

Таков далеко неполный перечень лучших мировых достижений в решении проблемы создания нового, крайне оригинального вида авиационной техники.

Пока что достигнутые успехи достаточно скромны, но как знать, возможно уже к 2010 г. микроаппараты станут обычным явлением.

**P.S.** Интенсивная разработка миниатюрных аппаратов происходит сейчас не только в области авиационной техники. Так, американские ученые создали нового робота, который может оказаться самым маленьким в мире. Однако, несмотря на свои размеры, он может быть использован для выполнения таких заданий, которыми сейчас занимаются гораздо большие по размерам машины. Автономный робот объемом всего 2,5 см<sup>3</sup> и массой 28 г спокойно уместается на монете в пять американских центов (рис.7). Передвигается такое чудо техники на небольших колесиках, проезжая в минуту около 50 см. Робот оборудован температурным датчиком, и ученые планируют встроить в него миниатюрные камеры, микрофоны, инфракрасные датчики и миниатюрную радиостанцию.

#### Литература

1. Nadim Maluf. *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. - 2000. - 290 p.
2. *Micro air vehicles*. - <http://www.ukdf.org.uk/ts6.html>.
3. *NavWar - The New Electronic Warfare. Division of Command and Control Warfare Technology Annual Report 1998*. - FOA-R-99-01089-503,504,616 - SE. - April, 1999.
4. Robert Merz, Fritz B. Prinz. *Rapid Prototyping of Mesoscopic Devices // Proceedings of the Seventh International Conference on Rapid Prototyping, San Francisco, CA, (April 3, 1997)*.
5. <http://www.sychip.com>.
6. *MicroUAVs Possible in Near Future*. / [www.defenselink.mil/news/Jan1998/n01071998\\_9801072.html](http://www.defenselink.mil/news/Jan1998/n01071998_9801072.html).

## Копирование в домашних условиях

Ю. Бородатый, Ивано-Франковская обл.

Фотокопию можно получить и без фотоаппарата с помощью фотоувеличителя. Отечественная пленка МЗ-3Л - прекрасный материал для снятия фотокопий. Пленка экспонируется и обрабатывается при красном свете.

Вставьте в фотоувеличитель любой четкий (эталонный) негатив и, включив увеличитель, спроектируйте его изображение на копируемый материал. Выключите увеличитель и осторожно (чтобы не сбить установленную резкость) замените эталонный негатив кусочком пленки МЗ-3Л, вставленным в рамку для слайда. Осветите копируемый материал ровным "белым" светом. Вы получите негатив копируемого материала. Обработайте пленку так же, как и фотоумагу.

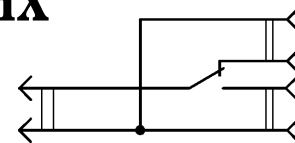
При работе удобно пользоваться педальным переключателем "красный фонарь-увеличитель" (см. рисунок), который освобождает руки при печатании фотокопий. При использовании педали красный фонарь не будет мешать на-

водке на резкость, а фотоувеличитель не засветит бумагу, пленку и не будет греться даром.

После работы химикаты (особенно проявитель) профильтруйте и храните в темноте и холоде в герметической таре.

После "нашествия" импортной фототехнологии фотолюбительство у нас стало экзотикой. Между тем у многих сохранилось оборудование, старая бумага и химикаты. Несмотря на просроченные сроки хранения их еще можно пустить в дело.

Фотокопирование позволяет изменять формат копируемого материала, хранить его уменьшенные копии (негативы), на что не способно большинство копируемых аппаратов. Кроме того, самый дешевый ксерокс все-таки много дороже фотоувеличителя.



E-mail: [ra@sea.com.ua](mailto:ra@sea.com.ua)

<http://www.sea.com.ua/ra>