



## Псевдоспутниковые технологии на основе использования функционально устойчивых комплексов дистанционно пилотируемых летательных аппаратов

О.А. Машков<sup>1</sup>, И.И. Самборский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Высшая аттестационная комиссия Украины

<sup>2</sup>Национальная академия обороны Украины

*Достаточно большое количество публикаций в области функционально устойчивых систем определяют необходимость анализа полученных результатов и их осмысления в общем контексте развития кибернетики и ее практических приложений. В статье предлагается характеристика данного научного направления, описание основных результатов и перспектив дальнейшего развития относительно новой теории функциональной устойчивости динамических систем применительно к проблеме построения перспективных дистанционно-управляемых летательных аппаратов (ДПЛА) с использованием новых псевдоспутниковых технологий.*

*ПСЕВДОСПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКИХ КОМПЛЕКСІВ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ, Машков О.А., Самборський І.І. — Досить велика кількість публікацій в області функціонально стійких систем визначають необхідність аналізу отриманих результатів та їхнього осмислення в загальному контексті розвитку кібернетики та її практичних додатків. У статті пропонується характеристика даного наукового напрямку, опис основних результатів і перспектив подальшого розвитку щодо нової теорії функціональної стійкості динамічних систем стосовно до проблеми побудови перспективних дистанційно-керованих літальних апаратів (ДКЛА) з використанням нових псевдосупутникових технологій.*

*PSEUDOSATELLITE TECHNOLOGIES BASED ON THE USE OF FUNCTIONALLY STABLE COMPLEXES OF REMOTE-PILOTED AIRCRAFTS, by Mashkov O.A., Samborskiy I.I. — A bundle of papers dealing with functionally stable systems requires the necessity of analyzing of obtained results and their understanding in a general context of cybernetic's development and applications. Description of this field of science, main results and perspectives of the new theory of functional stability of dynamical systems concerning the problem of remote-piloted aircrafts engineering using pseudosatellite technologies are proposed in the paper.*

Известно, что псевдоспутники рассматриваются как аналог спутников по способу получения информации, но при этом реализуются на основе более дешевых технических средств. Особенностью псевдоспутников есть то, что они являются уникальным средством, способным поддержать процесс получения информации в условиях отсутствия сигналов космических систем. Это наиболее важно для Украины, которая не имеет не только своего космодрома, но и космического информационного поля для решения многообразных задач (например, при подготовке и ведении боевых действий, а также в чрезвычайных ситуациях).

Сегодня в качестве псевдоспутников могут рассматриваться дистанционно-управляемые летательные аппараты (ДПЛА) или беспилотные автономно управляемые управляемые летательные аппараты (БПЛА). При этом летательные аппараты могут быть динамического типа (выполняют полет или движение в пространстве), или статического типа (аэростаты или вертолеты в режиме зависания).

Среди различных проблем создания и применения псевдоспутниковых технологий на базе дистанционно управляемых летательных аппаратов автором рассматривается проблема обеспечения их функциональной устойчивости в условиях внешних воздействующих (поражающих) факторов, а также возникновения особых (аварийных, катастрофических) ситуаций.

Проблемная ситуация, приведшая к возникновению данного научного направления, связана с разработкой в конце XX века сложных автономных технических систем, функционирующих в экстремальных условиях (прежде всего авиационно-космических и ракетно-космических систем). Их высокая стоимость и потенциальная опасность потребовали обеспечения соответствующего уровня надежности и безопасности применения. При этом традиционные методы, основанные на многократном резервировании, введении систем встроенного контроля и элементов с повышенным уровнем надежности, ухудшали технико-экономические характеристики проектируемых систем, не приводя к необходимому уменьшению вероятности возникновения опасных ситуаций. Необходимость введения дополнительной аппаратной избыточности для обеспечения надежности динамических систем стало принципиальным ограничением данного подхода.

Автором предложено рассматривать функциональную устойчивость как свойство сложной динамической системы, которое заключается в способности выполнять хотя бы установленный минимальный объем своих функций при отказах в информационной вычислительной, управляющей, энергетической частях системы, а также внешних влияний, что не предусмотрено условиями.

Первоначально потребность в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) была обусловлена разрывом между потребностями в информации и возможностями ее получения на тактическом и оперативном уровнях. Считается, что впервые боевой опыт использования БПЛА был получен в вооруженных силах Израиля в 1973 году, когда их применили для ведения разведки, а также в качестве ложных целей для борьбы со средствами ПВО. Анализ опыта строительства армий стран мира и недавних военных кампаний на Балканах, в Афганистане и Ираке заставляет обратить пристальное внимание на роль и место беспилотных летательных аппаратов БПЛА над полем боя. Налицо факт их широкомасштабного применения при подготовке и в ходе военных действий, особенно в вопросах ведения разведки. Более того, в ходе антитеррористической операции в Афганистане в 2002 году американцами впервые были применены БПЛА в качестве ударных средств, когда с беспилотного летательного аппарата RQ-1A Predator в горах была обнаружена группа боевиков, которая затем была уничтожена последующим пуском ПТУР Hellfire с борта этого же БПЛА.

Сегодня в мире наблюдается так называемый «*беспилотный бум*».

Обзор последних международных авиационных салонов убедительно свидетельствует, что БПЛА с каждым годом занимают все большее место, как в военной, так и в гражданской сфере. Причем наблюдается тенденция увеличения сегмента беспилотной авиации в странах Ближнего Востока, Юго-Восточной Азии, прежде всего собственной разработки. На сегодня рынок вооружений стран региона Ближнего и Среднего Востока, а также Северной Африки оценивается специалистами как один из наиболее перспективных.

Наиболее широко тема «беспилотников» разрабатывается на Западе. Программы по модернизации и разработке новых БПЛА остаются приоритетными, и их финансирование не сокращается, а непрерывно растет. В будущих войнах и конфликтах XXI века, по оценкам подавляющего большинства западных экспертов, США и страны НАТО будут делать ставку на применение сравнительно дешевых БПЛА. Слишком уж большой становится цена возможных потерь пилотируемых самолетов и летного состава. Стоимость современного самолета в настоящее время достигает \$50–60 млн., а на подготовку летчика надо потратить еще до \$10 млн. В то же время, многие задачи, возлагаемые на пилотируемую авиацию, могут с успехом выполняться боевыми БПЛА. Согласно прогнозам Forecast International, за десятилетний период до 2010 г. планируется произвести около 3000 разведывательных ЛА на общую сумму \$1,6 млрд. По заявлению председателя сенатского комитета по делам вооруженных сил США, «настал момент, когда Америка должна предпринять активные действия по разработке боевых БПЛА с тем, чтобы в ближайшие 10 лет заменить на беспилотные летательные аппараты не менее 30% боевых самолетов, предназначенных для нанесения ударов в глубоком тылу противника». Еще один известный американский специалист в области авиации Джон Варден, который был, по сути, «архитектором» воздушной войны в военной кампании против Ирака в 1991 году, считает, что к 2025 г. около 90% боевых самолетов будут беспилотными, и лишь 10% — пилотируемыми, находящимися в резерве для выполнения наиболее важных задач в условиях большой неопределенности. Согласно планам другого проекта, в ближайшее время тактический истребитель F-16 сможет нести до 16 одноразовых БПЛА типа LOCAAS (ценой \$33 тыс. каждый), а стратегический бомбардировщик B-2 — до 100 штук. Каждый такой БПЛА способен действовать в радиусе до 160 км от места запуска и может вести разведку целей с использованием лазерного радара. После идентификации цели бортовой системой опознавания она может поражаться боевой частью БПЛА весом 8,5 кг. В перечне наиболее перспективных технологий, позволяющих США иметь самые сильные в мире военно-воздушные силы, отмечаются также технологии беспилотной авиации.

Традиционным участником выставок вооружения в регионе за последние два года стала иорданская фирма Jordan Advanced Remote Systems (JARS), создавшая на сегодня семейство БПЛА. Среди последних разработок JARS на выставке IDEX-2005 был представлен электрический БПЛА Silent Eye. Из поршневых моделей иорданской фирмой предлагается система Jordan Arrow, используемая в качестве БПЛА-мишени. Другая модель — Jordan Falcon представляет собой тактический БПЛА для ведения разведки. Он может вести разведку днем и ночью на дальности до 50 км. БПЛА оборудован маломощным двигателем с запасом топлива, позволяющим осуществлять 4-х часовой полет.

Развитие беспилотных летательных аппаратов считается также одним из приоритетов для иранской авиапромышленности, что было продемонстрировано на авиасалоне Iran Airshow 2005 на острове Киш 18–21 января 2005 г. На нем было показано несколько иранских БПЛА, среди которых AM-79

и Ababil-1 от компании HESA, а также Saeghe-2, Talash-1, Talash-2 и Mohajer-2 компании Qods.

Во время недавней выставки Aero India 2005, проходившей 9–13 февраля, между Израилем и Индией было подписано соглашение о создании трех моделей беспилотных летательных аппаратов, которые поступят на вооружение индийской армии. Разработка будет вестись израильской компанией Israel Aircraft Industries в сотрудничестве с индийскими коллегами из Aeronautical Development Establishment.

Не случайно китайские специалисты заявляют о готовности разрабатывать высокоскоростные беспилотные летательные аппараты совместно с Россией. Об этом было заявлено на состоявшемся недавно в Пекине российско-китайском семинаре по беспилотным летательным аппаратам. По мнению российских и китайских авиационных специалистов, будущее именно за высокоскоростными БПЛА. «США делают акцент на разработке дозвуковых беспилотных летательных аппаратов. Однако, как показывают локальные конфликты, выживаемость таких БПЛА низкая. Для того чтобы такие аппараты могли преодолевать современную ПВО, необходимо существенно повысить их скорость», — отмечалось на семинаре. Российские и китайские специалисты высказались за объединение усилий по совместной разработке высокоскоростных БПЛА.

По мнению многих экспертов, глядя на обилие демонстрируемых в мире образцов БПЛА, поневоле начинает складываться впечатление, что беспилотная авиация скоро начнет доминировать над пилотируемой, особенно в военной сфере.

Активное развитие «беспилотников» обусловлено рядом их важных достоинств. Прежде всего, это отсутствие экипажа, относительно небольшая стоимость БПЛА, малые затраты на их эксплуатацию, возможность выполнять маневры с перегрузкой, превышающей физические возможности человека, большие продолжительность и дальность полета из-за отсутствия фактора усталости экипажа и другие преимущества по сравнению с пилотируемой авиацией.

По состоянию на начало этого столетия более 50 фирм в различных странах разрабатывали и выпускали БПЛА более 150 типов. Итоги широкомасштабного использования беспилотных летательных аппаратов в военной сфере позволяют в полной мере провести анализ возлагаемых на БПЛА задач, классификации их типов и особенности применения в различных условиях.

Специалисты выделяют основные существующие и перспективные задачи для ДПЛА (классификация по назначению):

1. Разведывательные задачи: разведка наземных целей;

- разведка воздушных целей и, как разновидность, разведка баллистических целей (боеголовки баллистических ракет), при применении в составе систем противоракетной обороны;
- разведка морских целей;
- разведка местности (как разновидность — разведка мин и минных полей);
- радиационная, химическая и биологическая разведка;
- разведка погоды (метеоразведка);
- радио- и радиотехническая разведка.

2. Огневые (ударные) задачи:

- нанесение ударов по наземным целям;
- нанесение ударов по морским целям;
- поражение элементов систем противовоздушной обороны (в первую очередь радиолокационных станций);
- борьба с воздушными целями;
- уничтожение боеголовок баллистических ракет при применении в составе систем противоракетной обороны.

3. Обеспечивающие задачи:

- постановка помех радио- и радиотехническим средствам противника, выполнение других задач радиоэлектронной борьбы;
- управление огнем и целеуказание наземным, воздушным и морским огневым средствам;
- оценка результатов нанесенных по противнику ударов;
- ретрансляция сообщений и данных;
- транспортные задачи.

Существует также классификация ДПЛА по организационным и техническим признакам:

- по масштабам применения: стратегические, тактические, как промежуточное звено — оперативные, т.е. решающие задачи в звене армия–фронт, оперативное командование;
- по принадлежности: применяемые в Министерстве Обороны, в Министерстве по Чрезвычайным Ситуациям, в Министерстве Внутренних Дел, в других министерствах и ведомствах);
- по габаритно-весовым характеристикам: миниатюрные, сверхмалые, малые, средние, большие;
- по возможности повторного применения: многоразовые и одноразовые;
- по аэродинамической схеме: самолетного и вертолетного типа;
- по способу старта: катапультного типа, как разновидность — запускаемые с руки, запускаемые со взлетной полосы (площадки);
- по способу посадки: самолетным способом (с пробегом), спускаемые на парашюте, улавливаемые различными приспособлениями (сетями и т.п.);
- по способу управления: управляемые оператором по линиям (каналам) управления, управляемые автоматически (по программе), с комбинированной системой управления;
- по виду применяемой разведывательной аппаратуры: фото- и видеоразведки в видимой части спектра, радиолокационной разведки, тепловизионной разведки, радио- и радиотехнической разведки, химической разведки, разведки погоды (метеоразведки);
- по времени получения собранной информации: в масштабе реального времени, периодически в ходе сеансов связи, после посадки;
- по виду базирования пусковой установки: наземные, воздушные, морские;
- по высоте применения: сверхмаловысотные, маловысотные, применяемые на средних высотах, применяемые на больших высотах;
- по дальности действия: сверхмалой дальности, малой дальности, средней дальности, большой дальности;
- по продолжительности полета: малой, средней и большой продолжительности.

Сегодня можно выделить следующие технические проблемы, которые сдерживают развитие ДПЛА. Наиболее существенной является задача обеспечения передачи информации по каналам связи между «беспилотником» и наземным пунктом управления в необходимом количестве, с заданной скоростью и без искажения. Данная задача решается путем увеличения пропускной способности и помехоустойчивости каналов передачи информации, а также сосредоточения на борту БПЛА максимума устройств, работающих в автономном (программном) режиме без необходимости постоянного обмена информацией с пунктом управления. Для выполнения задачи решается вопрос обеспечения связи с БПЛА через спутниковые каналы как наиболее устойчивые и надежные.

Другая проблема — уязвимость самих каналов передачи данных между ДПЛА и пунктом их управления. Эта проблема решается за счет закрытия линий связи, применения автономных БПЛА, использования спутниковых ретрансляторов и т.п.

Еще одна организационная и техническая проблема заключается в необходимости совместного применения группировки ДПЛА в единых боевых порядках, а также совместно с пилотируемыми летательными аппаратами. Уже к 2010–2013 гг. в США планируется создать системы, позволяющие реализовать с борта самолета типа F-22 управление группой боевых беспилотных летательных аппаратов. К 2015 г. американские специалисты планируют иметь все технологии, позволяющие реализовать в реальном времени процессы, определяющие функционирование боевой беспилотной авиации.

Требуется также своего рода решение проблемы распознавания целей боевыми ДПЛА при применении бортовых ударных средств. Удары по своим войскам и по мирным объектам очень болезненно воспринимаются во всем мире. Поэтому пока невозможно полностью исключить участие человека в контуре управления полетом ДПЛА. Важнейшая роль должна принадлежать ДПЛА на начальном этапе любого военного конфликта. В условиях, когда система противовоздушной обороны противника обладает большим потенциалом и не выведена из строя, ДПЛА могут сыграть ведущую роль в выполнении разведывательных, ударных и других задач, что позволит избежать потерь в пилотируемых летательных аппаратах и личном составе.

В настоящее время в странах НАТО ДПЛА рассматриваются как важная составная часть перспективных боевых систем для сухопутных войск. Общий комплекс БПЛА может включать несколько типов одиночных аппаратов:

«**Class I Unmanned Aerial Vehicle**», которые будут обслуживать подразделения армии будущего. Его вес, по прогнозам конструкторов, составит не более 7 кг. Разведывательный комплекс, состоящий

из двух аппаратов и пульта управления, будет весить 18 кг. Его можно будет упаковать в специальный ранец. Каждый ДПЛА будет способен находиться в воздухе до часа. Он будет действовать в автономном режиме, оператор будет лишь уточнять маршрут и назначать объекты для более пристального изучения. ДПЛА первого класса будет включен в общую информационную систему. Этот ДПЛА будет осуществлять разведку, наблюдение, а также целеуказание. В частности, он сможет уточнять данные, полученные из других источников, а также действовать в интересах небольших подразделений, в составе которых будет его оператор. Аппарат устроен по принципу вертолета, и поэтому он сможет подолгу «зависать» на одном месте, а также действовать в городе, лесу и другой местности, рельеф которой не позволяет роботам-самолетам снижаться до небольшой высоты.

**«Class II Unmanned Aerial Vehicle».** Характеристики беспилотного летательного аппарата второго класса будут примерно в два раза превышать соответствующие параметры первого. Он будет вдвое дольше находиться в воздухе, весить примерно в два раза больше. Если БПЛА первого класса будет обслуживать отделения и взводы, то этот ДПЛА будет передавать информацию командиром рот. В остальном его применение будет примерно таким же. Class II UAV будет осуществлять разведку, наблюдение и целеуказание, правда, координировать при этом он будет уже огонь более крупных сил — самоходных гаубиц и ракетных установок. БПЛА также сможет летать в городе и джунглях и, также, будет управляться с пультов, установленных в бронетранспортерах. Радиус действия этого аппарата — 16 км.

**«Class III Unmanned Aerial Vehicle».** ДПЛА третьего класса. У этого аппарата существенно расширяется спектр задач. Он будет выполнять те же миссии, что и ДПЛА первого и второго класса (правда, уже на батальонном уровне), но при этом сможет также поддерживать связь между отдельными подразделениями, разыскивать установленные мины, контролировать радиационную обстановку, а также наличие в воздухе химических веществ, следов воздействия биологического оружия. Этот аппарат также можно будет использовать для метеорологической разведки. ДПЛА третьего класса сможет взлетать с неподготовленных площадок — не обладая возможностью вертикального взлета, он, тем не менее, будет приспособлен для использования в самых суровых условиях. Радиус действия такого аппарата — 40 км. Он сможет находиться в воздухе около шести часов.

**«Class IV Unmanned Aerial Vehicle».** Радиус действия и время, которое этот ДПЛА может находиться в полете, значительно превышают показатели остальных моделей. Он может действовать на расстоянии до 75 км и находится в воздухе от 18 часов до суток. Спектр задач, который должен будет выполнять этот БПЛА, впечатляет: действия в составе авиационных групп (состоящих как из беспилотных, так и пилотируемых аппаратов), топографическая съемка, ретрансляция радиосигналов, химическая, бактериологическая, радиационная разведка с возможностью обработки полученных данных. Аппарат будет способен выполнять разведывательно-дозорные функции при помощи множества датчиков. Этот ДПЛА будет летать на высоте, которая позволит избежать поражения стрелковым оружием и легкими зенитными комплексами в любую погоду. Как и ДПЛА третьего класса, для взлета и посадки ему нужна будет небольшая взлетно-посадочная полоса.

Если говорить о потребности современной Украинской армии в ДПЛА и БПЛА, то их типы будут обусловлены изменениями в организационной структуре Вооруженных Сил Украины. В современных условиях в сухопутных войсках возрастает роль и значение, а также автономность при выполнении возложенных задач на части и соединения. Специалисты считают, что в составе сил и средств разведки целесообразно иметь соответственно отделение (расчет), взвод и роту (отряд, эскадрилью) беспилотных летательных аппаратов. Возможно, что в соединениях на вооружении должен находится легкий комплекс тактической разведки. В батальонном звене также необходим комплекс ДПЛА, скорее всего сверхмалого (переносного) класса, так как, согласно современным взглядам, именно мотострелковый (танковый, парашютно-десантный) батальон должен обладать полной самостоятельностью при решении возложенных на него задач. Создание отечественных миниатюрных ДПЛА в перспективе позволит довести их применение до ротного или взводного уровня. Таким образом, с учетом мнения ряда отечественных специалистов, можно заключить, что в составе Украинской армии целесообразно иметь ДПЛА и БПЛА следующих основных типов:

**1. Миниатюрные ДПЛА и БПЛА.** ДПЛА и БПЛА данного класса за счет своей практически полной невидимости в различных спектрах волн и бесшумности найдут применение для ведения разведки в условиях, требующих максимальной скрытности (включая возможность проникновения в помещения, занятые противником). Это очень актуально при ведении боевых действий в городе и в ходе антитеррористических операций. Современный уровень развития технологий, в первую очередь информационных, уже позволяет иметь такие аппараты (Для примера, в ходе исследований и разработок в США были созданы БПЛА размером не более 150 мм).

**2. Сверхмалые (переносные) ДПЛА и БПЛА.** Их задача — обеспечение разведывательной информацией небольших подразделений — до батальона включительно, групп специального назначения, других подразделений, выполняющих боевые задачи автономно (например, поисковых групп, спасательных формирований и т.п.). Их принадлежность определяет взлетная масса — 2–10 кг, полезная нагрузка — 0,5–2 кг, продолжительность полета — до 1 часа.

**3. Малые ДПЛА и БПЛА.** Для них присущ более широкий круг возлагаемых задач. Прежде всего, это ведение разведки, наведение (целеуказание) огневых средств, корректирование их огня, патрулирование местности, выполнение ударных задач, борьба с БПЛА противника. ДПЛА данного класса имеют массу 10–60 кг, полезная нагрузка 15–30 кг, радиус действия — до 60 км, продолжительность полета 4–5 часов. Характеристики ДПЛА этого класса уже позволяют устанавливать на нем РЛС миллиметрового диапазона. Запуск подобных ДПЛА требует наличия пусковой установки (как правило, размещенной на транспортной базе — автомобиле повышенной проходимости, бронетранспортере). Весь комплекс ДПЛА (включая аппаратуру управления, обслуживания, предстартовой подготовки) должен размещаться на 1–2 легких машинах.

**4. Средние ДПЛА и БПЛА.** Главным требованием к средним ДПЛА является их универсальность, т.е. способность применения в интересах сухопутных войск, Воздушных Сил, Военно-Морских Сил, других силовых ведомств, способность комплектоваться различным оборудованием и, соответственно, выполнять широкий спектр задач в зависимости от комплектации. Помимо задач, присущих БПЛА более легких классов, средние «беспилотники» должны вести разведку в интересах звена «часть» и «корпус» на глубину до 100 км, выполнять задачи радиоэлектронной борьбы, борьбы с ПВО противника, поиска экипажей сбитых летательных аппаратов, ретрансляции связи, доставки грузов, вести борьбу с наземными целями, применяя управляемые ракеты, а также с вертолетами противника. Их масса может достигать 250 кг, полезная нагрузка — до 60 кг, скорость не менее 200 км/ч, продолжительность полета — до 6 часов.

**5. Большие ДПЛА и БПЛА.** ДПЛА и БПЛА данного класса необходимы, прежде всего, для ведения стратегической разведки, когда нужны большая дальность и продолжительность полета, а также, в ряде случаев, и высота. Примером могут стать такие американские разработки, как RQ-4A Global Hawk и RQ-1A Predator. Они уже проявили свои достоинства в ходе локальных войн и военных конфликтов современности.

При определении потребностей украинских вооруженных сил в ДПЛА и БПЛА нужно исходить из того, что в условиях ограниченных финансовых ресурсов часть задач армейской авиации, выполняемых вертолетами, целесообразно возложить на ДПЛА и БПЛА, что позволит достичь некоторых результатов боевой деятельности с меньшими затратами. Украинские разработчики утверждают, что они имеют практически готовые конструкции, сопоставимые по своим характеристиками с характеристикам российских, американских и израильских БПЛА, которые считаются мировыми лидерами в этой области. При этом наши аппараты имеют меньшую стоимость.

Следует учитывать, что реализации проекта создания воздушного комплекса наблюдения за наземными целями «Эй-Джи-Э» НАТО планируется до 2010 г. Комплекс будет представлять собой систему визуального и радарного наблюдения, в состав которой будут интегрированы различные беспилотные и пилотируемые летательные аппараты с установленной на них соответствующей аппаратурой. Общая же стоимость программы, неофициально именуемой «Небесное око», составит €4 млрд.

В свою очередь, в своих практических шагах американцы пошли значительно дальше. DARPA, ведущая структура американского военного ведомства, занимающаяся вопросами создания перспективных вооружений, с октября 2003 года работает над реализацией программы JUCAS (Joint Unmanned Combat Air System), в которой речь идет о БПЛА, решающих не только задачи разведки, но и электронного воздействия, а также нанесения огневых ударов по противнику. Амбициозность планов подкрепляет сумма пятилетнего контракта с Boeing (\$767 млн) и Norton Grumman (около \$1 млрд) на создание соответствующих БПЛА.

Можно продолжать цитировать выступления руководителей военных ведомств или фрагменты программ развития вооруженных сил различных стран мира, посвященные будущему беспилотных летательных аппаратов. Во всяком случае, в развитых странах мира проекты, связанные с развитием ДПЛА, внесены в перечни наиболее перспективных технологий, применение которых в военной сфере позволяет достичь важных преимуществ. Но самым красноречивым доказательством их будущего все же являются те финансовые средства, которые реально выделяются для реализации этих планов.

Анализ показывает, что сегодня на украинские ДПЛА и БПЛА могут быть возложены следующие задачи в интересах национальной безопасности:

- вскрытие мероприятий по подготовке противника к ведению боевых действий;
- наблюдение за ходом оперативного развертывания вооруженных сил противника;
- подготовка данных, касающихся целей (террористических групп) на территории противника в интересах планирования ракетно-бомбовых ударов и (или) радиоэлектронного подавления;
- оценка результатов ракетно-бомбовых ударов и выявление новых целей для поражения, в первую очередь, мобильных, подвижных объектов;
- наблюдение за передвижениями войск и авиации, а также контроль воздушного пространства, выявление пусков крылатых ракет;
- обеспечение мероприятий по контролю за судоходством и недопущение браконьерства и террористических акций в морской зоне;
- выявление и определение местонахождения лидеров руководства террористических группировок и незаконных военных формирований.

В качестве бортовой аппаратуры на ДПЛА могут использоваться

- цифровые камеры видимого и инфракрасного спектрального диапазонов;
- радиолокационная станция с синтезированной апертурой;
- бортовая аппаратура передачи данных по защищенному радиоканалу на наземные приемные пункты;
- бортовой накопитель разведывательной информации;
- аппаратура защищенного канала управления самолетом;
- бортовой ответчик «свой-чужой»;
- аппаратура системы управления воздушным движением.

При этом бортовое и наземное оборудование комплекса управления ДБЛА должно обеспечивать:

- обеспечение круглосуточного функционирования комплекса в простых и сложных метеорологических условиях;
- минимизацию времени развертывания и повторного применения ДПЛА;
- автоматический взлет и посадку (приземление) ДПЛА (штатный или аварийный режим по команде с пункта управления);
- полет самолета по заданной программе в том числе вдоль объекта (дороги, реки, береговая линия и тому подобное) с возможностью вмешательства оператора в управление движением ДПЛА в любой момент выполнения задания;
- возможность изменения полетного задания во время выполнения полетного задания;
- возможность автоматического выполнения сопровождения как своих ДПЛА так и воздушных и наземных целей, в том числе подвижных;
- безопасность воздушного движения.

Комплекс управления дистанционно пилотируемыми летательными аппаратами предлагается представить в виде замкнутой структуры (с обратной связью). Составляющими элементами этой структуры являются: группа ДПЛА, ретрансляторы, командный пункт (пункт управления) (КП), линия (каналы) связи.

Количество ДПЛА в группе определяется исходя из специфики решаемых задач. Так для навигационного обеспечения заданного района требуется не меньше 4 ДПЛА; для дистанционного зондирования Земли может применяться 1 ДПЛА; для решения задачи преодоления противовоздушной обороны противника и ударных действий целесообразно увеличивать число ДПЛА в группе; для борьбы с террористами достаточно нескольких ДПЛА; для задач управления подразделениями в качестве ретрансляторов также целесообразно применять несколько ДПЛА. При этом следует отметить, что разработка тактических приемов применения группы и одиночных ДПЛА в зависимости от задач и условий применения является перспективным научным направлением.

Количество ретрансляторов будет определяться исходя из технических возможностей приемо-передающей аппаратуры при передаче информационных и управляющих сигналов от ДПЛА до КП и в обратном направлении. Существенное влияние на процесс ретрансляции сигналов будут оказывать также рельеф местности и атмосферные факторы. При этом выбор числа, типа ретрансляторов, их взаимного расположения являются также научно-технической проблемой.

В зависимости от типа составных частей всего комплекса управления, а также их взаимного расположения в пространстве возможно выделить 16 схмотехнических вариантов псевдоспутниковых систем, представленных 4 группами:

*Группа 1.* В качестве ретрансляторов выступают мобильные (подвижные) средства (автомобили, бронемашины, самоходные установки, и т. д. Командный пункт может быть мобильным на земле,

может быть стационарным, расположен на борту самолета, расположен на аэростате (дирижабле).

*Группа 2.* В качестве ретрансляторов выступают наземные стационарные станции. В этой группе командные пункты также могут располагаться на мобильных или стационарных наземных, воздушных средствах.

*Группа 3.* В качестве ретрансляторов выступают сами ДПЛА: первый аппарат передает информационные сигналы второму, второй третьему, и т.д. до КП. В этой группе командные пункты также могут располагаться на мобильных или стационарных наземных, воздушных средствах.

*Группа 4.* В качестве ретрансляторов выступают аэростаты (дирижабли). В этой группе командные пункты также могут располагаться на мобильных или стационарных наземных, воздушных средствах.

Выбор схемотехнического варианта псевдоспутниковой системы будет зависеть от требуемой эффективности решаемых задач, условий применения. При этом следует учитывать и стоимостные характеристики отдельных элементов и всей системы в целом. На наш взгляд, обоснование предложенных перспективных псевдоспутниковых технологий для решения разнообразных задач в интересах различных ведомств с учетом ограничений на ряд тактико-технических и экономических требований представляет весьма сложную научную проблему.

В качестве примера возможной перспективной системы может рассматриваться система «высокоточное оружие» (возможное применение — борьба с террористами).

Пример системы «Высокоточное оружие».

Анализ способов и форм боевых действий (операций) в последних локальных войнах (Ирак «Буря в пустыне», Югославия «Союзническая сила», Афганистан) свидетельствует, что роль высокоточного ракетного оружия постоянно повышается. Именно высокоточное оружие определяет сегодня, а тем более в будущем, характер и результат боевых действий. Предлагается создать в Украине собственное высокоточное ракетное оружие, которое способно уничтожить как неподвижные, так и подвижные цели на значительном расстоянии (к 1,5 тыс. км) с большой точностью (среднее квадратичное отклонение не более 1–1,5 м). Такое оружие по точностным характеристикам, а также способу применения не имеет мировых аналогов.

Это дает возможность надеяться на перевооружение нашей армии, а также иметь конкурентный товар для продажи. Классы, предлагаемого комплекса управления ДПЛА могут быть различными: «воздух–земля», «воздух–воздух», «земля–воздух», «земля–земля». Дальность применения этих классов будет ограничиваться физическими техническими характеристиками ДПЛА. Смысл предлагаемого комплекса заключается в создании дистанционной эргатической системы управления, которая позволяет обеспечить высокую точность применения (поражения). Как известно большинство существующих ракетных комплексов имеют автономную систему наведения (инерционные системы, корреляционно-экстремальные, системы со спутниковой коррекцией, и др.). Для новых комплексов предлагается вместе с контуром автономного управления построить контур ручного дистанционного управления. Для практической реализации принципа ручного управления на ДПЛА предлагается следующее техническое решение: в передней части ДПЛА размещается телекамера для обзора местности. Видеоинформация сжимается в специальном устройстве (аппаратура сжатия видеоизображений). С выхода этого специального устройства сигнал соответствующего изображения передается через ретрансляторы на наземный пункт управления. Расчеты свидетельствуют, что ретрансляторы могут быть расположены на расстоянии до 500 км друг от друга. В качестве ретрансляторов, как определялось ранее, могут рассматриваться самолеты, крылатые ракеты, аэростаты. На пункте управления полученный сигнал превращается к первоначальному виду (изображение местности). Это изображение видит «пилот на земле» — человек-оператор. Человек-оператор, по аналогии с «летчиком в кабине», отклоняя ручку управления, формирует соответствующий сигнал, который через ретрансляторы передается на систему управления ДПЛА. Управление заключается в «визуальном наведении» ракеты на цель. При этом человек-оператор находится на земле на значительном расстоянии от района применения оружия. Пункт управления может быть как на земле (под землей), так и в воздухе (на самолете). Точность поражения будет определяться возможностями человека-оператора навести ракету на цель в «визуальном режиме». В качестве видеокамеры могут применяться приборы ночного видения, что позволит применять оружие в ночных условиях. Предложенный принцип управления возможно применять и на ракетах в воздушном бою. В гражданской сфере целесообразно создавать наблюдательные зонды для контроля над районами местности. Например, в государственной автоинспекции, в лесном хозяйстве, при контроле за зонами чрезвычайных ситуаций, в том числе и при антитеррористических операций. В процессе функционирования (применения) ДПЛА могут возникать непредвиденные факторы, — отказы в системе управления и/или внешние возмущающие факторы за счет активного противодействия. Эти факторы могут свести на нет все преимущества

псевдоспутниковых технологий.

Авторами было предложено рассматривать нештатные состояния системы, вызванные отказами, как допустимые, и для них формировать адекватное (функционально устойчивое) управление, направленное на парирование последствий отказов и поддержание выполнения функций системы. За счет этого управления обеспечивается перераспределение ресурсов системы для достижения главной цели, даже в условиях отказов.

Впервые понятие «функциональная устойчивость», его определение и принципиальные основы обеспечения функциональной устойчивости были приведены в публикациях Машкова О.А., посвященных решению конкретных задач управления сложными автономными объектами.

Было установлено, что принципиальным условием обеспечения данного свойства является возможность перераспределения имеющихся ресурсов различной физической природы внутри системы. При этом было выявлено, что обеспечение функциональной устойчивости систем выходит за рамки традиционных для классической теории автоматического регулирования задач оптимизации «в малом» (на заданной программной траектории управление определяется из условия оптимизации переходных процессов по тем или иным критериям), так как предполагает неполную априорную информацию об объекте, оперативное формирование программной траектории для текущей обстановки и оптимальное использование всех располагаемых ресурсов.

Поэтому задачи обеспечения функциональной устойчивости можно рассматривать как вид задач адаптивного оптимального управления «в большом», предполагающих оптимальное использование на каждом этапе или режиме функционирования системы всех располагаемых ресурсов (энергетических, информационных, вычислительных), для достижения главной для этого этапа цели при соблюдении множества ограничений.

Проведенные исследования позволили установить связь понятия «функциональная устойчивость» с понятиями «надежность», «живучесть» и «отказоустойчивость». Показано принципиальное отличие между ними: методы обеспечения функциональной устойчивости направлены не на уменьшение количества отказов и нарушений (как традиционные методы повышения надежности, живучести и отказоустойчивости технических систем), а на обеспечение выполнения наиболее важных функций, когда эти нарушения уже произошли. Особенность методов синтеза функционально-устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов, состоит в том, что в них не рассматриваются процессы, которые привели к отказам. Для формирования специального парирующего управления важен сам факт нарушения работоспособности какого-то элемента комплекса.

Так, для бортового информационно-управляющего комплекса, описываемого нелинейными уравнениями, и отказами в виде скачкообразного изменения структуры, автором предложен критерий функциональной устойчивости.

Методы построения функционально устойчивых сложных динамических систем предлагается деконструировать на методы обнаружения и методы парирования отказов функционально устойчивого информационно-управляющего комплекса. Методы первой группы позволяют априорно формировать образы-эталонные последствия нештатных ситуаций, вызванных отказами функциональных подсистем комплекса, и сохранять в памяти. Методы второй группы позволяют (после определения образа текущего состояния и его сравнения с хранимыми в памяти образами-эталоном) принимать заключение о перераспределении ресурсов комплекса для обеспечения нормального функционирования составляющих комплекса при наличии того или иного отказа. Соответственно для каждого случая формируется адекватное восстанавливающее управление.

Особое значение данного подхода заключается в том, что он позволил разделить общую задачу синтеза функционально устойчивых систем на частные задачи: обнаружение отказов и парирование отказов.

Проблемы обеспечения функциональной устойчивости особенно важны и для псевдоспутниковых радионавигационных систем, как составляющей части высокоточных систем вооружения, где выход из строя хотя бы одного из элементов приводит к потере возможности навигации. Простое введение избыточности (дублирование элементов) приводит к удорожанию системы, но не гарантирует достаточной устойчивости навигации. Вопросы поиска оптимальной структуры избыточности псевдоспутниковой радионавигационной системы требуют дальнейших научных исследований.

Другой перспективной областью является обеспечение функциональной устойчивости группового полета ДПЛА при различных отказах бортового оборудования и каналов связи. Технологическое воплощение полученных решений позволит существенно повысить эффективность применения беспилотной авиации.

Важным перспективным направлением исследований является изучение функциональной устойчивости эргатических систем (человеко-машинных систем — систем, в которых необходимым элементом контура управления является человек). Основная научная проблема обеспечения функциональной стойкости эргатических систем заключается в количественной формализации и описании человека в замкнутом контуре управления. Поэтому наиболее важными направлениями дальнейших исследований следует считать разработку методов оптимизации функционально устойчивых эргатических систем, методов эффективного распределения функций и согласования характеристик между ними и человеком-оператором.

Обеспечение функциональной стойкости псевдоспутниковых систем может быть осуществлено за счет введения в сложную динамическую систему разных форм избыточности (структурной, функциональной, информационной и тому подобное) и подготовленностью оператора к управлению полетом ДПЛА при внезапной реконфигурации комплекса.

Предложенные схемотехнические варианты применения ДПЛА позволят обеспечить функциональную стойкость системы управления групповым и одиночным полетом ДПЛА (выполнение специальных задач) при использовании псевдоспутниковых технологий.

Недавно возникшая теория функционально устойчивых систем является результатом системного подхода к решению проблемы повышения надежных свойств сложных объектов управления (надежность, устойчивость, отказоустойчивость). При этом функциональная устойчивость является свойством, принципиально отличным от надежности, живучести, динамической устойчивости, отказоустойчивости. Методы обеспечения функциональной устойчивости направлены на более полное использование располагаемых технических ресурсов сложной технической системы. Их особенностью является то, что информационно-управляющим комплексам отводится не пассивная роль выполнения жесткой программы, а активное перераспределение ресурсов для достижения поставленных целей перед сложным динамическим объектом. Задачу обеспечения функциональной устойчивости сложных динамических систем можно рассматривать как одну из актуальных научных задач современной теории управления сложными системами.

1. Теоретичні основи технічної кібернетики / Артюшин Л.М., Машков О.А., Дурняк Б.В., Плащенко О.А. — Львів: Українська академія друкарства, 2004. — 120 с.
2. Машков О.А., Чумакевич В.О., Шуренок В.А. Шляхи створення та дослідження функціонально-стійкої моделі вимірювально-обчислювального комплексу // Збірник наукових праць НАН України, “Моделювання та інформаційні технології”. — Вип. 24. — К.: НАН України, 2003. — С. 40–47.
3. Барабаш О.В., Козелков С.В., Машков О.А. Понятійний апарат функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем // Збірник наукових праць НЦ ВПС ЗС України. — 2005. — Вип.№ 7. — С. 87–95.
4. Машков О.А., Барабаш О.В. Синтез структури автоматизированной системы по критерию максимума функциональной устойчивости // Аерокосмічні системи моніторингу та керування. Т.2. — К.: НАУ, 2003. — С. 193–196.
5. Машков О.А., Барабаш О.В. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем // Збірник наукових праць НАН України, ІПМЕ “Моделювання та інформаційні технології”, 2003. — Вип. 25. — С. 29–35.
6. Машков О.А., Барабаш О.В. Проблеми моделювання функціонально-стійких складних інформаційних систем // Інформаційне моделювання складних систем. — Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України, 2002. — С. 137–142.

Поступила в редакцію 13.10.2008