

Анализ факторов, влияющих на безопасность полета беспилотных летательных аппаратов.

Причины авиационных происшествий беспилотных летательных аппаратов и способы их предотвращения

12, декабрь 2012

DOI: 10.7463/1212.0500452

Гулевич С. П., Веселов Ю. Г., Прядкин С. П., Тырнов С. Д.

УДК 629.7.067

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, ОАО «Камов»

Россия, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и

Ю.А. Гагарина»

Россия, Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца

vesel_foto@mail.ru

Вопросы безопасности применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) во всем фазовом пространстве ожидаемых условий эксплуатации (ОУЭ) представляют серьезную научно-техническую проблему. Один из аспектов данной проблемы – обеспечение безаварийного применения БЛА, исключающего неконтролируемое падение БЛА на землю и связанное с этим непреднамеренное нанесение ущерба жизни, здоровью людей и их имуществу на земле.

Решение данной проблемы рассмотрим на примере летной эксплуатации транзвуковых БЛА на режимах полета близким к предельно допустимым по условиям безопасности полета.

Важнейшими особенностями летной эксплуатации БЛА на данных режимах полета являются [1, 2]:

- полная автономность полета БЛА от момента старта до посадки. Данное обстоятельство предопределяет невозможность какого-либо вмешательства в траекторное управление беспилотным летательным

аппаратом в процессе полета, то есть невозможность коррекции введенной на земле в навигационно-пилотажный комплекс (НПК) БЛА заданной программы полета;

- преобладание неустановившихся режимов полета;
- значительное расширение диапазона эксплуатационных углов атаки и знакопеременных перегрузок;
- выполнение полетов на максимальную практическую дальность полета на предельно малой возможной высоте.

Для определения возможных путей решения проблемы обеспечения безаварийного применения БЛА необходимо, прежде всего, провести системный анализ факторов, влияющих на безопасность полета БЛА, сформировать перечень аварийноопасных режимов полета БЛА.

Основными причинами авиационного происшествия БЛА (аварии, катастрофы) являются:

1 Отказ маршевого двигателя или его систем, вследствие чего произойдет неконтролируемое падение БЛА на землю.

2 Отказ (сбой) бортовой системы управления (вычислитель, доплеровский измеритель скорости и угла сноса, радиовысотомер малых высот) БЛА, следствием чего будет невыполнение полетного задания (отклонение от заданного путевого угла, нарушение пространственно-временного прохождения промежуточных пунктов маршрута, отклонение от заданной высоты полета и т.п.) и посадка БЛА в нерасчетном районе, что может привести к частичному (или полному) разрушению БЛА.

3 Превышение основных ограничений для БЛА, связанных, в основном, с летной эксплуатацией БЛА в условиях сильной турбулентности атмосферы, а также в режиме полета с огибанием горного сложно-пересеченного рельефа местности, несоблюдение которых недопустимо по условиям безопасности полета при исправной работе систем и оборудования.

3.1 Ограничения по углу атаки или коэффициенту подъёмной силы.

Ограничения по углу атаки α или коэффициенту подъёмной силы C_y осуществляется в целях предотвращения выхода БЛА на большие углы атаки, на которых:

- нарушается плавность обтекания, и наступает срыв потока с несущих поверхностей, что сопровождается потерей устойчивости и управляемости БЛА («сваливание в штопор»);

- происходит потеря газодинамической устойчивости компрессора маршевого двигателя БЛА («помпаж»).

3.2 Ограничения по минимальному скоростному напору. Ограничение по минимальному скоростному напору осуществляется в целях спасения БЛА (ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки) при величине динамического скоростного напора q^* меньшей нижнего эксплуатационного предела. Дальнейшее уменьшение q^* привело бы к невозможности полёта БЛА без превышения ограничения по $\alpha_{дон}$.

3.3 Ограничения по максимальной скорости (числу M полёта, динамическому скоростному напору). При выборе ограничений по максимальной скорости (числу M полёта, динамическому скоростному напору) учитываются в основном следующие факторы: прочность или жёсткость конструкции; вибрации; устойчивость и управляемость летательного аппарата (в основном потеря эффективности элевонов, возрастание потребной мощности рулевых машин); характеристики системы управления (передаточные числа автопилота и т.д.).

Следствием превышения основных ограничений, связанных с эксплуатацией БЛА может быть авиационное происшествие, заключающееся в разрушении БЛА в воздухе или неконтролируемым его падении на землю.

4 Некорректный учет комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета [3], при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП).

К случайным факторам, вызывающим возможное отклонение (увеличение) фактических характеристик расхода топлива БЛА от принятых при РДП, относятся [4, 6]:

- отклонение аэродинамических характеристик БЛА в процессе изготовления и эксплуатации планера БЛА от характеристик, принятых, по результатам испытаний в аэродинамических трубах и уточненных на этапе летных испытаний;

- отличие значений балансировочного отклонения элевонов от значений, полученных при летных испытаниях;

- отклонение фактической величины тяги маршевого двигателя в процессе его изготовления и эксплуатации от величины, принятой по результатам стендовых испытаний маршевого двигателя;

- отличие расходных характеристик маршевого двигателя от характеристик, полученных при летных испытаниях БЛА;

- отличие фактического распределения температуры воздуха от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета;

- отличие фактического распределения атмосферного давления по высоте от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета;

- отличие фактических значений скорости и направления ветра по маршруту полета от прогнозируемого;

- навигационные погрешности;

- погрешность стабилизации заданного высотно-скоростного режима полета;

- характер («волнистость») микрорельефа восходящего ската рельефа горной местности. При огибании микрорельефа возрастает среднее значение силы лобового сопротивления БЛА из-за колебаний нормальной перегрузки за счет увеличения индуктивного сопротивления, величина которого пропорциональна квадрату нормальной перегрузки. Увеличение силы лобового сопротивления БЛА вызывает пропорциональное увеличение потребной тяги и, следовательно, часового расхода топлива. Поскольку

система управления БЛА стабилизирует его скорость (ибо при постоянных значениях давления и температуры на высоте полета, то есть в данных конкретных условиях, стабилизация скоростного напора и числа M полета означают стабилизацию воздушной скорости), увеличение часового расхода топлива будет соответствовать пропорциональному увеличению километровых расходов топлива;

- отличие величины располагаемого запаса топлива от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета (технологический разброс емкости топливных баков при их изготовлении, разброс по времени работы маршевого двигателя на земле).

Случайные факторы, влияющие на дальность полета, учитываются, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета, величиной гарантийного технического запаса топлива.

Гарантийный технический запас топлива - масса топлива, учитывающая возможное отклонение (увеличение) фактических характеристик расхода топлива БЛА от принятых при РДП, обусловленное комплексом случайных факторов.

Следствием некорректного учета величины гарантийного технического запаса топлива при проведении РДП может быть авиационное происшествие, заключающееся в неконтролируемом падении БЛА на землю по израсходованию всего объема располагаемого запаса топлива.

5 Некорректный учет факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений.

Важнейшим эксплуатационным фактором, определяющим безопасность полета БЛА в режиме полета с огибанием рельефа, является минимально-допустимая безопасная высота полета, рассчитываемая при проведении инженерно-штурманского расчета [5].

Минимально-допустимая безопасная высота полета БЛА, рассчитываемая из условия нестолкновения БЛА с землей, зависит от показателей эксплуатационной маневренности летательного аппарата, определяющих характер изменения кривизны траектории полета БЛА в плоскости симметрии летательного аппарата, в частности от предельно возможных и допустимых величин перегрузок, быстроты создания перегрузок, а также от диапазона допустимых скоростей полета:

$$H_{зад}^{min} = f(n_{ya.pasn}, n_{y.max}^{\mathcal{E}}, t_{ny}, \Delta V),$$

где n_{ya} –располагаемое значение нормальной составляющей перегрузки, определяется предельным значением подъемной силы, которую можно создать при данных мгновенных значениях высоты и скорости полета;

$n_{y.max}^{\mathcal{E}}$ – максимальная эксплуатационная перегрузка (предельно допустимая по прочности летательного аппарата), определяется максимально допустимой величиной подъемной силы, которая является постоянной для данного типа летательного аппарата;

t_{ny} – время создания нормальной перегрузки;

ΔV – диапазон скоростей полета.

Время создания нормальной перегрузки t_{ny} (время выхода на нормальную перегрузку) вместе с располагаемыми для данного типа БЛА значениями n_y характеризует возможности выполнения резких маневров, требующих быстрого изменения кривизны траектории полета в плоскости симметрии БЛА, что особенно важно при облете горного сложно-пересеченного рельефа местности.

Время создания нормальной перегрузки t_{ny} и характер зависимости $\Delta n_y = f(t)$ зависит от: момента инерции летательного аппарата

относительно его поперечной оси; демпфирующего момента; моментов статической устойчивости, эффективности «руля высоты», инерционности звеньев канала управления продольным движением БЛА.

Следует отметить, что одним из факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности, является турбулентность атмосферы в горных районах, для которых характерна неустойчивая метеорологическая обстановка, особенно в осенние и зимние месяцы. Вблизи скатов гор наблюдаются сильные восходящие и нисходящие потоки воздуха со скоростью 10-20 м/с. Они вызывают сильную болтанку летательного аппарата, которая сказывается на точности выдерживания заданного режима полета [7]. Турбулентность атмосферы в горных районах вызывается деформацией воздушного потока при обтекании возвышенностей.

Восходящие воздушные потоки образуются с наветренной стороны гор и вызывают непроизвольные взмывание летательного аппарата. С подветренной стороны гор образуются нисходящие воздушные потоки, иногда очень большой мощности, которые вызывают опасные броски летательного аппарата вниз [7].

При облете БЛА горного рельефа в условиях сильной турбулентности наиболее значимыми факторами, вызываемыми болтанкой летательного аппарата, являются:

- потеря устойчивости БЛА из-за превышения допустимых углов атаки, особенно при малых скоростях полета и больших высотах;
- разрушение конструкции БЛА из-за превышения допустимой нормальной и поперечной перегрузки, особенно при больших скоростях полета и малых высотах;
- опасные отклонения БЛА вниз от заданной высоты полета.

Следует также учитывать возможное уменьшение геометрической высоты полета над рельефом местности, обусловленное большими положительными температурами, при которых, из-за недостаточной тяги

маршевого двигателя набор высоты может сопровождаться уменьшением скорости и, как следствие, увеличением угла атаки. Для предотвращения выхода угла атаки за допустимое значение, система управления БЛА уменьшает значения заданного угла тангажа, что приведет к уменьшению угла наклона траектории и скороподъемности летательного аппарата. Для предотвращения столкновения БЛА с землей необходимо увеличить значения минимально-допустимой высоты полета.

Факторы, влияющие на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности, учитываются путем рационального выбора минимальной безопасной высоты полета при РДП БЛА.

Следствием некорректного учета факторов, влияющих на рациональное определение минимально-допустимой безопасной высоты полета БЛА, может быть авиационное происшествие, заключающееся в столкновении БЛА с рельефом или искусственными сооружениями.

На основании анализа основных факторов, влияющих на безопасность полета БЛА, можно сформировать перечень наиболее аварийноопасных режимов их полета:

- полет БЛА на максимальную практическую дальность на минимально-возможной высоте полета;
- полет БЛА в режиме огибания рельефана минимально-возможной безопасной высоте при управлении высотой полета по информации от высотомера малых высот;
- полет БЛА на максимальную практическую дальность на минимально-возможной безопасной высотев режиме огибания рельефа при управлении высотой полета по информации от высотомера малых высот.

Способы предотвращения авиационного происшествия БЛА (или минимизация его последствий) заключаются, прежде всего, в:

- резервировании контура управления БЛА, то есть комплексировании систем ориентации и навигации различных типов. Причем комплексировются

не только системы, но и отдельные датчики первичной информации, измеряющие одни и те же параметры. При этом неисправность какой-то системы ориентации и навигации БЛА (или датчиков первичной информации) не приведет к аварии или катастрофе;

- разработке рационального алгоритма функционирования НПК БЛА не допускающего превышение основных ограничений (по углу атаки или коэффициенте подъемной силы, максимальной скорости или числу M полета, динамическому скоростному напору) для БЛА, связанных с эксплуатацией БЛА в целом, при исправной работе систем и оборудования;

- введении в действие парашютно-реактивной системы посадки при отказе маршевого двигателя или его систем, при величине динамического скоростного напора q^* меньшей нижнего эксплуатационного предела;

- в рациональном учете комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП);

- в рациональном учете факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений, при определении безопасной высоты полета.

Причины, следствие авиационного происшествия и способы его предотвращения (минимизации) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Причины, следствие авиационного происшествия и способы его предотвращения (минимизации)

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
1 Отказ маршевого двигателя или его системы.	Неконтролируемое падение БЛА на землю с полным его разрушением.	Ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки при величине динамического скоростного напора q^* меньшей нижнего эксплуатационного предела (ограничение по минимальному скоростному напору).
2 Отказ (сбой) бортовой системы управления (вычислитель, доплеровский измеритель скорости и угла сноса, радиовысотомер малых высот) БЛА.	Невыполнение полетного задания (отклонение от заданного путевого угла, нарушение пространственно-временного прохождения промежуточных пунктов маршрута, отклонение от заданной высоты полета и т.п.) и посадка БЛА в нерасчетном районе, что может привести к частичному (или полному) разрушению БЛА.	Ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки при отклонении БЛА от линии заданного пути на установленную величину (обычно 5-10°). При отказе (сбое) функционирования радиовысотомера малых высот управление высотой полета БЛА осуществляется от барометрического корректора. При отказе (сбое) функционирования доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС) управление БЛА в горизонтальной плоскости выполняется от устройства-имитатора ДИСС, выдающего вычислитель сигнал, пропорциональный средней путевой скорости БЛА.

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
<p>3 Превышение основных ограничений для БЛА, связанных с эксплуатацией БЛА в целом, несоблюдение которых недопустимо по условиям безопасности полета при исправной работе систем и оборудования.</p>	<p>Разрушение БЛА в воздухе или неконтролируемое его падение на землю.</p>	
<p>3.1 Ограничения по углу атаки или коэффициенту подъемной силы. Ограничения по углу атаки α или коэффициенту подъемной силы C_y осуществляется в целях предотвращения выхода БЛА на большие углы атаки, на которых:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нарушается плавность обтекания, и наступает срыв потока с несущих поверхностей, что сопровождается потерей устойчивости и управляемости БЛА («сваливание в штопор»); 		<p>На некоторых типах БЛА не превышение углов атаки и перегрузки обеспечивается выбранными параметрами системы управления. Непосредственно контроль перегрузок или углов атаки не применяется.</p> <p>На других типах БЛА система управления контролирует в полёте величину нормальной перегрузки n_y и не допускает её превышения над величиной $n_{y,огр.}$ соответствующей допустимому углу атаки $\alpha_{дон.}$ и вычисляемой в навигационно-пилотажном комплексе (НПК) по текущим величинам скоростного напора q и отклонения элевонов δ_ϵ.</p>

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
<p>- происходит потеря газодинамической устойчивости компрессора маршевого двигателя БЛА («помпаж»).</p>		<p>Величина $n_{y.огр.}$ определяется в соответствии с выражением:</p> $n_{y.огр.} = \frac{\left(\alpha_{доп.} + \frac{C_y^{\delta\delta}}{C_y^{\alpha}} \delta_{\epsilon} \right) K}{\frac{mg}{C_y^{\alpha} q^* S}},$ <p>где q^* - скоростной напор; S – площадь крыла; $C_y^{\delta\delta}, C_y^{\alpha}$ - частные производные коэффициента подъемной силы по углам $\alpha_{доп.}$ и δ_{ϵ}; mg - сила тяжести; K - коэффициент пропорциональности; Причем, при малых скоростных напорах действует ограничение по перегрузке из условия не превышения $\alpha_{доп.}$, при больших скоростных напорах – ограничение непосредственно по перегрузке (из условия ограничений по прочности).</p>
<p>3.2 Ограничения по минимальному скоростному напору. Ограничение по минимальному скоростному напору осуществляется в целях спасения</p>		<p>Ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки при величине динамического скоростного напора q^* меньшей нижнего эксплуатационного предела.</p>

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
<p>БЛА при величине динамического скоростного напора q^* меньшей нижнего эксплуатационного предела. Дальнейшее уменьшение q^* привело бы к невозможности полёта БЛА без превышения ограничения по $\alpha_{дон}$.</p> <p>3.3 Ограничения по максимальной скорости (числу M полёта, динамическому скоростному напору). При выборе ограничений по максимальной скорости (числу M полёта, динамическому скоростному напору) учитываются в основном следующие факторы: прочность или жёсткость конструкции; вибрации; устойчивость и управляемость летательного аппарата (в основном потеря эффективности элевонов, возрастание потребной мощности рулевых машин); характеристики</p>		<p>На некоторых типах БЛА установлено ограничение по максимальному динамическому скоростному напору, при превышении которого НПК выдаёт команду на введение в действие парашютно-реактивной системы посадки.</p> <p>На других типах БЛА система управления не допускает превышения расчётного предельно допустимого числа M посредством управления заданным углом тангажа ϑ при снижении, когда маршевый двигатель работает на режиме минимальной тяги и, следовательно, возможности уменьшения тяги исчерпаны. Для ограничения числа M полёта при снижении или полёте БЛА вдоль нисходящего ската рельефа в</p>

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
системы управления (передаточные числа автопилота и т.д.).		продольном канале управления БЛА вводится цепь регулирования ограничения заданного угла ϑ на пикирование, включающаяся при превышении числа M и уменьшающая заданный угол ϑ на пикирование по определенному закону.
4 Некорректный учет комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП).	Неконтролируемое падение БЛА на землю по израсходованию всего объема располагаемого запаса топлива.	Случайные факторы, влияющие на дальность полета, учитываются, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП), величиной гарантийного технического запаса топлива, Гарантийный технический запас топлива - масса топлива, учитывающая возможное отклонение (увеличение) фактических характеристик расхода топлива БЛА от принятых при РДП, обусловленное комплексом случайных факторов. Величина гарантийного технического запаса топлива задается в Руководстве по расчету дальности и продолжительности полета в процентном отношении от располагаемого запаса топлива и является конкретной для каждого типа БЛА.

Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа)	Следствие авиационного происшествия	Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия
<p>5 Некорректный учет факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений.</p>	<p>Столкновение БЛА с рельефом или искусственными сооружениями.</p>	<p>Факторы, влияющие на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений учитываются при инженерно-штурманском расчете путем выбора безопасной высоты полета над рельефом местности. Величина безопасной высоты полета над рельефом местности определяется в соответствии с выражением, удобным для практического использования,:</p> $H_{\min} = H_{PB} + \dot{H}_{PB}(t+T) + \frac{g\Delta n_y}{2}t^2.$ <p>где H_{PB} - геометрическая высота полета;</p>
		<p>T - постоянная времени; Δn_y - приращение нормальной перегрузки; g - ускорение свободного падения.</p>

Список литературы

1. Мосов С.П. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: монография. Киев: Румб, 2008. 160 с.
2. Лифанов Ю.С. История создания БПЛА ScanEagle компанией Insitu // Об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления. Серия: «Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств». М.: ВИНТИ РАН, 2009. № 12. С 15-18.
3. Меньшаков Ю.К. Виды и средства иностранных технических разведок. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 655 с.
4. Гулевич С.П., Исаев С.А. Методика определения гарантийного технического запаса топлива и практической дальности полета беспилотного летательного аппарата // Проблемы безопасности полетов. 2000. № 5. С. 14-21.
5. Гулевич С.П. Обеспечение безаварийного применения беспилотных летательных аппаратов в условиях горного рельефа местности // Проблемы безопасности полетов. 2003. № 9. С. 20-26.
6. Гулевич С.П., Александровский Б.В. Обеспечение безаварийного применения беспилотного летательного аппарата по топливу при выполнении полетов в условиях холмистой местности // Проблемы безопасности полетов. 2001. № 7. С. 13-17.
7. Черный М.А., Кораблин В.И. Воздушная навигация. М.: Транспорт, 1983. 384 с.

Analysis of factors affecting safety of flight of unmanned aerial vehicles (UAV). Causes of accidents of UAVs and methods of preventing them

12, December 2012

DOI: 10.7463/1212.0500452

Gulevitch S., P., Veselov Yu., G., Pryadkin S.P., Tyrnov S.D.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

Russia, JSC "Kamov"

Russia, Air Force Academy named after Professor NE Zhukovsky and Y. Gagarin

Russia, Radio Engineering Institute named A.L. Mintz

vesel_foto@mail.ru

The authors analyzed characteristics of flight operation of unmanned aerial vehicles (UAV) in the whole phase space of expected operating conditions. They consider basic aspects of the providing trouble-free use of unmanned aerial vehicles which exclude their uncontrolled fall to the ground and the resulting unintended damage to human life, health and their property on the ground. Factors that affect safety of flight of unmanned aerial vehicles were analyzed. The authors identified the causes and consequences of an air crash and proposed methods of preventing it.

Publications with keywords: [unmanned aerial vehicle](#), [trouble-free use](#), [modes of flight](#), [engineering and navigational calculations](#)

Publications with words: [unmanned aerial vehicle](#), [trouble-free use](#), [modes of flight](#), [engineering and navigational calculations](#)

References

1. Mosov S.P. *Bespilotnaia razvedyvatel'naia aviatsiia stran mira: istoriia sozdaniia, opyt boevogo primeneniia, sovremennoe sostoianie, perspektivy razvitiia* [Unmanned reconnaissance aircraft of the countries of the world: the history of creation, the experience of combat application, current state and prospects of development]. Kiev, Rumb, 2008. 160 p.
2. Lifanov Iu.S. *Istoriia sozdaniia BPLA ScanEagle kompaniei Insitu* [The history of the creation of unmanned aircrafts ScanEagle by Insitu Inc.]. *Ob ekonomicheskom, nauchno-tekhnicheskome i voennom potentsiale gosudarstv-uchastnikov SNG i tekhnicheskikh sredstvakh ego vyivleniia. Seriia: «Tekhnicheskoe osnashchenie spetssluzhb zarubezhnykh gosudarstv»* [On economic, scientific-technical and military capabilities of CIS member states and the technical means to

detect it. Series: "The Technical equipment of the secret services of foreign states"]. Moscow, VINITI RAN Publ., 2009, no. 12, pp. 15-18.

3. Men'shakov Iu.K. *Vidy i sredstva inostrannykh tekhnicheskikh razvedok* [Types and means of foreign technical intelligence services]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2009. 655 p.

4. Gulevich S.P., Isaev S.A. Metodika opredeleniia garantiinogo tekhnicheskogo zapasa topliva i prakticheskoi dal'nosti poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata [The methodology of determining the warranty technical reserve of fuel and practical flight range unmanned aerial vehicle]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2000, no. 5, pp. 14-21.

5. Gulevich S.P. Obespechenie bezavariinogo primeneniia bespilotnykh letatel'nykh apparatov v usloviakh gornogo rel'efa mestnosti [Ensuring accident-free use of unmanned aerial vehicles in the conditions of mountain terrain]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2003, no. 9, pp. 20-26.

6. Gulevich S.P., Aleksandrovskii B.V. Obespechenie bezavariinogo primeneniia bespilotnogo letatel'nogo apparata po toplivu pri vypolnenii poletov v usloviakh kholmistoi mestnosti [Ensuring accident-free use of unmanned aerial vehicle (of fuel) in flight operations in a hilly terrain]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2001, no. 7, pp. 13-17.

7. Chernyi M.A., Korablin V.I. *Vozdushnaia navigatsiia* [Air navigation]. Moscow, Transport, 1983. 384 p.