

УДК 629.7.02: 004.925.8

С. К. АБРАМОВ, В. В. АБРАМОВА, К. Д. АБРАМОВ, И. В. КАЛУЖИНОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Украина***МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ИХ ТРЕХМЕРНЫМ МОДЕЛЯМ**

Рассмотрена задача определения дальности визуального обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Предложена методика определения индикатрисы дальности обнаружения на основе определения визуально видимой при заданных азимуте и угле места площади БЛА, рассчитанной в системе автоматизированного проектирования по имеющейся трехмерной модели аппарата. Методика успешно апробирована на моделях БЛА, построенных по различным аэродинамическим схемам. Проведен анализ влияния аэродинамической схемы на дальность обнаружения. Проведено сравнение индикатрис дальности обнаружения для одной из моделей БЛА, полученных по экспериментальным и смоделированным при помощи предлагаемой методике данным. Показано, что в целом методика дает близкие, но несколько завышенные значения дальности обнаружения, что подтверждает возможность ее использования для сравнительного анализа различных моделей БЛА. Для получения более точных результатов оценки дальности обнаружения необходимо дальнейшее усовершенствование методики. Намечены основные направления дальнейшей работы в этом направлении.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, визуальная заметность, САПР, трехмерное моделирование.

Введение

В настоящее время большое распространение получили различные беспилотные летательные аппараты (БЛА), обеспечивающие проведение фото- и видеосъемки земной поверхности с высоты птичьего полета. Такие аппараты могут использоваться, например, для репортажной съемки различных масштабных мероприятий, спортивных матчей, концертов, фильмов и пр.

Важной задачей является мониторинг положения БЛА со стороны служб, обеспечивающих контроль воздушного пространства, поскольку даже игрушечный БЛА, находящийся в запрещенной для полетов зоне, например, вблизи аэропорта, может привести к аварии с серьезными последствиями.

Успешное решение задачи обнаружения БЛА напрямую связано с его заметностью, под которой понимается свойство объекта выделяться на окружающем фоне. В зависимости от используемых средств наблюдения различают несколько видов заметности: радиолокационную, инфракрасную, акустическую и визуальную [1]. Использование в конструкции БЛА композитных материалов, малые геометрические размеры, относительно небольшая мощность используемых двигателей и малые высоты полета делают БЛА практически малозаметными в радиолокационном, инфракрасном и акустическом диапазонах, поэтому основными средствами их обнаружения оста-

ются визуальные. В связи с этим, именно анализ визуальной заметности представляет для БЛА наибольший практический интерес [2].

Задача визуального обнаружения БЛА относится к задачам поиска, эффективность которого оценивается набором вероятностных характеристик [3, 4], основными из которых являются вероятность обнаружения и связанная с ней дальность обнаружения. На практике дальность обнаружения практически никогда не превосходит некоторой максимальной дальности $D_{\text{обн макс}}$, соответствующей порогу видимости при наиболее благоприятном сочетании условий наблюдения.

В общем случае видимость объекта определяется тремя основными факторами: яркостью фона $L_{\text{ф}}$, контрастом объекта с фоном K и угловым размером объекта γ [3]. Все эти факторы жестко взаимосвязаны и каждый из них имеет свое пороговое значение, при котором наблюдаемый объект становится неразличимым глазу. Однако при обнаружении БЛА, как правило, яркость фона (неба) и контраст на его фоне объекта (БЛА) лежат достаточно далеко от своих пороговых значений, поэтому определяющим порог видимости БЛА фактором оказывается именно его угловой размер γ . Для человека с нормальным зрением предельным угловым размером различения объекта считается величина $\gamma_{\text{п}} = 1'$ [3]. Таким образом, максимальную дальность обнару-



Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения видимой площади объекта в САПР Rhinoceros

жения $D_{\text{обн макс}}$ можно определить как расстояние, на котором угловой размер объекта оказывается равным пороговому $\gamma = \gamma_{\text{п}} = 1'$.

При определении углового размера объекта следует учитывать, что для задачи обнаружения основное значение имеет видимая площадь объекта, а не его форма [3] (при соотношениях сторон объекта до 1:10, что характерно для большинства БЛА). Однако видимая площадь изменяется в зависимости от взаимного положения объекта и наблюдателя. В связи с

этим максимальную дальность обнаружения следует представлять в виде индикатрисы для всех возможных углов наблюдения объекта по месту ($\theta_{\text{м}}$) и азимуту ($\theta_{\text{а}}$). Такая индикатриса, по сути, является границей зоны видимости БЛА, все точки внутри нее соответствуют видимости, а вне – невидимости БЛА.

Задача определения максимальной дальности обнаружения, таким образом, сводится к задаче определения видимой площади БЛА при данном угле места и азимуте $S_{\text{вид}}(\theta_{\text{м}}, \theta_{\text{а}})$. Ее решение экспериментальным путем осложняется необходимостью построения масштабной модели и большим количеством экспериментов для каждого анализируемого угла наблюдения. В то же время, эта задача может быть решена намного быстрее и с меньшими затратами при помощи современных средств автоматизированного проектирования и созданных с их помощью трехмерных моделей БЛА.

Целью работы является разработка методики построения индикатрисы максимальной дальности обнаружения БЛА на основе определения видимой площади по его трехмерной модели с использованием средств автоматизированного проектирования.

Постановка задачи

Построение индикатрисы максимальной дальности обнаружения требует решения двух задач. Первая состоит в определении видимой под определенным углом наблюдения площади БЛА. Вторая – в пересчете видимой площади в угловой размер и построение результирующей индикатрисы для всех возможных углов наблюдения. В силу специфики каждой из задач их решение целесообразно проводить при помощи отдельных программных средств.

Этап I: определение видимой площади модели БЛА

Первую задачу будем решать с использованием современных средств автоматизированного проектирования (САПР). Наиболее известными на сегодняшний день САПР являются: Autocad [5], Solidworks [6], Компас-3D [7] и Rhinoceros [8]. Для выбора наиболее подходящей для решения нашей задачи САПР был проведен анализ технической документации на каждую из них с точки зрения соответствия следующим требованиям. Во-первых, САПР должна обеспечивать возможность исполнения скриптов, поскольку перебор всех возможных углов наблюдения и определения видимой площади должен происходить в автоматическом режиме. Во-вторых, процесс определения видимой площади должен реализовываться по возможности простыми средствами (вызовом одной-двух функций).

В наибольшей степени указанным требованиям соответствовала система Rhinoceros [8]. Она поддерживает возможность автоматизации обработки на основе скриптового языка Rhinoscript, имеет встроенную функцию MeshOutline, позволяющую

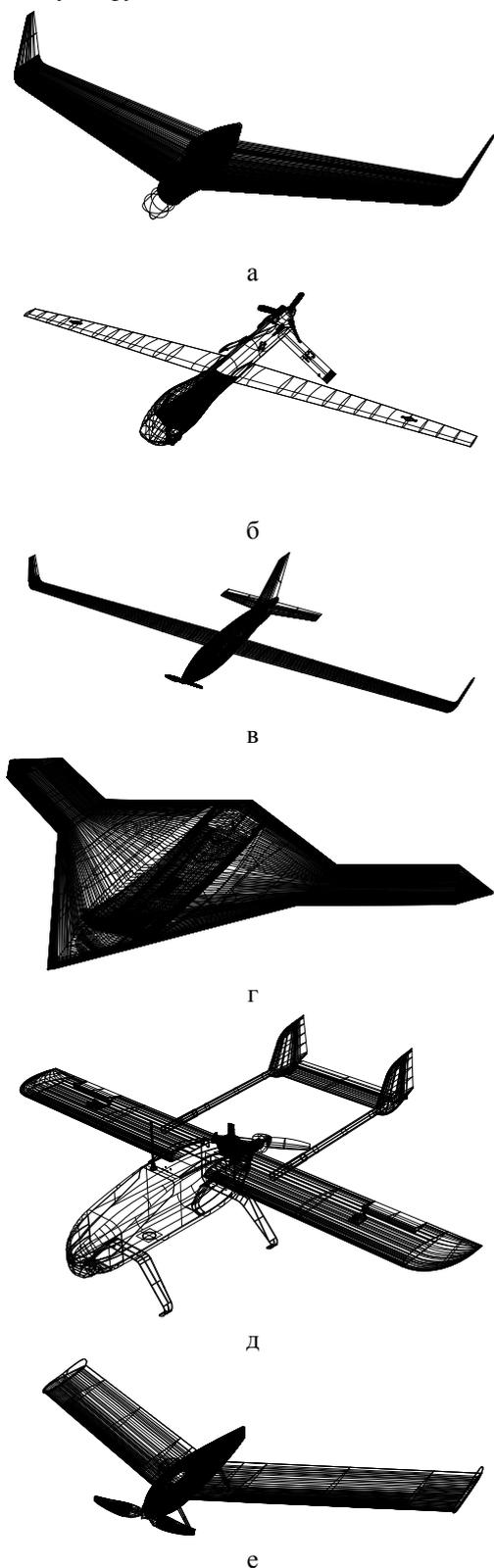


Рис. 2. Тестовый набор трехмерных моделей БЛА: «Иркут» (а), «Predator» (б), «Spectator» (в), «Х-47» (г), «Есо» (д) и «Electro» (е)

строить контур трехмерного объекта, а также функции построения по контуру поверхности AddPlanarSrf и определения ее площади SurfaceArea, что позволяет полностью решить нашу задачу. Кроме того, данная САПР имеет девятигодичную бесплатную полнофункциональную демоверсию, что позволяет предварительно протестировать разрабатываемую нами методику.

В результате решение задачи определения видимой площади объекта было реализовано в соответствии с алгоритмом, блок-схема которого представлена на рис. 1. Вначале пользователю предлагается выбрать файл, содержащий модель БЛА. Для целей тестирования был создан набор трехмерных моделей нескольких известных БЛА по эскизам, доступным в сети Интернет. Размеры этих моделей были взяты приблизительно таким образом, чтобы полетная масса моделей составляла около пяти килограмм (за исключением модели «Х-47», для которой использовались ее реальные размеры, а полетная масса составляла около 2 тонн). Тестовый набор состоял из шести моделей с условными названиями: «Иркут», «Predator», «Spectator», «Х-47», «Есо» и «Electro». Вид моделей представлен на рис. 2.

Установка начальных значений подразумевает задание нескольких констант, определяющих границы изменения углов азимута и места, а также шаг их приращения. Кроме того, в этом же блоке задается имя файла результата, в который заносятся найденные значения видимой площади. Поскольку предполагается, что наблюдение за БЛА осуществляется с земли, угол места изменялся в пределах от 0 (наблюдение на больших дальностях) до 90 градусов (наблюдение снизу-вверх). Изменения угла азимута в силу продольной симметрии БЛА задавались в пределах от 0 до 180 градусов. Шаг приращения углов был выбран равным 15 градусам. Как показал специально проведенный анализ, при таком выборе обеспечивается достаточная детализация получаемой индикатрисы. При меньших значениях приращения видимая площадь в соседних видах отличается несущественно, а временные затраты на обсчет всех углов существенно возрастают.

Установка модели под необходимыми углами азимута и места осуществлялась путем изменения параметров вида с предварительным сбросом их в начальное состояние. Затем встроенными средствами САПР осуществлялся отсев невидимых при данных углах элементов модели, а по оставшимся элементам строился их общий контур. Далее полученный контур использовался для создания плоской поверхности, площадь которой и соответствовала видимой площади модели. Исходная модель строилась в САПР в реальном масштабе, все размеры задавались в миллиметрах, поэтому значения площади

определялись в квадратных миллиметрах и записывались в файл результата в текстовом виде. Описанная процедура определения площади повторялась для всех комбинаций углов азимута и места.

Этап II: построение индикатрисы дальности обнаружения

Вторая задача пересчета видимой площади в угловой размер и построения результирующей индикатрисы носила чисто расчетный характер, поэтому для ее решения был выбран пакет математической обработки Matlab [9].

Как уже упоминалось выше, при обнаружении объектов их форма не имеет определяющего значения, поэтому будем считать, что наблюдаемый объект имеет форму круга с площадью, равной найденной видимой площади модели при данном угле места и азимута $S_{\text{экв кр}}(r_{\text{экв кр}}) = S_{\text{вид}}(\theta_m, \theta_a)$. Отсюда можно найти радиус эквивалентного круга $r_{\text{экв кр}}(\theta_m, \theta_a) = \sqrt{S_{\text{вид}}(\theta_m, \theta_a)/\pi}$ и расстояние, на котором данный круг будет иметь пороговый угловой размер $\gamma_{\text{п}} = 1'$, что и будет соответствовать максимальной дальности обнаружения БЛА

$$D_{\text{обн макс}}(\theta_m, \theta_a) = \frac{r_{\text{экв кр}}(\theta_m, \theta_a)}{\text{tg}(0,5/60)}.$$

Разработанный программный код для среды Matlab реализует ввод данных из текстового файла с результатами определения видимой площади, затем пересчитывает ее значения в максимальную дальность обнаружения и строит индикатрису для всех значений углов места и азимута. Построение производится в диапазоне углов места от 0 до 90 градусов и углов азимута – в диапазоне от 0 до 360 градусов. Значения дальностей обнаружения для углов азимута от 180 до 360 получают зеркальным отражением относительно оси (в силу продольной симметричности моделей БЛА). При вычислениях также производится преобразование единиц измерения таким образом, чтобы получаемые максимальные дальности имели размерность километров, что является более удобным для восприятия.

Анализ результатов

Полученные в результате индикатрисы максимальных дальностей обнаружения для рассматриваемых тестовых моделей БЛА приведены на рис. 3.

Каждая индикатриса представляет собой поверхность, части которой окрашены оттенками серого в зависимости от дальности (чем больше дальность в данном направлении, тем темнее окраска).

Система координат задана таким образом, что центр масс модели БЛА располагается в начале отсчета, а направление полета совпадает с направлением орта \bar{x} . Угол поворота модели по отношению к наблюдателю по азимуту откладывается в горизонтальной плоскости, при этом положительный угол соответствует движению от орта \bar{x} к \bar{y} . Угол места откладывается в вертикальной плоскости, движение от орта \bar{z} к орту \bar{y} соответствует направлению положительных углов. Поскольку система отсчета привязана к БЛА, нулевой угол места совпадает с плоскостью xy . Для удобства анализа на графике присутствует координатная сетка, расположенная на уровне максимальной дальности обнаружения.

Как видно из рис. 3, для всех рассматриваемых моделей БЛА наибольшая дальность обнаружения (наилучшие условия для обнаружения и, соответственно, наихудшая скрытность БЛА) наблюдаются при угле места 90 градусов, т.е. при наблюдении аппарата со стороны днища, что вполне естественно, поскольку при таком ракурсе фюзеляж и крылья имеют наибольшую видимую площадь. Наименьшая дальность обнаружения характерна для наблюдения аппарата со стороны носа или хвоста при нулевом угле места и азимуте 0 или 180 градусов.

Форма индикатрисы в сильной степени зависит от аэродинамической схемы БЛА. Так для моделей с нормальной аэродинамической схемой («Predator», «Spectator» и «Eco») сечение индикатрисы в горизонтальной плоскости имеет форму восьмерки (см. рис.3, б, в, д), т.е. эти аппараты существенно лучше заметны сбоку, чем спереди (сзади). В то же время, индикатрисы схем типа «летающее крыло» («Иркут», «Х-47» и «Electro») в азимутальном сечении имеют форму практически правильной окружности (см. рис.3, а, г, е), т.е. дальность их обнаружения слабо зависит от угла наблюдения по азимуту.

Сравнение показателей моделей БЛА позволяет выстроить их в таком порядке по мере увеличения дальности обнаружения (при условии наблюдения с нулевых углов азимута и места): «Electro» (910 м), «Иркут» (972 м), «Spectator» (1093 м), «Predator» (1322 м), «Eco» (1363 м), «Х-47» (13,6 км). Таким образом, наименее заметным среди рассматриваемых пятикилограммовых моделей БЛА оказался «Electro», а наиболее заметным – «Eco». Абсолютным рекордсменом по дальности обнаружения (в силу существенно больших по сравнению с остальными размерами) стал БЛА «Х-47».

В целом, полученные результаты выглядят правдоподобными. Однако для подтверждения правильности предлагаемой методики были проведены экспериментальные исследования. Для этого использовалась натурная модель БЛА «Electro». С ее

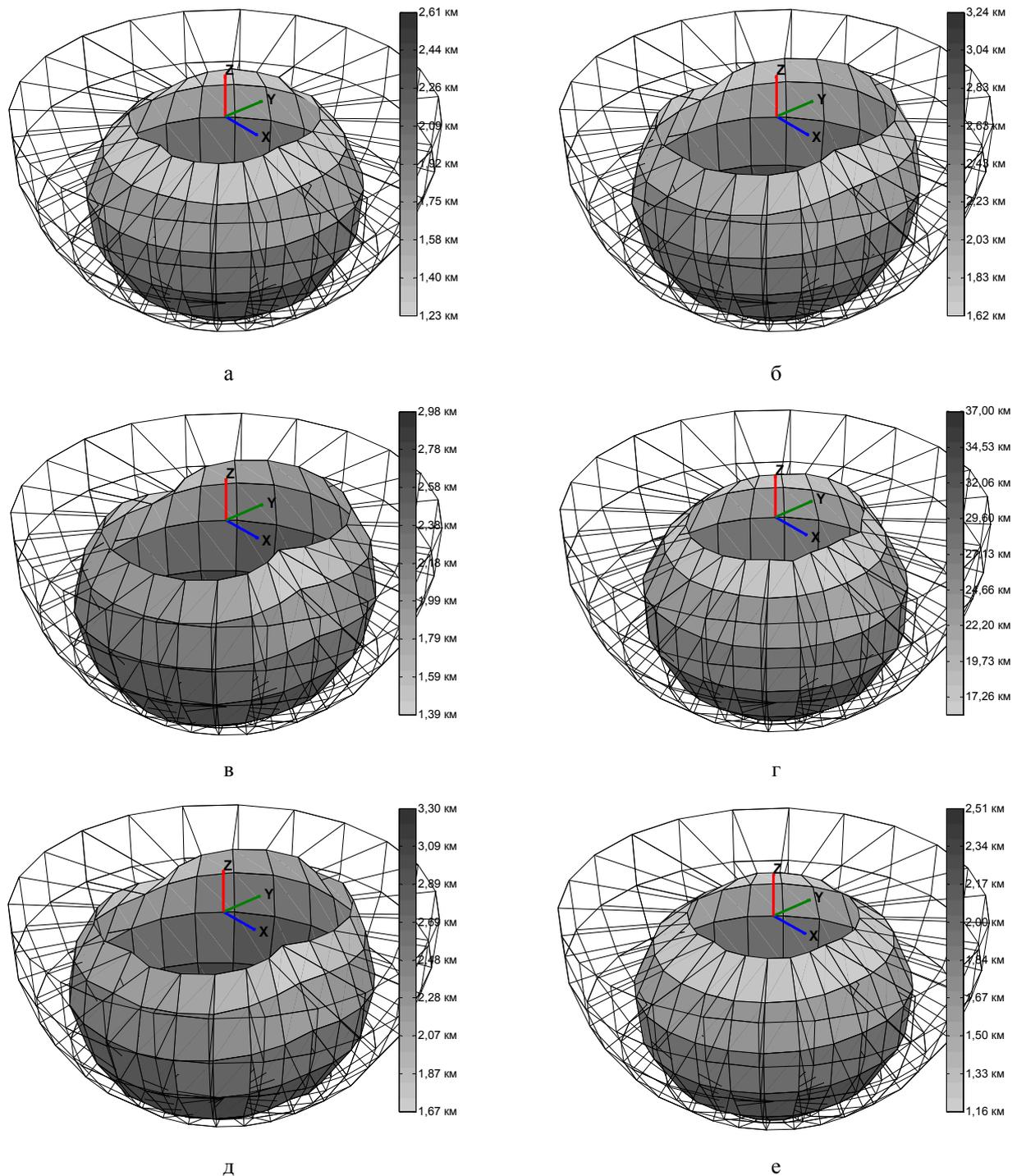


Рис. 3. Индикатрисы дальности обнаружения для тестовых моделей БЛА: «Иркут» (а), «Predator» (б), «Spectator» (в), «X-47» (г), «Eco» (д) и «Electro» (е)

помощью был проведен ряд экспериментов по обнаружению модели на фоне чистого неба в дневное время в условиях хорошей видимости. Результаты экспериментов дали сходные, однако, несколько меньшие значения дальности обнаружения.

Проведенный анализ выявил следующие причины расхождения. Во-первых, не все элементы реального БЛА одинаково заметны. В частности,

использование светлой окраски делает некоторые его элементы практически неразличимыми на фоне неба. Во-вторых, много элементов БЛА имеют вытянутую форму (например, крыло при виде спереди) и хотя эти элементы могут иметь довольно большую площадь, для наблюдателя их угловой размер оказывается меньше порога видимости.

Заключение

Таким образом, разработанная методика в целом позволяет достаточно адекватно оценить дальность обнаружения БЛА на основании анализа его трехмерной модели. Полученные с ее помощью результаты могут использоваться для сравнения моделей БЛА между собой. Однако абсолютные значения дальностей обнаружения дают лишь приближенную оценку реальной ситуации. Среди направлений дальнейшего усовершенствования предлагаемой методики следует выделить два основных. Первое – поэлементный анализ модели БЛА, учитывающий окраску каждого элемента и связанные с этим условия видимости с последующим учетом в общей площади только визуально заметных элементов. Второе – геометрический анализ контура модели и выделение на нем элементов, имеющих наибольшие поперечные размеры, которые и будут определять его видимый угловой размер.

Литература

1. Соловьев, О. В. Методика оценки максимальной дальности визуального обнаружения беспилотных летательных аппаратов [Текст] / О. В. Соловьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2010. – Вып. 2. – С. 76-81.
2. Müller, T., Robust drone detection for day/night counter-UAV with static VIS and SWIR cameras [Text] / T. Müller // Proc. of SPIE Defense + Security. – Anaheim, United States, 2017. – vol. 10190. – 12 p.
3. Травникова, Н. П. Эффективность визуального поиска [Текст] / Н. П. Травникова. – М. : Машиностроение, 1985. – 128 с.
4. Абчук, В. А. Поиск объектов [Текст] / В. А. Абчук, В. Г. Суздаль. – М. : Советское радио, 1977. – 336 с.
5. Autodesk [Электронный ресурс] : Программы для 3D-проектирования, дизайна, анимации и графики. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/>. – 12. 08.2017.
6. SOLIDWORKS [Электронный ресурс] : 3D CAD Design Software. – Режим доступа: <http://www.solidworks.com/>. – 12.08.2017.

7. КОМПАС-3D v17 [Электронный ресурс] : Инструмент со3Дателя — официальный сайт САПР КОМПАС. – Режим доступа: <http://kompas.ru/>. – 12. 08.2017.

8. Rhinoceros [Электронный ресурс] : Design, model, present, analyze, realize. – Режим доступа: <https://www.rhino3d.com/>. – 12. 08.2017.

9. MathWorks [Электронный ресурс] : Makers of MATLAB and Simulink. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/>. – 12. 08.2017.

References

1. Solov'ev, O. V. Metodika ocenki maksimal'noj dal'nosti vizual'nogo obnaruzhenija bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Method for estimating the maximum range of visual detection of unmanned aerial vehicles]. *Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov*, 2010, vol. 2, pp. 76-81.
2. Müller, T. Robust drone detection for day/night counter-UAV with static VIS and SWIR cameras. *Proc. of SPIE Defense + Security*, 2017, Anaheim, United States, vol. 10190, 12 p.
3. Travnikova, N. P. *Jeffektivnost' vizual'nogo poiska* [Visual search efficiency]. Moscow, "Mashinostroenie" Publ., 1985. 128 p.
4. Abchuk, V. A., Suzdal' V. G. *Poisk ob#ektov* [Object search]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1977. 336 p.
5. Autodesk - *Programmy dlja 3D-proektirovanija, dizajna, animacii i grafiki* [Software for 3D-design, animation and graphics]. Available at: <https://www.autodesk.ru/> (accessed 12.08.2017).
6. SOLIDWORKS - *3D CAD Design Software*. Available at: <http://www.solidworks.com/> (accessed 12.08.2017).
7. КОМПАС-3D v17 - *Instrument so3Datelja – oficial'nyj sajt SAPR КОМПАС*. [КОМПАС-3D v17 – Tool for designer – official site of CAD-system КОМПАС] Available at: <http://kompas.ru/> (accessed 12.08.2017).
8. Rhinoceros - *Design, model, present, analyze, realize*. Available at: <https://www.rhino3d.com/> (accessed 12.08.2017).
9. MathWorks - *Makers of MATLAB and Simulink*. Available at: <https://www.mathworks.com/> (accessed 12.08.2017).

Поступила в редакцию 12.08.2017, рассмотрена на редколлегии 14.09.2017

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ЇХ ТРИВИМІРНИМИ МОДЕЛЯМИ

С. К. Абрамов, В. В. Абрамова, К. Д. Абрамов, І. В. Калужинев

Розглянуто задачу визначення дальності візуального виявлення безпілотних літальних апаратів (БЛА). Запропоновано методику визначення індикатриси дальності виявлення на основі визначення візуально видимої при заданому азимуті й куті піднесення площі БЛА, що розрахована у системі автоматизованого проектування за наявною моделлю апарата. Методика успішно апробована на моделях БЛА, які побудовані за

різними аеродинамічними схемами. Проведено аналіз впливу аеродинамічної схеми на дальність виявлення. Проведено порівняння індикатрис дальності виявлення для однієї з моделей БЛА, які побудовані за експериментальними та змодельованими за допомогою запропонованої методики даними. Показано, що у цілому методика дає близькі, але дещо завищені значення дальності виявлення, що підтверджує можливість її використання для порівняльного аналізу різних моделей БЛА. Для отримання більш точних результатів оцінки дальності виявлення необхідне подальше вдосконалення методики. Намічено основні напрямки подальшої роботи в цьому напрямку.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, візуальна помітність, САПР, тривимірне моделювання.

TECHNIQUE OF DETECTION RANGE ESTIMATING FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON THEIR 3D MODELS

S. K. Abramov, V. V. Abramova, K. D. Abramov, I. V. Kaluzhinov

The problem of unmanned aerial vehicles (UAVs) detection and ranging is considered. It is shown that due to the small geometrical dimensions, the use of composite materials, low engine power and low flight altitudes, the UAVs are practically undetectable for long distances in thermal, radio and acoustic ranges, thus, the main detection range for UAVs is visible. The effectiveness of visual detection mainly depends on three factors: the background brightness, the contrast of the object with the background and the angular size of the object. For the most favorable observation conditions, the maximum detection range is determined by the angular size of the object. In the case of observation with the naked eye, the maximum detection range corresponds to the angular size of the object at one angular minute. Based on this condition the technique for visual detection range indicatrice constructing is proposed. It presumes obtaining visually observable for given azimuth and elevation angles UAV's square calculated in CAD system for existing 3D model of UAV. The technique was successfully tested on UAV models with different aerodynamic schemes. The influence of the aerodynamic scheme on the detection range is analyzed. It is shown that the models constructed according to the "flying wing" scheme have a detection range that is practically independent of the azimuth, and the models constructed according to the normal scheme are detected at a greater distance in the lateral observation than when viewed from the front. The indicatrices of the detection range for one of the UAV models obtained from the experimental data and data modeled by the proposed technique are compared. It is shown that, in general, the technique provides values of the detection range close to the experimental data, but a bit higher. This confirms the applicability of the technique for providing comparative analysis of various models of UAVs. For obtaining more accurate detection range estimation results the further improvement of the technique is necessary. The main approaches of further work in this direction are outlined. They concern the exclusion of the areas of the UAV's elements, which have a hidden color and specific elongated shape.

Keywords: unmanned aerial vehicle, visual visibility, CAD systems, 3D modeling.

Абрамов Сергей Клавдиевич – канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: s.abramov@khai.edu.

Абрамова Виктория Валерьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: v.abramova@khai.edu.

Абрамов Клавдий Данилович – канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: k.abramov@khai.edu.

Калузин Игорь Владимирович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: kaluzhinov@i.ua.

Abramov Sergey Klavdievich – Ph.D., Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: s.abramov@khai.edu.

Abramova Victoriya Valerievna – Ph.D., Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: v.abramova@khai.edu.

Abramov Klavdiy Danilovich – Ph.D., Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: k.abramov@khai.edu.

Kaluzhinov Igor Vladimirovich – Ph.D., Leading Researcher of Dept. of Aerial vehicles radio electronic systems design, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: kaluzhinov@i.ua.