

УДК 621.396.969.3:629.7.014-519

doi: 10.32620/reks.2020.3.04

**С. К. АБРАМОВ, В. В. АБРАМОВА, К. Д. АБРАМОВ, В. В. ЛУКИН,  
В. В. БОНДАРЬ, И. В. КАЛУЖИНОВ***Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДАТЕЛЕМ

*Широкое распространение малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) делает актуальной задачу контроля их использования в воздушном пространстве над стратегическими объектами инфраструктуры. Конструктивные особенности БЛА обеспечивают им малую заметность во всех существующих диапазонах наблюдения: радиолокационном, визуальном, тепловом и акустическом. В связи с этим для надежного обнаружения таких летательных аппаратов необходимо использовать комплексные системы, проводящие одновременные наблюдения во всех доступных диапазонах. Для оптимизации места размещения таких систем возникает задача определения полей надежного обнаружения БЛА для каждого из входящих в состав системы средств. Для решения этой задачи для средств визуального и теплового обнаружения на основе разработанной ранее методики определения индикатрис дальности обнаружения на основе определения визуально видимой площади БЛА, рассчитанной по имеющейся трехмерной модели аппарата, предложена новая методика для анализа характеристик видимости БЛА с точки зрения наземного наблюдателя. Применение предлагаемой методики демонстрируется на примере двух моделей БЛА: ЭКО – с двигателем внутреннего сгорания, и ЭЛЕКТРА – с электрическим двигателем. Вводится понятие индикатрисы поля обнаружения, как индикатрисы максимальной дальности обнаружения, перенесенной из системы координат БЛА в систему координат наблюдателя путем простых геометрических преобразований. По индикатрисам поля обнаружения можно проводить как непосредственный сравнительный анализ визуальной заметности БЛА, так и получить по ним дополнительную информацию, полезную для выработки рекомендаций о параметрах полета БЛА, в частности, высоте полета и направлении приближения к месту расположения возможного наблюдателя. При условии наличия для анализируемого БЛА индикатрисы поля обнаружения, расчет границы зоны обнаружения может производиться автоматически для любой заданной высоты. Это позволяет наглядно представить информацию о том, в каких пределах может изменяться дальность обнаружения БЛА в зависимости от направления и высоты его полета.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат; визуальная заметность; индикатриса дальности обнаружения; поле обнаружения; наземное визуальное наблюдение.

### Введение

В последнее время серьезно обострилась проблема контроля воздушного пространства для дистанционно управляемых (беспилотных) летательных аппаратов (БЛА) сверхмалого размера (дронов). Ценовая доступность, относительная простота управления такими аппаратами, а также отсутствие в большинстве стран необходимости получения лицензии на их использование сделали их весьма распространенными. В то же время бесконтрольное использование таких аппаратов довольно часто приводит к весьма негативным последствиям. Несмотря на малый размер, дроны при столкновении с другими, даже более крупными, летательными аппаратами (в том числе пилотируемыми), могут наносить им существенные повреждения. При этом последствия могут быть весьма серьезными, вплоть до аварий с человеческими жертвами. Существует также немало других

объектов техногенного характера, бесконтрольный доступ к которым дронов нежелателен или даже опасен. Например, ядерных электростанций, топливных и иных складов со взрывоопасными веществами, объектов транспортной инфраструктуры и т.п. Важной проблемой является также и информационная безопасность объектов, доступ к которым по тем или иным причинам ограничен (например, исправительным, военным, стратегическим объектам и пр.).

Первоочередной задачей для осуществления контроля за БЛА является их надежное обнаружение. Однако ввиду малого, а иногда и сверхмалого размера таких аппаратов решение этой задачи оказывается весьма непростым. Ключевым фактором здесь оказывается их заметность [1], т.е. свойство объекта выделяться на окружающем фоне. В зависимости от используемых средств наблюдения различают несколько видов заметности: радиолокационную, инфракрасную, акустическую и визуальную [1, 2].

Основная проблема состоит в том, что конструктивные особенности БЛА обеспечивают им весьма малую заметность в каждом из рассматриваемых диапазонов. В частности, в большинстве малоразмерных БЛА в качестве силового привода используются электрические двигатели, что обеспечивает низкую шумность, а также низкую температуру нагрева силовой установки. Это существенно снижает как акустическую, так и тепловую заметность. В конструкции БЛА мало металлических элементов, основным материалом является пластик, что делает их малозаметными в радиолокационном диапазоне. Наконец, сам по себе малый размер БЛА снижает их визуальную заметность. В связи с этим, наиболее эффективным системами обнаружения малоразмерных БЛА оказываются комплексные, проводящие одновременные наблюдения во всех диапазонах: радио, акустическом, визуальном и тепловом [3, 4, 5].

Такие системы являются довольно сложными, а потому дорогостоящими и, как правило, стационарными наземными. Кроме того, одной системы может быть недостаточно для охвата всей контролируемой территории. В связи с этим возникает необходимость оптимизации числа таких систем, а также схемы их размещения для контроля безопасности всего охраняемого объекта. В результате возникает задача определения полей надежного обнаружения БЛА для каждого из входящих в состав системы средств.

Ранее авторами была разработана методика определения дальности обнаружения БЛА в видимом диапазоне на основе анализа его трехмерной модели [6]. Методика прошла экспериментальную апробацию и показала свою эффективность. Однако получаемые с ее помощью данные характеризуют заметность БЛА в привязке к его собственной системе координат, что дает возможность оптимизировать конструкцию БЛА для управления его заметностью. В рассматриваемом же случае, необходимо дать характеристику заметности БЛА с точки зрения именно наземного наблюдателя (системы наблюдения).

### Постановка задачи

Задачей данной работы является модификация

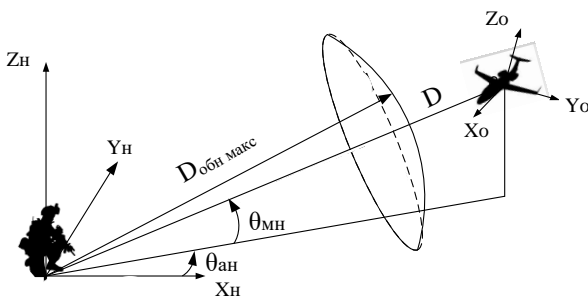


Рис. 1. Геометрическая интерпретация задачи обнаружения БЛА

существующей методики определения характеристик визуальной заметности БЛА на основании анализа его трехмерной модели, с целью приведения ее результатов в систему координат наземного наблюдателя. Это позволит оценивать максимальную дальность обнаружения наземной системы наблюдения для детектирования БЛА любого интересующего класса, и может быть в дальнейшем использовано для оптимизации размещения наблюдательных пунктов и сенсоров системы.

### Определение индикатрис максимальной дальности обнаружения в координатной системе БЛА

Геометрическая модель визуального наблюдения БЛА наблюдателем представлена на рис. 1.

В результате применения разработанной ранее методики определения дальности визуального обнаружения БЛА [6] строится индикатриса максимальной дальности обнаружения, общий вид которой приведен на рис. 2.

Рассмотрим применение методики на примере двух моделей БЛА: с двигателем внутреннего сгорания – ЭКО (рис. 3, а) и с электрическим двигателем – ЭЛЕКТРА (рис. 3, б). Соответствующие индикатрисы максимальных дальностей обнаружения для этих моделей в их системе координат приведены на рис. 4. Они построены с применением программных средств трехмерного моделирования Rhinoceros [7] и математического пакета Matlab [8].

Как видно, для модели ЭКО (см. рис. 4, а) минимальная дальность обнаружения имеет место при наблюдении с близкими к нулю углами места (угол откладывается от оси  $x$  к оси  $z$ ) и составляет порядка 1,5 км. При этом максимальная дальность обнаружения может достигать величины порядка 3,2 км при наблюдении в наиболее неблагоприятных ракурсах при углах места близких к  $90^\circ$ . Зависимость дальности обнаружения от угла азимута (угол откладывается от оси  $x$  к оси  $y$ ) выражена достаточно явно. Минимумы дальности обнаружения наблюда-

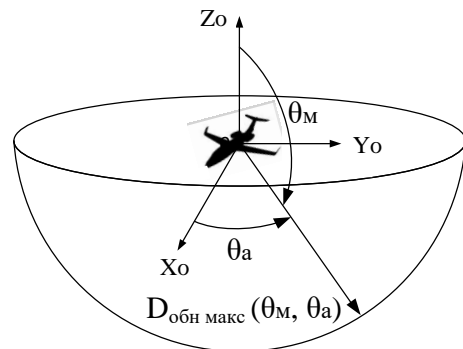


Рис. 2. Общий вид индикатрисы максимальной дальности обнаружения БЛА

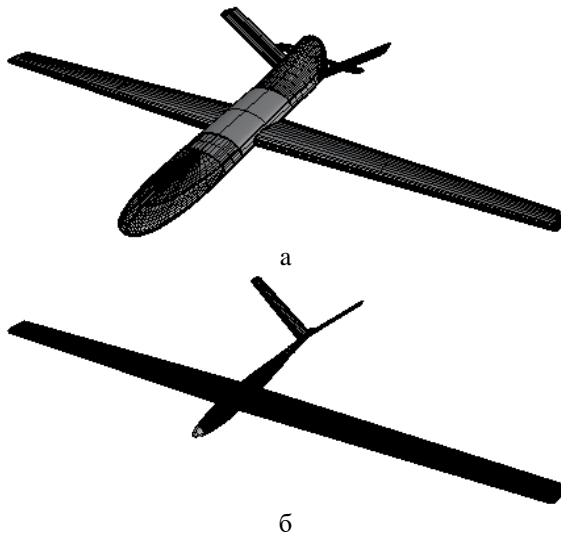


Рис. 3. Трехмерные модели БЛА ЭКО (а) и ЭЛЕКТРА (б)

ются при углах азимута кратных  $90^\circ$ , соответственно, максимумы – для углов кратных  $45^\circ$ . Разница между минимальной и максимальной дальностями обнаружения составляет порядка 300 м.

Форма индикатрисы дальности обнаружения для модели ЭЛЕКТРА (см. рис. 4, б) в целом до-

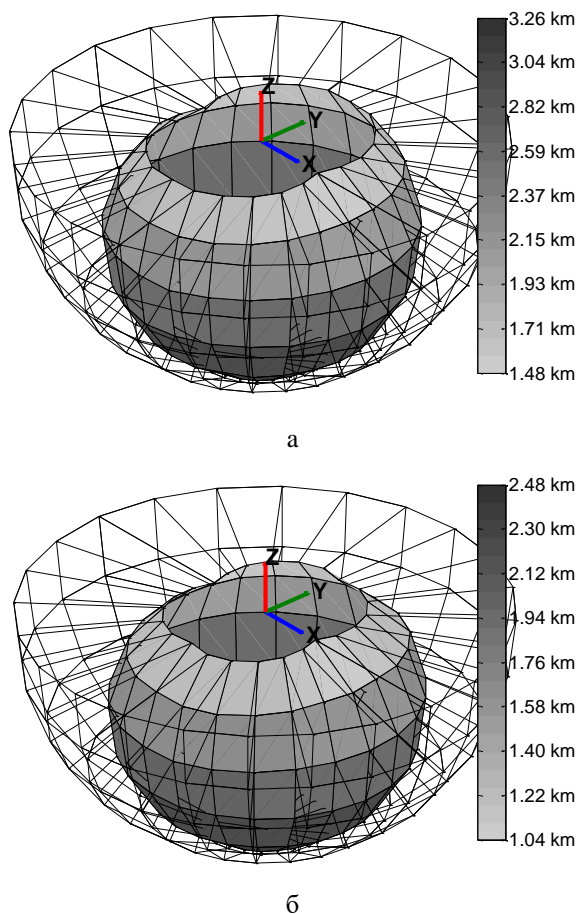


Рис. 4. Индикатрисы дальности обнаружения для моделей БЛА ЭКО (а) и ЭЛЕКТРА (б) в их системе координат

вольно схожа с формой индикатрисой для модели ЭКО. Отличаются они только абсолютными значениями дальностей обнаружения, которые для модели ЭЛЕКТРА существенно меньше, поскольку ее геометрические размеры меньше. Для этой модели минимальная дальность обнаружения (порядка 1 км) также наблюдается при наблюдении с близкими к нулю углами места, а максимальная (порядка 2,5 км) – при наблюдении с углами места  $90^\circ$ .

Рассмотрим теперь, как перейти к представлению полученных данных с точки зрения наземного наблюдателя.

### Формирование индикатрис поля видимости БЛА наземным наблюдателем

Введем понятие индикатрисы поля обнаружения, как индикатрисы максимальной дальности обнаружения, перенесенной из системы координат БЛА в систему координат наблюдателя.

Предположим без потери общности, что система координат БЛА ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) расположена относительно системы координат наблюдателя ( $X_n, Y_n, Z_n$ ) таким образом, что плоскость  $X_0Y_0$  параллельна плоскости  $X_nY_n$ , а орт  $X_0$  параллелен орту  $X_n$ . При таких условиях по законам геометрии углы азимута в координатной системе наблюдателя  $\theta_{ан}$  (см. рис. 1) и координатной системе объекта  $\theta_a$  (см. рис. 2) оказываются равными друг другу:  $\theta_{ан} = \theta_a$ ; а углы места в координатной системе наблюдателя  $\theta_{мн}$  (см. рис. 1) и координатной системе объекта  $\theta_m$  (см. рис. 2) связаны соотношением  $\theta_{мн} = 90^\circ - \theta_m$ .

Используя эти соотношения углов, можно по уже имеющейся индикатрисе  $D_{обн\ макс}(\theta_m, \theta_a)$  максимальной дальности обнаружения БЛА определить индикатрису поля обнаружения  $D^{н}_{обн}(\theta_{мн}, \theta_{ан})$  в системе координат наблюдателя

$$D^{н}_{обн}(\theta_{мн}, \theta_{ан}) = D_{обн\ макс}(90^\circ - \theta_{мн}, \theta_{ан}). \quad (1)$$

Для удобства визуализации индикатрисы поля обнаружения ее построение можно проводить в диапазоне углов по азимуту от  $0$  до  $180^\circ$ , поскольку за счет симметрии самой модели БЛА относительно плоскости  $X_0Z_0$  индикатриса поля обнаружения также будет симметрична относительно плоскости  $X_nZ_n$ . С учетом этого индикатриса будет иметь общий вид, показанный на рис. 5.

В результате применения вышеописанной методики пересчета были получены индикатрисы поля обнаружения для анализируемых в данной статье моделей БЛА ЭКО и ЭЛЕКТРА, представленные на рис. 6, а и б соответственно. Рассчитаны они с применением математического пакета Matlab [8].

Как видно из рис. 6, по индикатрисам поля об-

наружения также можно проводить сравнительный анализ визуальной заметности БЛА. Помимо этого эти индикатрисы позволяют получить дополнительную информацию, полезную для выработки рекомендаций о параметрах полета БЛА, в частности, высоте полета и направлении приближения к месту расположения возможного наблюдателя.

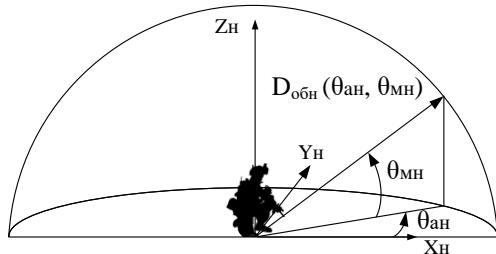


Рис. 5. Общий вид индикатрисы поля обнаружения БЛА

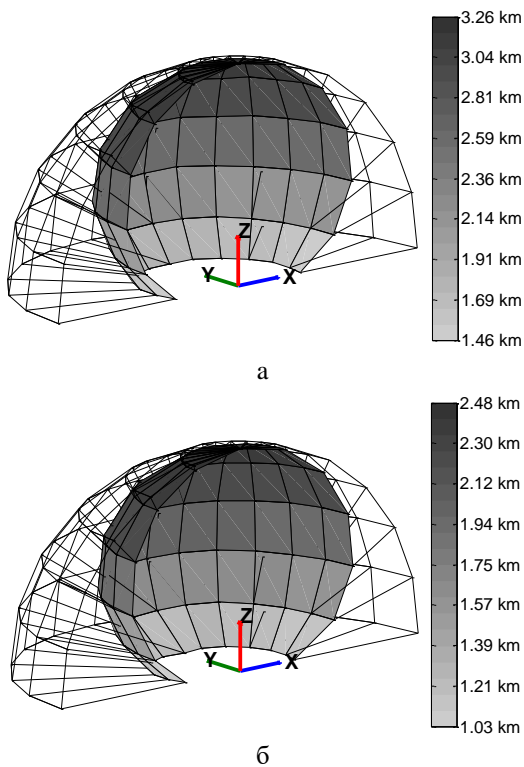


Рис. 6. Индикатрисы поля обнаружения для моделей БЛА ЭКО (а) и ЭЛЕКТРА (б)

### Определение зон обнаружения БЛА наземным наблюдателем

Предположим без потери общности, что БЛА движется прямолинейно на фиксированной высоте  $H$  относительно позиции наблюдателя вдоль оси  $X_n$  его системы координат. Позиция БЛА относительно оси  $Y_n$  может быть произвольной. Это означает, что перемещение БЛА происходит в плоскости, параллельной плоскости  $X_n Y_n$ . Тогда, чтобы определить

границу зоны обнаружения БЛА наблюдателем, необходимо найти контур сечения индикатрисы поля обнаружения плоскостью, параллельной плоскости  $X_n Y_n$  на уровне  $Z_n = H$ , т.е. плоскостью, в которой происходит перемещение БЛА.

При условии наличия для анализируемого БЛА индикатрисы поля обнаружения, расчет такой границы может производиться автоматически для любой заданной высоты  $H$ . Информация о границах может быть также получена заранее в виде графика семейства кривых для некоторого набора высот полета. Примеры таких графиков для анализируемых тестовых моделей БЛА приведены на соответствующих рисунках: ЭКО (рис. 7) и ЭЛЕКТРА (рис. 8).

Графики построены в полярной системе координат. Угловой координатой выступает угол азимута наблюдения  $\theta_{ан}$  в системе координат наблюдателя, отложенный в градусах. Радиальной координатой выступает дальность обнаружения  $D^{обн}$ , отложенная в метрах. Каждая кривая семейства получена для определенной высоты полета  $H$ , указанной рядом с ней и выраженной в метрах.

Рассмотрим семейство кривых для модели БЛА ЭКО (см. рис. 7). Использовать полученный график можно несколькими способами.

Во-первых, можно задаться фиксированной высотой, например  $H = 3000$  м, найти соответствующую кривую на графике и по координатной сетке определить, что при движении на данной высоте БЛА ЭКО станет заметен для наблюдателя при подлете к нему на расстояние чуть меньше 1000 метров. Причем расстояние обнаружения практически не будет зависеть от угла наблюдения по азимуту.

Во-вторых, можно задаться необходимой дальностью приближения к позиции наблюдателя, например  $D^{обн} = 1750$  метров, и определить кривые высот, которые окажутся внутри соответствующего радиуса. В случае БЛА ЭКО это будут высоты большие 2500 метров.

В-третьих, можно учесть и возможность подлета с определенного азимута. Например, при движении БЛА прямо на наблюдателя (при  $\theta_{ан} = 0^\circ$ ) подлет на расстояние  $D^{обн} = 1750$  метров будет возможен также и на высоте около 500 метров, при этом БЛА будет находиться лишь на грани обнаружения.

Полученные графики также можно использовать и для сравнения визуальной заметности различных моделей БЛА. Например, анализируя графики на рис. 7 и 8, можно сделать вывод, что модель ЭЛЕКТРА оказывается визуально менее заметной, чем модель ЭКО. Для модели ЭЛЕКТРА оказывается возможным незаметно пролететь непосредственно над наблюдателем на высоте 2500 метров. В то же время модель ЭКО на такой высоте может неза-

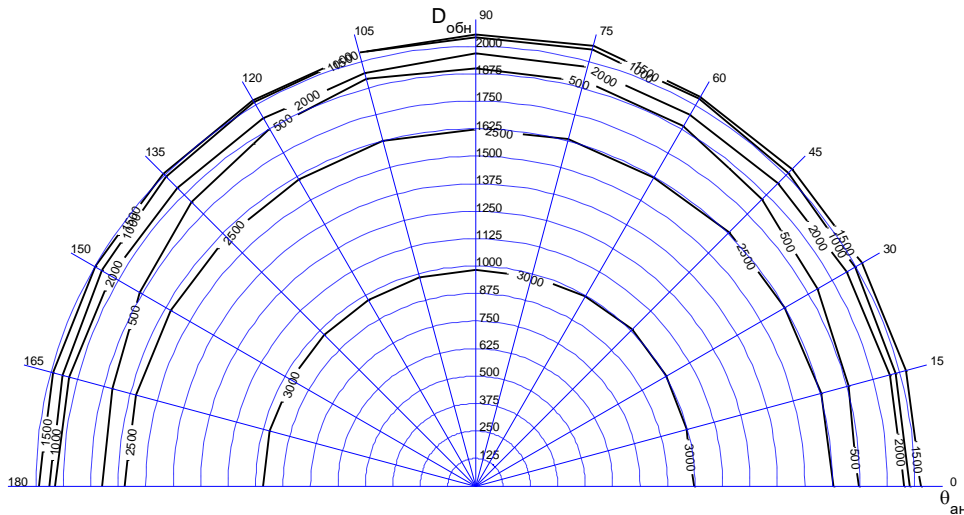


Рис. 7. Семейство границ зон обнаружения для тестовой модели БЛА ЭКО

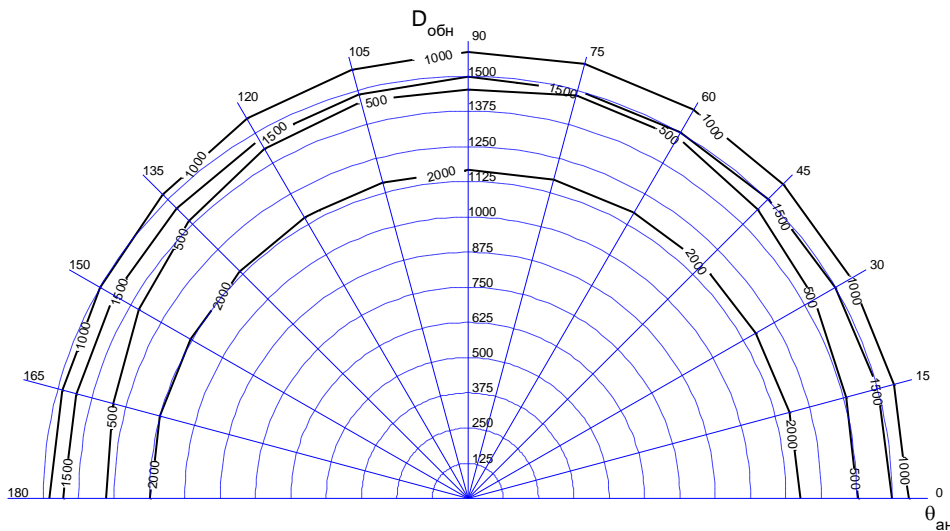


Рис. 8. Семейство границ зон обнаружения для тестовой модели БЛА ЭЛЕКТРА

метно подлететь к наблюдателю на расстояние не ближе 1625 метров.

### Заклучение

Для оценки эффективности выявления БЛА наземными комплексными средствами (использующими несколько подсистем обнаружения в различных диапазонах слежения) была разработана методика перестройки полученных ранее индикатрис максимальной дальности обнаружения БЛА в индикатрисы зон видимости, характеризующие возможность обнаружения БЛА именно с точки зрения наземного наблюдателя. Это позволило получить наглядное представление, в каких пределах может изменяться дальность обнаружения БЛА в зависимости от направления и высоты его полета. Показано, что за счет правильного выбора направления наблюдения можно существенно повысить вероятность обнаружения БЛА.

### Литература

1. Ковтонюк, І. Б. Модифікована модель візуальної помітності дистанційно пілотованих літальних апаратів [Текст] / І. Б. Ковтонюк, О. Б. Котов, В. А. Таврін // Системи обробки інформації. – 2015. – Вып. 10. – С. 212-214.
2. Травникова, Н. П. Эффективность визуального поиска [Текст] / Н. П. Травникова. – М. : Машиностроение, 1985. – 128 с.
3. Müller, W. Open architecture of a counter UAV system [Text] / W. Müller, F. Reinert, D. Pallmer // Proc. SPIE 10651, Open Architecture/Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation. – 2018. – Vol. 1065106. DOI: 10.1117/12.2305606.
4. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones [Text] / I. Guvenc, F. Koochifar, S. Singh, M. L. Sichitiu, D. Matolak // IEEE Communications Magazine. – 2018. – Vol. 56, No. 4. – P. 75-81. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700455.
5. Deep Learning on Multi Sensor Data for Coun-

ter UAV Applications – A Systematic Review [Text] / S. Samaras, E. Diamantidou, D. Ataloglou, N. Sakellariou, A. Vafeiadis, V. Magoulianitis, A. Lalas, A. Dimou, D. Zarpalas, K. Votis, P. Daras, D. Tzovaras // *Sensors*. 2019. – Vol. 19, No. 22. – P. 4837.

6. Методика определения дальности обнаружения беспилотных летательных аппаратов по их трехмерным моделям [Текст] / С. К. Абрамов, В. В. Абрамова, К. Д. Абрамов, И. В. Калужинов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 5 (140). – С. 85-91.

7. Rhinoceros [Электронный ресурс] : Design, model, present, analyze, realize. – Режим доступа : <https://www.rhino3d.com/>. – 12.06.2020 г.

8. MathWorks [Электронный ресурс] : Makers of MATLAB and Simulink. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/>. – 12.06.2020 г.

## References

1. Kovtonyuk, I. B., Kotov, O. B., Tavrin, V. A. Modyfikovana model vizual'noyi pomitnosti dystancijno pilotovanyx lital'nyx aparativ [Modified model of visual visibility of remotely piloted aircraft]. *Systemy obrobky informaciyi – Information Processing Systems*, 2015, vol. 10, pp. 212-214.

2. Travnikova, N. P. *Jeffektivnost' vizual'nogo poiska* [Visual search efficiency]. Moscow, "Mashinostroenie" Publ., 1985. 128 p.

3. Müller, W., Reinert, F., Pallmer, D. Open architecture of a counter UAV system, *Proc. SPIE 10651, Open Architecture/Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation*, 2018, vol. 1065106. Doi: 10.1117/12.2305606.

4. Guvenc, I., Koohifar, F., Singh, S., Sichitiu, M. L., Matolak, D. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones. *IEEE Communications Magazine*, 2018, vol. 56, no. 4, pp. 75-81. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700455.

5. Samaras, S., Diamantidou, E., Ataloglou, D., Sakellariou, N., Vafeiadis, A., Magoulianitis, V., et al. Deep Learning on Multi Sensor Data for Counter UAV Applications – A Systematic Review. *Sensors*, 2019, vol. 19, no. 22, pp. 4837.

6. Abramov, S. K., Abramova, V. V., Abramov, K. D., Kaluzhynov, I. V. Metodika opredelenija dal'nosti obnaruzhenija bespilotnyh letatel'nyh apparatov po ih trehmernym modeljam [Technique of detection range estimating for unmanned aerial vehicles based on their 3D models]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologija – Aerospace technic and technology*, 2017, vol. 5, no. 140, pp. 85-91.

7. Rhinoceros - Design, model, present, analyze, realize. Available at: <https://www.rhino3d.com/> (accessed 12.06.2020).

8. MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink. Available at: <https://www.mathworks.com/> (accessed 12.06.2020).

Поступила в редакцию 10.09.2020, рассмотрена на редколлегии 15.09.2020

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НАЗЕМНИМ СПОСТЕРІГАЧЕМ

С. К. Абрамов, В. В. Абрамова, К. Д. Абрамов, В. В. Лукін, В. В. Бондар, І. В. Калужинов

Широке поширення малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БЛА) робить актуальним завдання контролю їх використання в повітряному просторі над стратегічними об'єктами інфраструктури. Конструктивні особливості БЛА забезпечують їм малу помітність у всіх існуючих діапазонах спостереження: радіолокаційному, візуальному, тепловому й акустичному. У зв'язку з цим для надійного виявлення таких літальних апаратів необхідно використовувати комплексні системи, які проводять одночасні спостереження у всіх доступних діапазонах. Для оптимізації місця розміщення таких систем виникає задача визначення полів надійного виявлення БЛА для кожного зі спостережних засобів. Для вирішення цього завдання для засобів візуального і теплового виявлення на основі розробленої раніше методики визначення індикатрис дальності виявлення на основі визначення візуально видимої площі БЛА, розрахованої за наявною тривимірною моделлю апарата, запропонована нова методика для аналізу характеристик видимості БЛА з точки зору наземного спостерігача. Застосування запропонованої методики демонструється на прикладі двох моделей БЛА: ЕКО – з двигуном внутрішнього згоряння, і ЕЛЕКТРА – з електричним двигуном. Вводиться поняття індикатрис поля виявлення, як індикатрис максимальної дальності виявлення, перенесеної з системи координат БЛА до системи координат спостерігача шляхом простих геометричних перетворень. За індикатрисами поля виявлення можна проводити як безпосередній порівняльний аналіз візуальної помітності БЛА, так і отримати за ними іншу інформацію, корисну для вироблення рекомендацій про параметри польоту БЛА, зокрема, висоті польоту і напрямку наближення до місця розташування можливого спостерігача. За умови наявності для аналізованого БЛА індикатрис поля виявлення, розрахунок межі зони виявлення може здійснюватися автоматично для будь-якої заданої висоти. Це дозволяє наочно представити інформацію про те, в яких межах може змінюватися дальність виявлення БЛА в залежності від напрямку і висоти його польоту.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; візуальна помітність; індикатриса дальності виявлення; поле виявлення; наземне візуальне спостереження.

## TECHNIQUE OF DETECTION FIELD ESTIMATING FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES BY A GROUND OBSERVER

S. Abramov, V. Abramova, K. Abramov, V. Lukin, V. Bondar, I. Kaluzhinov

The widespread use of small-sized unmanned aerial vehicles (UAVs) makes it urgent to control their use in the airspace over strategic infrastructure facilities. The design features of UAVs provide them with low visibility in all existing observation ranges: radar, visual, thermal, and acoustic. In this regard, for the reliable detection of such aircraft, it is necessary to use complex systems that conduct simultaneous observations in all available ranges. To optimize the location of such systems, the problem arises of determining the fields of reliable detection of UAVs for each of the means included in the system. To solve this problem for the means of visual and thermal detection based on the previously developed technique for determining the indications of the detection range based on the determination of the visually visible area of the UAV, calculated from the existing three-dimensional model of the vehicle, a new method is proposed for analyzing the characteristics of the UAV visibility for the ground observer. The application of the proposed technique is demonstrated by the example of two UAV models: ECO – with an internal combustion engine, and ELECTRA – with an electric motor. The concept of the indicatrix of the detection field is introduced, as an indicatrix of the maximum detection range, transferred from the UAV coordinate system to the observer's coordinate system by simple geometric transformations. Based on the indications of the detection field, it is possible to carry out both a direct comparative analysis of the visual visibility of UAVs and to obtain additional information from them, useful for making recommendations on the parameters of the UAV flight, in particular, the flight altitude and the direction of approach to the location of a potential observer. If there is an indicatrix of the detection field for the analyzed UAV, the calculation of the detection zone boundary can be performed automatically for any given height. This allows you to visualize information about the limits within which the UAV detection range can change depending on the direction and altitude of its flight.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; visual visibility; detection range indicatrix; detection field; ground visual observation.

**Абрамов Сергей Клавдиевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**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.

**Абрамов Клавдий Данилович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Лукин Владимир Васильевич** – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Бондарь Василий Владимирович** – ассистент кафедры информационно-коммуникационных технологий им. А. А. Зеленского, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Калужин 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.

**Sergey Abramov** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: s.abramov@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0002-8295-9439.

**Victoriya Abramova** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: v.abramova@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0001-5802-5858.

**Klavdiy Abramov** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: k.abramov@khai.edu.

**Vladimir Lukin** – Doctor of Technical Science, Head of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: lukin@ai.kharkov.com, ORCID Author ID: 0000-0002-1443-9685.

**Vasiliy Bondar** – Assistant of Dept. of Information-communication technologies named after A. A. Zelensky, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: v.bondar@khai.edu.

**Igor Kaluzhinov** – Candidate of Technical Science, Leading Researcher of Dept. of Aerial vehicles radio electronic systems design, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: kaluzhynov@i.ua.