

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИЧЕСКОЙ ЗАМЕТНОСТИ ОБЪЕКТОВ БТТ

В современных условиях повышения скрытности типовых целей бронетанковой техники (БТТ) необходимо применение комплексных систем разведки наземных целей, основанных на использовании различных физических принципов для обнаружения необходимых демаскирующих факторов [1–3].

В ходе решения этой актуальной научной проблемы, одним из путей решения которой является усовершенствование комплекса приборов наблюдения и обнаружения наземных целей, на основе дополнительной оптико-акустической системы разведки (ДОАСР) наземных целей с использованием контрастирования их цифровых изображений на местности и акустических возмущений, генерируемых объектами БТТ, был проведен ряд экспериментальных исследований в области оптики и акустики [4,5].

Для оценки результатов экспериментального исследования по определению оптической заметности объектов БТТ использовались два метода определения теоретических и экспериментальных погрешностей.

Первый метод заключается в определении характера изменения разрешающей способности (РС) оптической системы (ОС) фотоаппарата Nikon D3200 при амплитудной фильтрации информационного сигнала. В качестве амплитудного фильтра (АФ) использовалась плоско-параллельная пластина из оптического стекла, дающая минимальные искажения оптического сигнала, с непрозрачной маской прямоугольной формы. Фильтр размещали непосредственно перед объективом ОС. Длина маски (ДМ) АФ равна диаметру входного отверстия объектива, а ширина изменяется в определенных пределах, указанных в таблице 1.

Экспериментальная установка (рисунок 1) для определения РС ОС при наблюдении эталонного изображения (миры) с учётом всех элементов данной установки состоит из: микроскопа для визуального наблюдения (1); исследуемой оптической системы с АФ (2); контрольной миры (3) и подсветки (4).

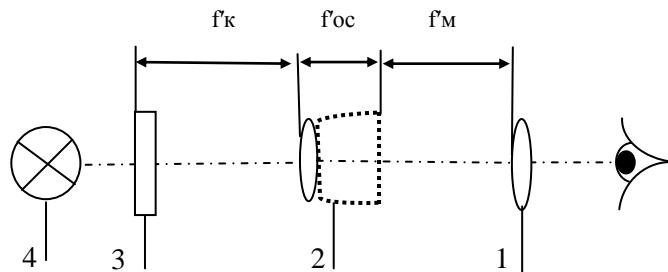


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

f_m' – фокусное расстояние микроскопа; f_{oc}' – фокусное расстояние оптической системы фотоаппарата;
 f_k' – фокусное расстояние до контрольной миры

В экспериментальной установке используется штриховая мира. Тогда РС ОС находим путём определения наибольшего номера элемента миры, который разрешается глазом, и вычисляем как [6]

$$R_N = \frac{60}{B} \cdot K_N, \quad (1)$$

где B , N – база и номер элемента миры; K_N – коэффициент ($K_N = 1,06^{N-1}$).

При этом суммарная РС зависит от РС составляющих, которые определяются согласно соотношения [7]

$$\frac{1}{R_N} = \frac{1}{R_{mo}} + \frac{1}{R_{ocп}} + \frac{1}{R_k}, \quad (2)$$

где $R_{мо}$ – разрешающая способность системы "микроскоп – глаз наблюдателя"; $R_{осп}$ – разрешающая способность оптической системы в плоскости предметов с использованием амплитудного фильтра,

$$R_{осп} = \frac{R_{п} \cdot R_{ос}}{R_{ос} + R_{п}}; R_{ос} – разрешающая способность оптической системы.$$

При заранее известных значениях $R_{мо}$, R_k и определенному по (1) R_N , вычисляем значение РС ОС ($R_{ос}$) с использованием АФ по соотношению (2).

Установлено, что РС данной ОС уменьшается при увеличении ширины маски АФ. Согласно приведенным данным (таблица 1) фильтрация информационного сигнала осуществляется в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На рисунке 2 приведены зависимости нормированной РС от ширины и длины миры для расчетных и экспериментальных данных. В первом случае разрешение, постепенно уменьшаясь, исчезает при ширине маски АФ $l = 7$ мм (кривая 1, рисунок 2,б), при этом осуществляется фильтрация изображения горизонтально расположенных штрихов миры.

Таблица 1 – Экспериментальные данные испытаний Nikon D3200 ($f = 200$ мм; мира № 4; $B = 8,8$ мм; $R_{мо} = 220,851$ мм⁻¹; $R_k = 1860$ мм⁻¹; $R_{ос} = 20,243$ мм⁻¹)

Маска АФ размещена горизонтально										
L	N			R _N			Rafo			R _п
	верт	гор	общ	верт	гор	общ	верт	гор	общ	общ
3	17	17	17	17,5	17,5	17,5	19,3	19,3	19,3	0
5	17	17	17	17,5	17,5	17,5	19,3	19,3	19,3	0,85
7	16	16	12,5	16,3	16,3	13,5	17,8	17,8	14,5	3,54
7,5	13	15	–	13,5	15,42	–	14,5	16,8	–	–
8	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–	–
8,5	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–	–
9	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–	–
11	10,5	–	–	11,2	–	–	12,1	–	–	–
12	10,5	–	–	11,2	–	–	12,1	–	–	–
13	10,5	–	–	11,2	–	–	12,1	–	–	–
Маска АФ размещена вертикально										
3	17	17	17	17,5	17,5	17,5	19,3	19,3	19,3	0
5	17	16	16	17,5	16,1	16,1	19,3	17,7	17,7	0,85
7	13	16	13	13,5	16,1	13,5	14,7	17,7	14,5	3,44
7,5	6	16	6	8,7	16,3	8,7	9,7	17,8	9,1	9,03
8	–	14	–	–	14,5	–	–	15,7	–	–
8,5	–	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–
9	–	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–
11	–	13	–	–	13,5	–	–	14,7	–	–
12	–	12	–	–	12,7	–	–	13,5	–	–
13	–	12	–	–	12,7	–	–	13,5	–	–

Аналогичные преобразования осуществлялись при вертикальном расположении маски АФ, однако граничное значение ширины маски АФ равно $l = 7,5$ мм (кривая 2, рисунок 2,б); производится фильтрация изображения вертикально расположенных штрихов миры. Из графиков, приведенных на рисунке 2,б, видно, что при горизонтальном расположении маски спад кривой разрешения происходит менее интенсивно (кривая 1), чем при вертикальном расположении маски (кривая 2), что указывает на асимметричность АФ в данных плоскостях. Таким образом, изменяя плоскость расположения маски АФ, можно осуществлять управление РС исследуемой ОС в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а изменяя ширину маски АФ, получить диапазон управляемых значений РС данной ОС фотоаппарата.

Передачная характеристика для безаберрационного объектива определяется функцией передачи модуляции (ФПМ), которая учитывает явление дифракции.

ФПМ определяется [6,7] как автокорреляционная функция распределения амплитуды информационного сигнала в пределах выходного зрачка ОС

$$r(\tau) = \frac{\iint_{-\infty}^{\infty} y(x) y(x - \tau) dx}{\iint_{-\infty}^{\infty} y^2(x) dx} . \quad (3)$$

Подставив в (3) функцию, описывающую распределение амплитуд информационного сигнала $y(x)$ на выходе ОС и задавшись величиной смещения апертуры τ , определяли ФПМ, учитывая явление дифракции.

Используя величину порогового контраста глаза, определяли значения РС и построили графики зависимости (рисунок 2,а) относительного значения РС от ширины горизонтальной либо вертикальной маски, вычисленные аналитически. Необходимо отметить, что зависимости на рисунке 2,а имеют существенные различия по форме, однако видно, что степень уменьшения РС при горизонтальной и вертикальной фильтрации различна.

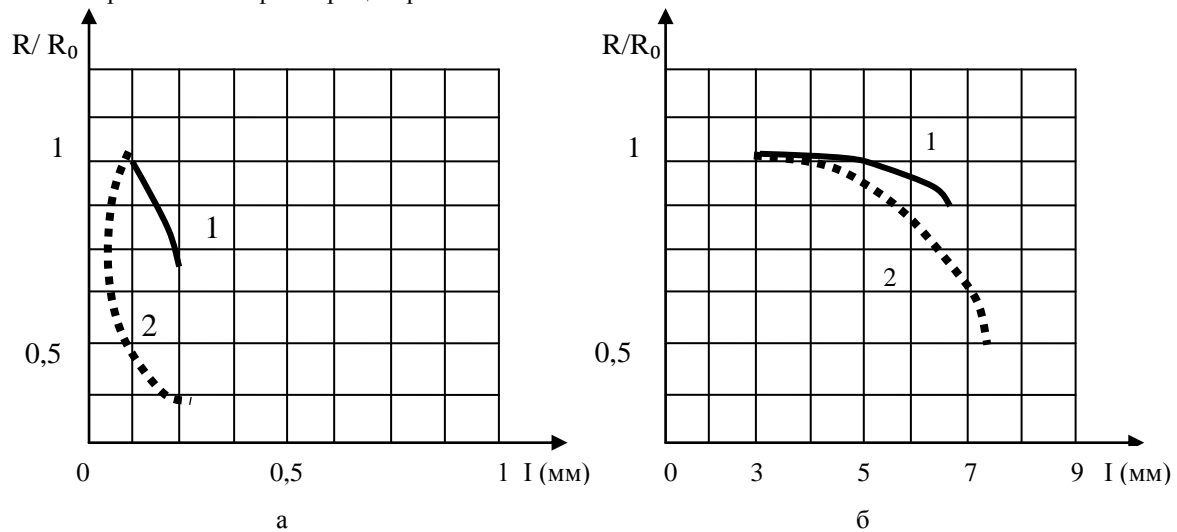


Рисунок 2 – Зависимость нормированной РС от ширины ДМ
(а – расчетная при нормированной апертуре; б – экспериментальная)

Полученные данные показывают возможность раздельного изменения значения РС в различных плоскостях оптической системы и то, что данные результаты могут быть использованы для коррекции (выравнивания) значения РС по полю кадра цифрового фотоаппарата Nikon D3200, что существенно будет влиять на качество цифровых изображений объектов БТТ для их последующей обработки и оконтуривания.

Второй метод. Для определения аберраций объектива типа дисторсия применен метод астрометрической редукции, используемый при фотографических, координатных наблюдениях звезд по известному критерию отбора надежных наблюдений Греббса [8]. Для этого на исследуемом фотоаппарате, в точке проведения фотографирования объекта БТТ (БТР-60ПБ) на тактическом поле учебного центра НА НГУ г. Харькова [9], получили 20 кадров звездных площадок в зените. Фотографирование звездных площадок проводилось в ночное время (с 23.00 до 24.00) по всем сторонам света пять раз от горизонта до зенита по соответствующим углам для построения звездного неба в целом над точкой.

Программой Astrometrica [10] были вычислены экваториальные координаты звезд и разница (поправки) между обнаруженными (О) и идеальными (С) по каталогу положений и собственных движений звезд (ХРМ) с применением линейной модели редукции (О-С).

Astrometrica является интерактивным программным обеспечением для астрометрической и фотометрической обработки прибора зарядовой связи (ПЗС) – изображений звезд и малых тел Солнечной системы (астероидов, комет и карликовых планет). Текущая версия разработана для 32-битной операционной системы Windows.

Используя результаты вычислений по каждому кадру, строились трехмерные графики распределения (О-С) в зависимости от прямоугольных координат в системе ПЗС-матрицы. Изображение в пикселах ПЗС-матрицы разбивалось на ячейки усреднения 16x16 пиксел для камеры Nikon D5100 и 11x11 пиксел для камеры Nikon D3200. В каждой ячейке проводилось усреднение невязок [11].

Для исследования неравномерности поля фотоаппаратов Nikon D5100 с фокусным расстоянием 105 мм и Nikon D3200 с фокусным расстоянием 300 мм использовалось 20 кадров с экспозицией 5 с. В среднем использовалось около 200 звезд для одного кадра. Для линейной редукций не выявлено систематической неравномерности распределения (O-C) по полю ПЗС-матрицы (рисунок 3 и рисунок 4).

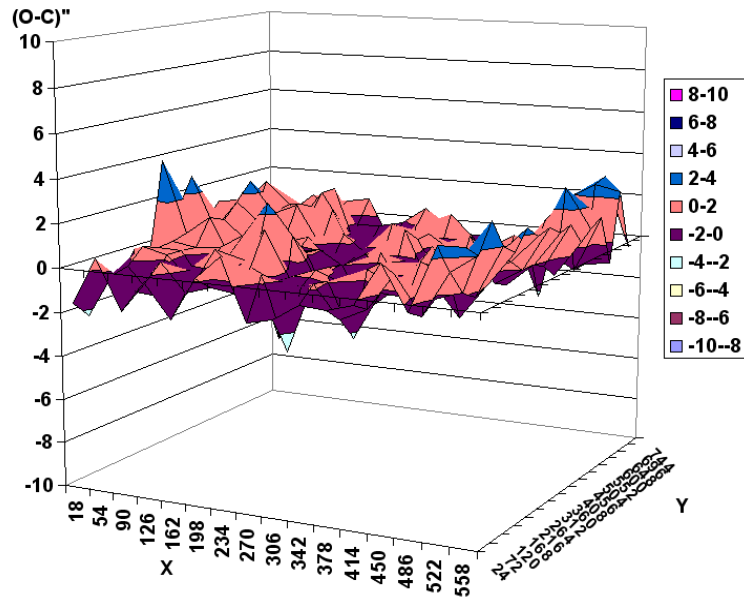


Рисунок 3 – Распределение (O-C) по полю ПЗС-матрицы для объектива Nikon D5100: X,Y - номера средней пиксели ячейки усреднения

Применение усредненных значений поправок за дисторсию позволяет убрать влияние искажений оптической системы до уровня случайной ошибки в $\pm 0.''12$, что соответствует 1 мм в изображении объектива находящегося на расстоянии 1000 м от объекта БТТ и 1 см непосредственно в плоскости фотографируемого объекта БТТ находящегося на расстоянии 1000 м.

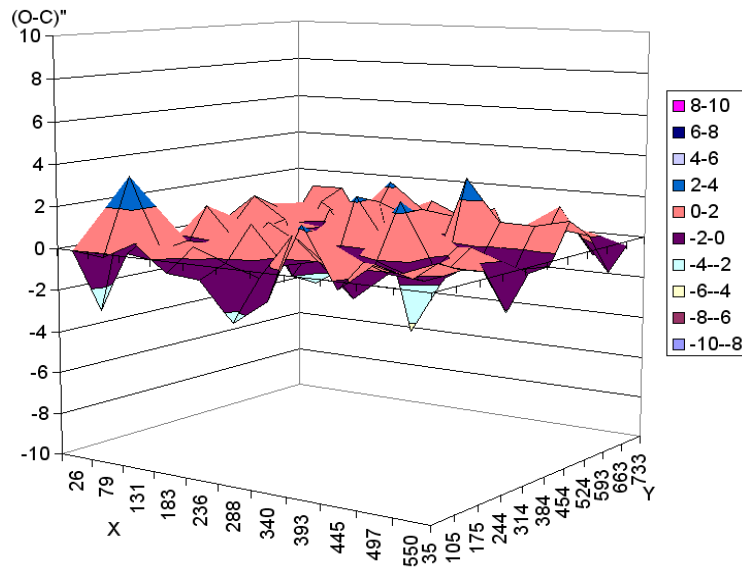


Рисунок 4 – Распределение (O-C) по полю ПЗС-матрицы для объектива Nikon D3200: X,Y - номера средней пиксели ячейки усреднения

Таким образом, анализ качества оптико-цифровой аппаратуры (Nikon D5100, D3200) примененной в ходе эксперимента показывает, что 1 см погрешности в непосредственном изображении объекта БТТ на

расстоянии 1000 м в его изображении оптико-цифровой аппаратуре соответствует 1 мм, соответственно 5 см на расстоянии 5000 м, 10 см на расстоянии 10000 м и далее, что не приводит к искажению образца фотографируемого объекта БТТ.

В связи с этим, для необходимых дальностей обнаружения ДООАСР наземных целей до 5–7 км и более [12] такие погрешности можно считать приемлемыми для практического применения. Кроме того, в вычислительный модуль ДООАСР наземных целей может быть помещена функция, вычисляющая погрешности от дальности объекта и, таким образом, выдавать целеуказания с учетом вычисленной погрешности курсового угла на цель.

Литература

1. Анипко О.Б. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк, И.Ю. Бирюков // Зб. наук. праць Акад. ВВ МВС України. – 2011. – № 2 (18). – С. 43–47.
2. Бирюков И.Ю. Рациональный синтез оптической и акустической разведки для системы управления огнем объекта бронетанковой техники / И.Ю. Бирюков / Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – №1(17) – С. 12–15.
3. Бирюков И.Ю. Интеграция дополнительной оптико-акустической системы разведки в систему управления огнем танка / И.Ю. Бирюков, С.Н. Сиренко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 1. – С. 119–123.
4. Анипко О.Б. Звуковые портреты объектов БТТ для обнаружения и распознавания целей – О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков, Ю.М. Бусяк // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2011. – № 3. – С. 31–36.
5. Бирюков И.Ю. Обработка цифровых изображений при распознавании наземных целей дополнительной оптико-акустической системой разведки объектов БТТ / И.Ю. Бирюков // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – №3 (35). – С. 52–58.
6. Применение методов Фурье – оптики / Под. ред. Г. Старка; пер. с англ. А.А. Васильева, А.В. Парфенова. – М.: Радио и связь, 1988. – 535 с.
7. Черный С.В. Методика определения разрешающей способности оптических систем при визуальном наблюдении с использованием амплитудной фильтрации оптического сигнала / С.В. Черный, А.А. Жевтюк // Системи обробки інформації. – 2002. – №4(20). – С. 247–250.
8. Подобед В.В. Фундаментальная астрометрия. – М.: Наука. – 1968. – 452 с.
9. Бирюков И.Ю. Маскировочная окраска наземных объектов и методы их распознавания / И.Ю. Бирюков // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2013. – № 2. – С. 101–109.
10. Shareware for research grade CCD Astrometry [Электронный ресурс]. Режим доступа к документу: <http://www.astrometrica.at/>. Название с экрана.
11. Федоров П.Н. Опорные системы координат в современной астрометрии / П.Н. Федоров, В.С. Ахметов, А.В. Шульга // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т.16, № 6. – С. 68–74.
12. Анипко О.Б. Комплексный метод обнаружения и распознавания наземных целей на основе анализа цифровых изображений и регистрации акустических возмущений / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 4. – С. 51–57.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B. Kompleksnaya problema poiska i obnaruzheniya nazemnyih tseley dlya porazheniya vooruzheniem, ustanovlennym na ob'ektah bronetehniki. O.B. Anipko, Yu.M. Busyak, I.Yu. Biryukov. Zb. nauk. prats Akad. VV MVS Ukrayini. – 2011. – # 2 (18). – P. 43–47.
2. Biryukov I.Yu. Ratsionalnyiy sintez opticheskoy i akusticheskoy razvedki dlya sistemy upravleniya ognem ob'ekta bronetankovoy tehniky. I.Yu. Biryukov. Sistemi ozbroennya i viyskova tehniky. – 2015. – #1(17) – P. 12–15.
3. Biryukov I.Yu. Integratsiya dopolnitelnoy optiko-akusticheskoy sistemy razvedki v sistemu upravleniya ognem tanka. I.Yu. Biryukov, S.N. Sirenko. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2015. – # 1. – P. 119–123.
4. Anipko O.B. Zvukovyye portrety ob'ektov BTT dlya obnaruzheniya i raspoznavaniya tseley – O.B. Anipko, I.Yu. Biryukov, Yu.M. Busyak. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2011. – # 3. – P. 31–36.
5. Biryukov I.Yu. Obrabotka tsifrovyyih izobrazheniy pri raspoznanii nazemnyih tseley dopolnitelnoy optiko-akusticheskoy sistemoй razvedki ob'ektov BTT. I.Yu. Biryukov. Sistemi ozbroennya i viyskova tehniky. – 2013. – #3 (35). – P. 52–58.

6. Primenenie metodov Fure-optiki. Pod. red. G. Starka; per. s angl. A.A. Vasileva, A.V. Parfenova. – M.: Radio i svyaz, 1988. – 535 p.
7. Cherniy S.V. Metodika opredeleniya razreshayushey sposobnosti opticheskikh sistem pri vizualnom nablyudenii s ispolzovaniem amplitudnoy filtratsii opticheskogo signala. S.V. Cherniy, A.A. Zhevtyuk. *Sistemi obrobki informatsiyi*. – 2002. – #4(20). – P. 247–250.
8. Podobed V.V. *Fundamentalnaya astrometriya*. – M.: Nauka. – 1968. – 452 p.
9. Biryukov I.Yu. Maskirovochnaya okraska nazemnykh ob'ektov i metody ih raspoznavaniya. I.Yu. Biryukov. *Integrovani tehnologii ta energozberezheniya*. – 2013. – # 2. – P. 101–109.
10. Shareware for research grade CCD Astrometry [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa k dokumentu: <http://www.astrometrica.at/>. Nazvanie s ekrana.
11. Fedorov P.N. Opornyye sistemy koordinat v sovremennoy astrometrii. P.N. Fedorov, V.S. Ahmetov, A.V. Shulga. *Kosmichna nauka i tehnologiya*. – 2010. – T.16, # 6. – P. 68–74.
12. Anipko O.B. Kompleksnyy metod obnaruzheniya i raspoznavaniya nazemnykh tseley na osnove analiza tsi-frovyykh izobrazheniy i registratsii akusticheskikh vozmuscheniy. O.B. Anipko, I.Yu. Biryukov. *Integrovani tehnologii ta energozberezheniya*. – 2014. – # 4. – P. 51–57.

УДК 355.4; 522.3; 623.4

Аніпко О.Б., Бірюков І.Ю., Шульга О.В., Сіренко С.М.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ЗНАХОДЖЕННЮ ОПТИЧНОЇ ПОМІТНОСТІ ОБ'ЄКТІВ БТТ

На основі використання методу знаходження характеру зміни дозволяючої здібності оптико-цифрової апаратури при амплітудній фільтрації інформаційного сигналу та методу астрометричної редукції, що використовується під час фотографічних, координатних спостереженнях зірок по критерію Греббса дана оцінка результатів експериментальних досліджень щодо знаходження оптичної примітності об'єктів БТТ.

Anipko O.B., Biryukov I.Yu., Shulga A.V., Sirenko S.N.

ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL RESEARCH FINDING VISIBILITY IN OPTICAL OBJECTS BTT

On the basis of the method of the character changes enabling capabilities opto-digital equipment in filtering the information signal amplitude and reduction astrometric method used during fotohrafychnykh, coordinate observations of stars on the criterion Hrebbsa assess the results of experimental research on optical prymitnosti objects bronetehnika purposes.