

УДК 621.396.963

А.М. Гричанюк<sup>1</sup>, Я.Н. Кожушко<sup>2</sup><sup>1</sup> Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков<sup>2</sup> Харьковский университет Воздушных сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕННОСТИ РАЙОНА ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ НА РАБОТУ ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Приводятся результаты исследования влияния условий освещенности района геодезической привязки летательного аппарата (ЛА) на работу оптической корреляционно-экстремальной системы навигации (КЭСН). Выполнен анализ результатов моделирования процесса работы оптической КЭСН и выводы относительно влияния условий освещения на привязку ЛА. Предложены методы снижения влияния условий освещения на результат правильной геодезической привязки ЛА.

**Ключевые слова:** корреляционно-экстремальная система навигации, текущее изображение, эталонное изображение, геодезическая привязка летательного аппарата.

### Введение

**Постановка задачи.** Качество работы корреляционно-экстремальных систем (КЭСН), работающих в видимом диапазоне электромагнитных волн, в значительной мере зависит от условий освещенности во время проведения сеанса привязки летательного аппарата (ЛА)[1].

Тени являются специфическим видом помех. Их наличие приводит к появлению на формируемом текущем изображении (ТИ) ложных объектов, примыкающих к реальным объемным объектам, причем конфигурация теней и их относительное положение в зависимости от высоты объектов и условий освещенности могут значительно меняться. При отсутствии в пределах района привязки плоских (не имеющих теней) контрастных объектов достаточной площади наличие теней на ТИ может привести к снижению вероятности правильной привязки ЛА оптической КЭСН [2].

Следует отметить, что методами прикладной фотограмметрии возможно решить задачу определения контуров теней и, как следствие, формы объекта на изображении [3].

Однако, в таком случае необходимо наличие нескольких изображений района привязки при различных положениях ЛА, что при использовании оптической КЭСН на борту высокоскоростного ЛА является неприемлемым.

**Цель статьи.** Рассмотреть влияние наличия теней на правильную привязку оптических КЭСН ЛА и методы борьбы с ними.

### Основная часть

Для исследования влияния наличия теней на работоспособность КЭСН было проведено моделирование процесса ее функционирования. Была по-

строена объемная трехмерная модель опорного участка местности с размерами 1×1 км (рис. 1).



Рис. 1. Трехмерная модель района привязки

Виртуальная камера направлялась в нади́р, высота размещения камеры 1 км, полный угол обзора камеры при визировании текущего изображения около 18 градусов.

В условиях рассеянного (не создающего теней) освещения формировались эталонное изображение (ЭИ) размерами 400×400 пикселей, что соответствовало 800×800 м на местности (рис. 2).

Моделирование производилось для средних широт северного полушария, дата моделирования – 22 сентября. Рендеринг изображений производился в следующие моменты времени: 6.30; 8.00; 10.00; 12.00; 16.00; 18.00. Время 6.30 соответствует моменту восхода Солнца. Время 18.00 – сумеречное освещение после заката. Кроме наличия теней ТИ отличались текстурной заливкой фона, тип заливки – травяной покров. На ЭИ заливка фона однотонная зеленая.

Далее, в программе трехмерного моделирования включалась модель солнечного освещения и формировались ТИ при наличии теней от объектов (рис. 3).

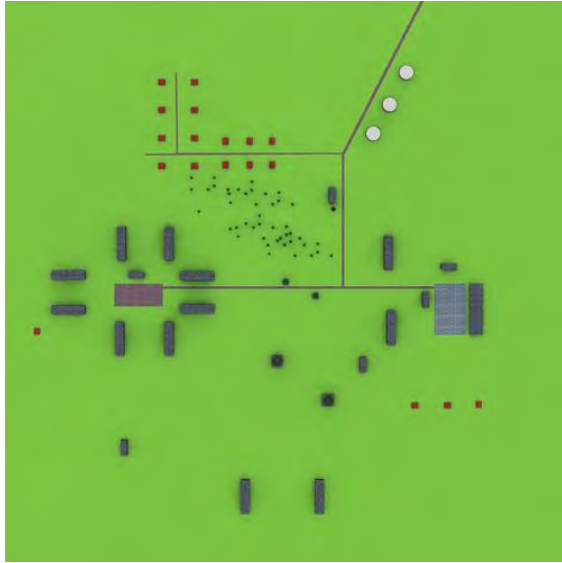


Рис. 2. Эталонное изображение

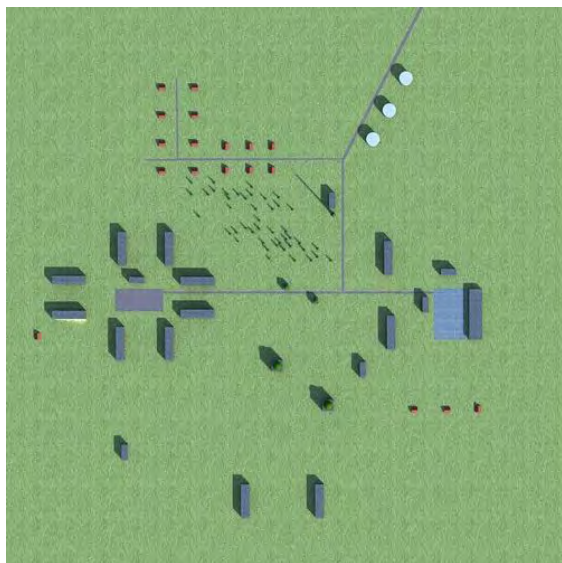


Рис. 3. Полноразмерное текущее изображение

Для оценки работоспособности КЭСН при отсутствии теней было сформировано образцовое ТИ без теней.

Подобная ситуация может сложиться в реальных условиях работы КЭСН, когда высота полета ЛА ниже однородного слоя облачности.

Моделирование процесса функционирования КЭСН происходило следующим образом:

Из полноразмерного ( $400 \times 400$  пикселей) ТИ вырезались фрагменты размерами  $160 \times 160$  пикселей ( $320 \times 320$  м). Для моделирования ошибок инерциальной навигационной системы координаты ТИ в пределах полноразмерного ТИ выбира-

лись в соответствии с нормальным законом распределения случайной величины, круговое вероятное отклонение относительно центра изображения составляло 70 м.

Далее ТИ зашумлялось аддитивным нормально распределенным шумом, отношение сигнал-шум в ТИ составляло 50 и 5 (рис. 4).

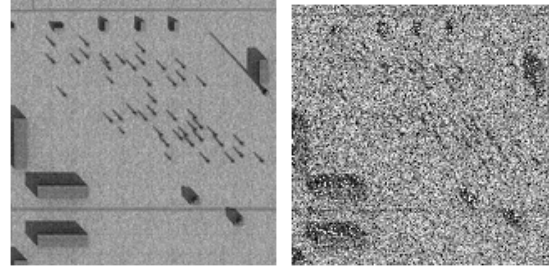


Рис. 4. ТИ при отношении сигнал-шум 50 и 5

Полученное зашумленное ТИ сравнивалось с равными ему по размеру всеми возможными фрагментами ЭИ и строилась двумерная решающая функция. В качестве критерия сравнения применялся коэффициент корреляции Пирсона [2].

Далее, определялись координаты экстремума решающей функции и, в соответствии с масштабом изображений (2 м на пиксель), пересчитывались в оценку координат ЛА. В целях уменьшения времени корреляционной обработки изображений применялась двухэтапная процедура [4]. Сначала сравнивались ТИ и ЭИ, сжатые в 4 раза по каждой из координат, грубо определялись координаты экстремума, затем производилось корреляционное сравнение полноразмерных ЭИ и ТИ, но зона поиска максимума корреляции ограничивалась только окрестностью экстремума решающей функции, полученной на первом этапе. Двухэтапная процедура позволила снизить время корреляционной обработки приблизительно в 100 раз.

Правильность геодезической привязки оценивалась путем вычисления средней разности истинных координат ЛА с координатами, измеренными в процессе корреляционного сравнения изображений.

Аналогичным образом производилось сравнение ЭИ с ТИ, сформированными для различного положения Солнца в течение светового дня.

Для каждого времени формирования ТИ проводилось 1000 циклов сравнения ТИ и ЭИ. При этом координаты ЛА и реализация шумов менялись для каждой итерации.

Результаты моделирования приведены на рис. 5 – 14. Знаком (x) отмечены координаты ЛА до начала привязки, знаками (□) и (♦) – координаты ЛА после привязки с применением КЭСН по сильно зашумленному ТИ (отношение сигнал-шум равно 5) и по слабо зашумленному ТИ (отношение сигнал-

шум равно 50) соответственно. На рисунках с увеличенным в 5 раз масштабом координаты ЛА до проведения привязки не показаны.

Из результатов видно, что при отсутствии теней (рис. 5, 6) погрешность определения координат не превышает одного пикселя изображения, что соответствует 2 м, оценка вероятности правильной привязки  $P_{ПП}$  составила 1. (Под вероятностью правильной привязки примем вероятность того, что абсолютная погрешность определения координат ЛА не превышает 9 м, зона  $\pm 9$  м отмечена на рисунках квадратом).

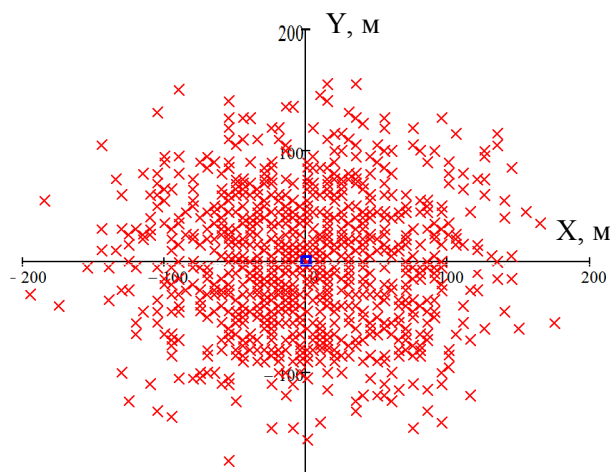


Рис. 5. Контрольное моделирование при отсутствии теней ( $P_{ПП}=1$ )

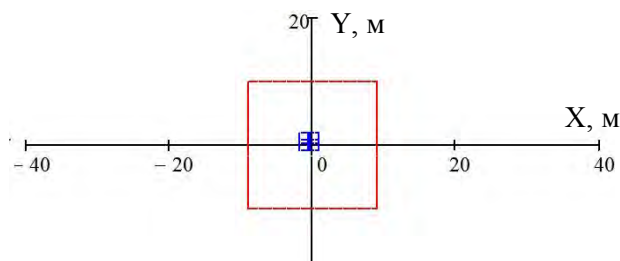


Рис. 6. Контрольное моделирование при отсутствии теней, масштаб увеличен в 5 раз ( $P_{ПП}=1$ )

При наличии теней (рис. 7 – 10) погрешность определения координат увеличивается, а вероятность правильной привязки снижается. При этом среднее значение ошибок привязки пропорционально средней длине теней, а пространственная ориентация среднего значения ошибок привязки совпадает с пространственной ориентацией теней.

В том случае, когда в качестве ЭИ используется изображение, сформированное в 16.00, а ТИ формируется в 10.00, тени на изображениях направлены в противоположные стороны и погрешность геодезической привязки возрастает практически в 2 раза. вероятность правильной привязки также значительно снижается (рис. 11, 12).

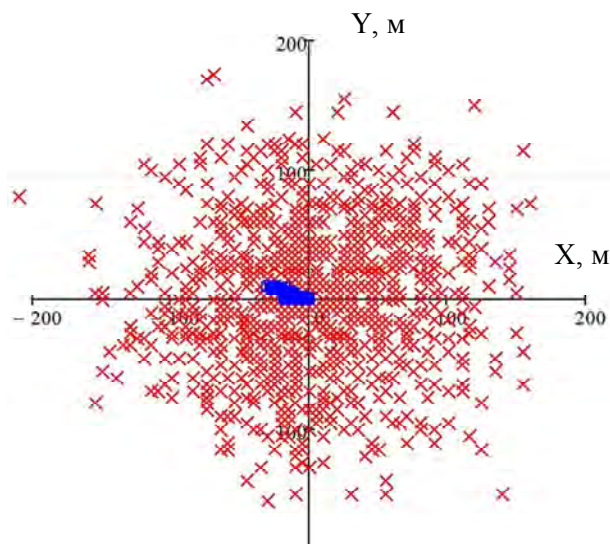


Рис. 7. Время моделирования 08.00 ( $P_{ПП}=0,877$ ;  $\Delta x_{cp}=-7,33$  м;  $\Delta y_{cp}=-2,03$  м)

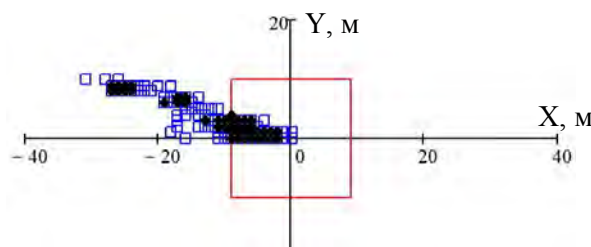


Рис. 8. Время моделирования 08.00, масштаб увеличен в 5 раз ( $P_{ПП}=0,877$ ;  $\Delta x_{cp}=-7,33$  м;  $\Delta y_{cp}=-2,03$  м)

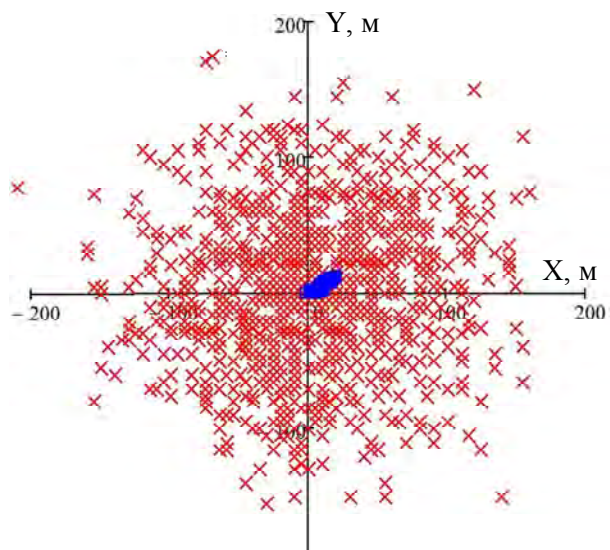


Рис. 9. Время моделирования 16.00 ( $P_{ПП}=0,413$ ;  $\Delta x_{cp}=9,53$  м;  $\Delta y_{cp}=-5,91$  м)

Таким образом, тени, вызванные различными условиями освещенности района привязки, при использовании оптических КЭСН на борту ЛА становятся причиной снижения вероятности правильной привязки ЛА.

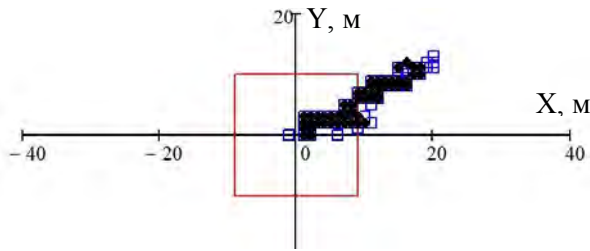


Рис. 10. Время моделирования 16.00, масштаб увеличен в 5 раз ( $P_{пп}=0,413$ ;  $\Delta x_{ср}=9,53$  м;  $\Delta y_{ср}=-5,91$  м)

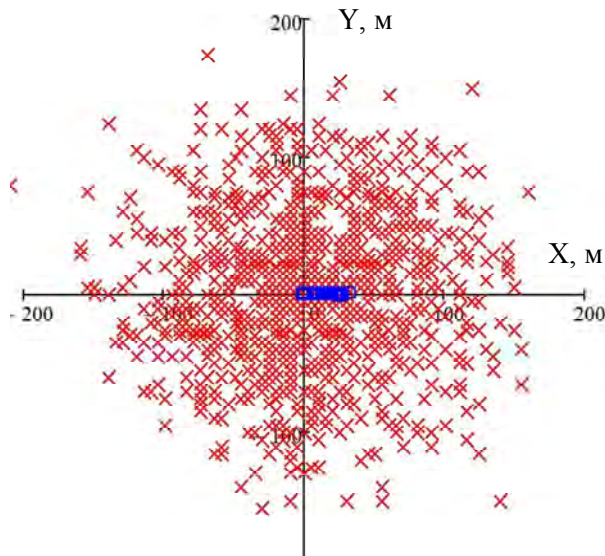


Рис. 11. ТИ – 16.00, ЕИ – 10.00 ( $P_{пп}=0,085$ ;  $\Delta x_{ср}=21,25$  м;  $\Delta y_{ср}=-0,49$  м)

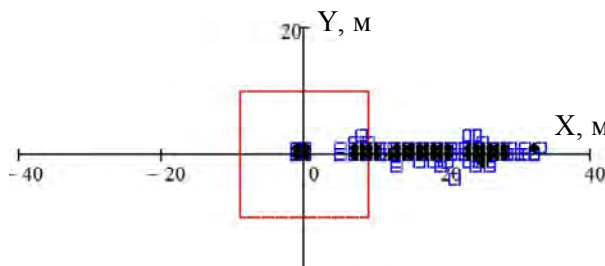


Рис. 12. ТИ – 16.00, ЕИ – 10.00, масштаб увеличен в 5 раз ( $P_{пп}=0,085$ ;  $\Delta x_{ср}=21,25$  м;  $\Delta y_{ср}=-0,49$  м)

Можно предложить несколько методов борьбы с влиянием теней на работу оптических КЭСН.

1. При использовании в качестве ЭИ заранее подготовленных фотоснимков опорного участка местности необходимо ограничить временной промежуток использования КЭСН, т.е. проведение сеансов привязки предпочтительнее проводить в те моменты времени, когда конфигурация теней на ТИ близка к конфигурации теней на ЭИ.

Например, при использовании в качестве ЭИ фотоснимка, сделанного в 10.00, и проведении сеанса привязки в 12.00 вероятность правильной привязки близка к 1, максимальная абсолютная погрешность определения координат не превышает 8 м, а

среднее значение погрешности определения координат не превышает 1 м. (рис. 13, 14).

2. При использовании синтезированных ЭИ, на которых тени отсутствуют, необходимо ограничить применение КЭСН теми моментами времени, когда сеанс привязки проводится под равномерным слоем облачности.

Недостаток метода состоит в значительном сужении временного диапазона применения КЭСН и в низкой надежности прогнозирования времени наступления подходящих погодных условий.

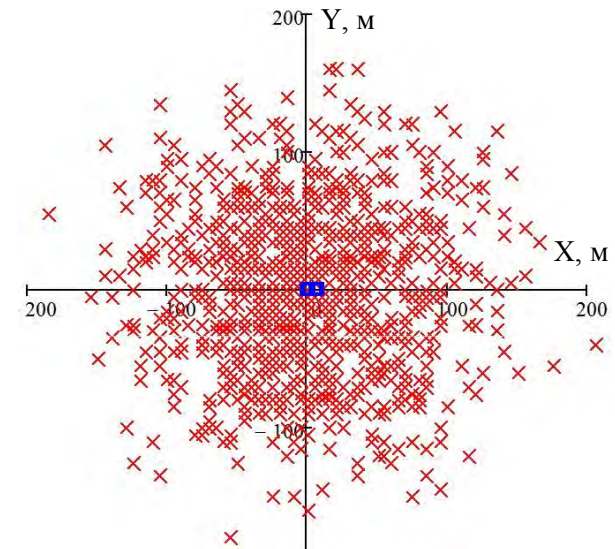


Рис. 13. ТИ – 12.00, ЕИ – 10.00 ( $P=1$ ;  $\Delta x_{ср}=-0,13$  м;  $\Delta y_{ср}=-0,5$  м)

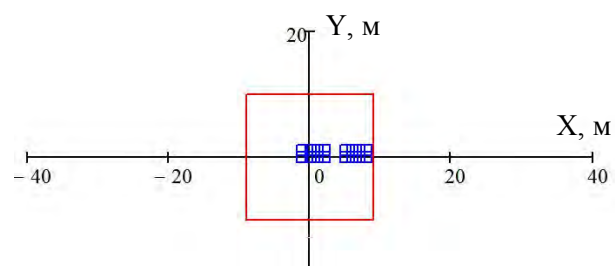


Рис. 14. ТИ – 12.00, ЕИ – 10.00, масштаб увеличен в 5 раз ( $P=1$ ;  $\Delta x_{ср}=-0,13$  м;  $\Delta y_{ср}=-0,5$  м)

В связи с высокой устойчивостью корреляционных алгоритмов к наличию шумов, возможно применение КЭСН непосредственно перед восходом Солнца и сразу после его заката. В данных условиях опорный участок местности равномерно подсвечивается рассеянным в атмосфере светом, а тени отсутствуют. Яркость подсветки не велика, но достаточна для надежной работы КЭСН. Недостаток метода – значительное сужение временного диапазона, при котором возможна надежная работа КЭСН.

3. Применение методов фильтрации теней на ТИ при условии использования ЭИ без теней. Применение алгоритмов фильтрации теней значительно затрудняется следующими факторами:

– распознавание теней по изменению яркости фона, примыкающего к объекту, осложнено тем, что зачастую яркости фона и крыши объекта близки, а тень является более контрастным ложным объектом;

– распознавание теней по форме затрудняется тем, что в определенных условиях освещенности тень практически точно повторяет конфигурацию и размеры объекта привязки и расположена вплотную к нему.

В качестве альтернативы данным методам необходимо исследовать применение зонных алгоритмов сравнения ТИ и ЭИ.

4. Применение методов, основанных на оперативном внесении в ЭИ информации о тенях.

При синтезе ЭИ помимо информации о конфигурации и яркости объектов необходимо вносить в ЭИ информацию об их высоте с целью получения возможной конфигурации теней. Современные достижения в вычислительной технике и технологии рендеринга трехмерных моделей реальных объектов позволяют решить данную задачу.

## Выводы

Результаты моделирования влияния условий освещенности района геодезической привязки на работу оптических КЭСН ЛА показали:

– при несовпадении конфигурации теней на ЭИ и ТИ тени становятся причиной снижения вероятности правильной привязки ЛА;

– средние значения ошибок привязки пропорциональны средней длине теней, смещение математического ожидания измеренных координат происходит в направлении, противоположном ориентации теней;

– корреляционные алгоритмы сравнения изображений обладают высокой помехозащищенностью от шумов на ТИ. Высокие показатели вероятности правильной привязки обеспечиваются при отношении сигнал-шум не менее 5.

Снизить влияние условий освещенности района привязки на работу оптических КЭСН ЛА можно:

– ограничением временного промежутка использования КЭСН, учитывающего время формирования ТИ и ЭИ;

– ограничением применения КЭСН теми моментами времени, когда сеанс район привязки равномерно подсвечивается рассеянным в атмосфере светом, а тени отсутствуют;

– созданием специализированного программного обеспечения, позволяющего синтезировать ЭИ с тенями на основе трехмерной модели местности и вносить в ЭИ информацию о конфигурации теней.

## Список литературы

1. Антюфеев В.И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов: монография / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин, Р.П. Гахов. – М.: Физматлит, 2009. – 352 с.
2. Баклицкий В.К. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации / В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарев, М.П. Мусьяков; Под ред. В.К. Баклицкого. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.
3. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. – Колос, 2006. – 335 с.
4. Метод повышения точности совмещения текущих и эталонных изображений в КЭСН, основанный на двухэтапной процедуре приближения решающей функции / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, Т.В. Мирошник, Я.Н. Кожушко // Збірник наукових праць ОНДІ ЗС. – 2005. – Вип. 2(2). – С. 153-162.

Поступила в редколлегию 11.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.М. Сотников, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожудуба, Харьков.

## ВПЛИВ УМОВ ОСВІТЛЕНОСТІ РАЙОНУ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ НА РОБОТУ ОПТИЧНИХ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

О.М. Гричанюк, Я.М. Кожушко

*Приводяться результати дослідження впливу умов освітленості району геодезичної прив'язки літального апарату (ЛА) на роботу оптичної кореляційно-екстремальної системи навігації (КЭСН). Виконано аналіз результатів моделювання процесу роботи оптичної КЭСН та висновки відносно впливу умов освітлення на прив'язку ЛА. Запропоновано методи зниження впливу умов освітлення на результат правильної геодезичної прив'язки ЛА.*

**Ключові слова:** кореляційно-екстремальна система навігації, поточне зображення, еталонне зображення, геодезична прив'язка літального апарату.

## INFLUENCE OF CONDITIONS OF LUMINOSITY OF GEODESIC REGION FIXATION ON ACTIVITY OPTICAL CORRELATION EXTREME NAVIGATION SYSTEMS OF AIRCRAFTS

A.M. Grichanjuk, Ya.N. Kozhushko

*Results of research of influence of conditions of illumination of geodesic region fixation of a aircrafts (AI) on activity of an optical correlation -extreme navigation system (CENS) are resulted. The analysis of results of modelling of process of activity optical CENS and conclusions concerning influence of conditions of illumination on fixation AI is made. Methods of decrease in influence of conditions of illumination on result of correct fixation AI are offered.*

**Keywords:** a correlation -extreme navigation system, the current image, the reference image, aircrafts geodesic fixation.