

# Загальні питання

УДК 629.762.2

Ю.Н. Агафонов, Ю.А. Ткаченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*В статье предложен методический аппарат оценки относительной величины временного интервала возможного использования оптических датчиков систем навигации летательных аппаратов исходя из метеорологических условий в районе цели. Определены количественные оценки относительного времени запрета на применение подобных систем, относительного времени их использования в решении полного либо ограниченного круга задач применительно к центрально-черноземному и прилегающим к нему регионам.*

**Ключевые слова:** оптическая система самонаведения, летательный аппарат.

### Введение

**Постановка проблемы.** В системах высокоточного оружия (ВТО) большого радиуса действия в качестве ударной компоненты все чаще используются скоростные высокоманевренные летательные аппараты (ЛА), способные при движении по траектории эффективно уклоняться от активных средств противодействия противника. Усложнение формы траектории движения ЛА, увеличение времени движения в этом случае неизбежно приводит к накоплению навигационных ошибок, что в случае подавления систем спутниковой навигации, приводит к неприемлемому снижению точности стрельбы. Низкая точность так называемого "инерциального (автономного) режима" работы систем управления ЛА при решении ряда современных задач отмечалась и авторами работ [1 – 3].

Эффективным средством компенсации начальных и накопленных в полете навигационных ошибок, погрешностей в точности целеуказаний является применение корреляционно-экстремальных (КЭ) систем самонаведения (ССН). Принцип действия таких ССН основан на сравнении «эталонного» изображения (ЭИ) местности, прилегающей к району цели и текущего изображения (ТИ), получаемого с помощью датчика внешней информации (ДВИ), расположенного на ЛА и включаемого в процессе полета к цели.

Важным моментом, определяющим облик, возможности и, главное, условия боевого применения является выбор спектрального диапазона, в котором работает ДВИ ЛА и, соответственно, в котором готовится эталонная информация. Общеизвестно, что с увеличением длины волны рабочего диапазона ДВИ увеличиваются его возможности по работе при неблагоприятных погодных условиях (дымка, туман, облачность, осадки), но падает точность, ус-

ложняется процесс подготовки ЭИ, многократно растут массогабаритные и стоимостные показатели. Применение всепогодных ССН, с учетом изложенного, целесообразно на крупногабаритных ЛА, решающих наиболее важные задачи.

Оптические датчики внешней информации (ОДВИ) видимого и ближнего инфракрасного диапазонов электромагнитных волн для КЭ ССН (ОССН) заслуженно получили широкое распространение и особенно на ЛА среднего и легкого классов. Это обусловлено такими качествами, присущими данным системам, как высокое разрешение, а, отсюда, и потенциально высокая точность, измеряемая долями метра, малогабаритность, малая стоимость, и, самое главное, – доступность первичной информации для построения ЭИ, простота работы с ней при подготовке полетных заданий.

Из-за значительной информационной избыточности оптические КЭ ССН (ОССН) способны надежно работать при "затенении" части ТИ, в том числе и при закрытии от прямого визирования самого объекта поражения. Такое "затенение" на кадре ТИ может быть как искусственного происхождения (дымы, аэрозоли), так и естественного – отдельные облака, зоны туманов, зоны сильных осадков. Для работы ОССН достаточно получить часть ТИ, для сопоставления с аналогичным участком эталона. Высокая чувствительность современных оптических систем позволяет выполнить все эти действия, в том числе частично и в ночной период времени [1] при условии освещения земной поверхности выше минимально допустимого уровня для ОДВИ.

Судя по данным [4], в качестве такого порогового значения может быть задан уровень освещенности от 0,05 Лк, свойственного наиболее простым ОДВИ до 10...4 – 10...5 Лк характерных для приборов ночного видения 2, 3 поколения (ПНВ ДВИ). Следует заметить, что освещенность  $5 \times 10 \dots 5$  Лк для

средневропейской зоны [9-11] возможна только в декабрьские, звездные ночи при наличии сплошного слоя низких облаков вдали от искусственного освещения городов и поселков.

Естественный ход суточного изменения освещенности земной поверхности [9-11] для средних широт приведен на рис. 1 и 2 для различных времен года и состояния атмосферы.

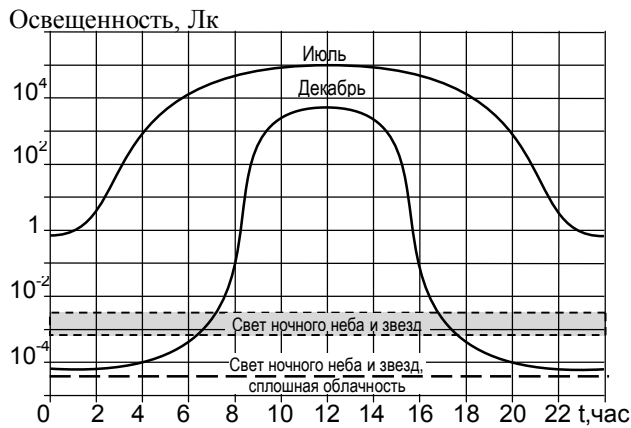
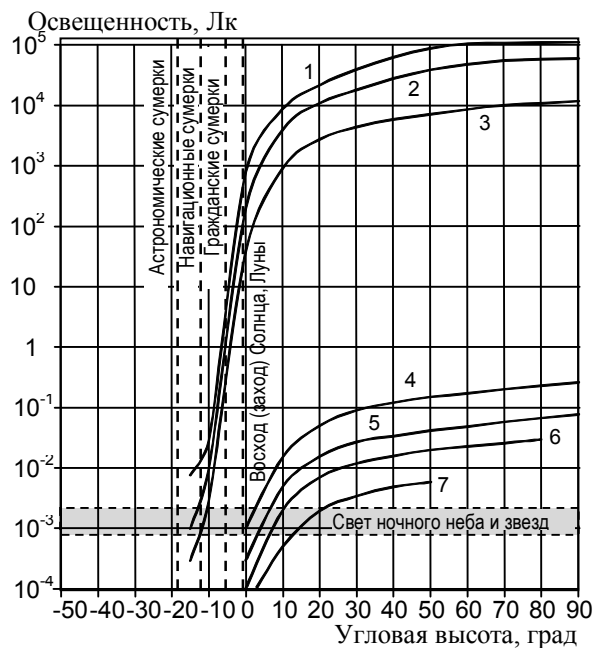


Рис. 1. Средние значения суточных изменения освещенности



1. Солнце, безоблачно; 2. Солнце, малооблачно; 3. Солнце, сплошная облачность; 4. Луна, полнолуние; 5. Луна,  $\varphi=120^\circ$ ; 6. Луна,  $\varphi=90^\circ$ ; 7. Луна,  $\varphi=60^\circ$

Рис. 2. Уровни освещенности земной поверхности

Судя по приведенным на рис. 1 и 2 данным, использование оптических датчиков с чувствительностью до 0,05 Лк делает невозможным использование ОССН в безлунные ночи даже при безоблачном небе на протяжении примерно 16 часов в зимнее время года. Такое ограничение приводит к появлению запрета на использование ОССН, измеряемое относительной долей из общего баланса времени

$P_o$ , вычисляемого по формуле  $P_o = P_{ня} \cdot P_{бл} \cdot P_{бл}^o$ , где  $P_{ня}$  – относительное время существования облаков нижнего яруса,  $P_{бл}$  – относительное количество безлунных ночей за наблюдаемый период,  $P_{бл}^o$  – относительное время снижения солнечной освещенности ниже порога чувствительности датчика ОССН. Среднее значение  $P_o$  для ОДВИ изменяется в пределах 0,09...0,11.

Ограничения в использовании ОССН наступают и при понижении видимости менее 1 км, в случае сильных осадков, туманов и т. п. (см. табл. 1), что составляет около 3% от общего баланса времени.

Таблица 1  
Вероятностные характеристики погодных условий

Дальность видим., км	Дождь	Мокр. снег	Снег, метель	Туман	Дымка	Без явлений	$\Sigma$ , %
<0,05				0,1			0,1
0,05...0,2				0,4			0,4
0,2...0,05	0,1	0,1		0,4			0,6
0,5...1,0	0,1	0,1	0,2	1,2			1,6
1,0...2,0	0,5	0,3	0,4	2,9	0,1		4,2
2,0...4,0	0,1	0,1	0,1	0,3			0,6
4,0...10,0	1,1	1,6	2,8		37,9		43,4
10,0...20,0	0,1	0,2	0,3		10,6	8,6	19,8
20,0...50,0	0,1	0,2	0,3		0,8	27,1	28,5
>50					0,1	0,7	0,8
$\Sigma$ , %	2,1	2,6	4,1	5,3	49,5	36,4	100

Для дальнейшего анализа остановимся на конструкциях ПНВ ДВИ имеющих чувствительность в пределах  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  Лк, что соответствует аппаратуре среднего класса [4] освоенной промышленностью и широко представленной на внешнем рынке. ПНВ ДВИ с подобными характеристиками позволяют использовать ОССН и в ясную безлунную ночь и при наличии облачного слоя только за счет подсветки звездного неба (рис. 1).

С учетом изложенного принимаем в качестве ограничения на применение ОССН – полное закрытие подстилающей земной поверхности из-за появления зон сплошной облачности с высотой нижней границы  $H_{нт}$  облачного слоя ниже заданной величины, песчаных (пылевых) бурь, пожаров и задымлений с радиусом захвата не менее 2...3 км вокруг цели. Исключив из рассмотрения два последних явления как достаточно редких, в качестве наиболее вероятной причины, способной затруднить работу ОССН, следует назвать появление сплошного облачного слоя, препятствующего работе ее ДВИ.

Как отмечено в работе [1], задача по обеспечению точности попадания для систем управления ЛА, использующих данные от инерциальных приборов и от ДВИ (ССН), распадается на два этапа. На первом этапе система управления по сигналам инерциальных приборов выводит ЛА в зону "захва-

та" эталонного изображения с помощью ДВИ ЛА. На втором этапе по сигналам ОССН система управления переприцеливает ЛА, изменяя положение органов управления ЛА, направляя его в истинную точку нахождения цели либо в точку сброса полезной нагрузки над целью.

К числу критических параметров, определяющих возможности ЛА по совершению такого компенсирующего маневра на конечном участке траектории, следует отнести минимальную высоту нижней границы сплошного облачного слоя  $H_{нг}$  (высоту начала работы ДВИ ССН), диапазон возможных скоростей движения ЛА на данной высоте, допустимые перегрузки ЛА, достаточную освещенность для работы ОССН. Понятно, что величина возможного предельного компенсирующего маневра на втором этапе должна быть больше предельной ошибки «инерциального режима» работы системы наведения по выведению ЛА в точку начала работы ССН.

Минимально допускаемая для применения ОССН высота облачного слоя, как один из компромиссных параметров, определяет с одной стороны относительную величину интервала возможного времени применения ЛА с ОССН в данной климатической зоне, а с другой – обуславливает необходимость реализации ряда технических условий при создании ЛА обуславливающих его маневренные и прочностные свойства.

Учитывая влияние величины допускаемых изменений параметров среды на конструктивный облик ЛА, примем в качестве предельных по сложности метеорологических условий для работы оптических ДВИ КЭ ССН наличие сплошной облачности в районе цели с высотой нижней границы  $H_{нг}^{доп} \cong 1, \dots, 1,5$  км.

В работе [5] приведены оценки величины возможного маневра ЛА для компенсации навигационных ошибок с высоты в 4...12 км для случаев идеальной видимости. Появление облачного покрова сужает возможности маневрирования, фактически накладывая требования на точность выведения ЛА в район цели (задачи первого этапа), а при невозможности практической реализации данных требований – ограничивает возможность боевого применения систем с ОССН.

При этом следует учитывать существование, по крайней мере, двух основных типов задач, решаемых ЛА оснащенных ОССН. К первой группе следует отнести задачи, позволяющие осуществлять маневр по компенсации промаха практически вплоть до контакта с целью. Ко второй группе – задачи, обуславливающие выполнение требований о завершения корректирующего маневра по достижению определенной высоты полета – высоты сброса полезной нагрузки с заданным направлением ее вектора скорости.

**Целью работы** является разработка методического аппарата оценки относительной величины временного интервала возможного использования ЛА с оптическими КЭ ССН для решения типовых задач в метеорологических условиях, характерных для центрально-черноземных и примыкающих к ним регионов.

## Основная часть

Особенности формирования облачного покрова рассмотрены в работах [6-8]. В целом на Земном шаре около 60% небосвода закрыто облаками. При этом, в одних регионах почти весь год ясно, в других – пасмурно, в третьих отчетливо заметен сезонный ход количества облаков. Такое состояние атмосферы описывают в баллах по градациям: 0...2 балла – ясно, 3...7 баллов – переменная облачность, 8...10 баллов – пасмурно. Наиболее сложными условиями для работы оптических ССН является сплошное закрытие земной поверхности облаками, так называемого нижнего яруса, т.е. облаками слоистых форм с высотой нижней границы  $H_{нг} < 2$  км [7]. Это в первую очередь слоисто-кучевые облака (Sc) и слоистые (St). К этой же группе по величине  $H_{нг}$  относят зачастую и слоисто-дождевые (Ns).

В приморской зоне в теплый период года возможно образование облаков вертикального развития с основанием, лежащим ниже 2 км. Это кучевые облака (Cu) и кучево-дождевые облака (Cb). Они имеют незначительные размеры в горизонтальной плоскости (0,5...1,4 км), но значительные вертикальные размеры (до 5 км). Эти две группы, судя по наблюдениям (см. табл. 2), в центрально-черноземном районе имеют высоту нижней границы  $H_{нг} = 1,66(\pm 0,22)$  км, что с учетом невысокой бальности этого типа облаков не создает помех для работы оптических ССН.

Таблица 2

Годовой ход полей Cu над центрально-черноземным регионом

Параметр	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\bar{P}$ , баллы	3,7	3,7	4,1	4,1	4,1	3,5
$\bar{D}$ , км	0,54	1,09	1,2	1,41	1,37	1,22
$\bar{L}$ , км	2,15	3,3	3,29	4,19	4,08	2,75
$\bar{H}_{нг}$ , км	1,42	1,62	1,63	1,77	1,77	1,76

Примечание:  $\bar{P}$  – облачность,  $\bar{D}$  – горизонтальный размер,  $\bar{L}$  – размер промежутков,  $\bar{H}_{нг}$  – высота нижней границы.

В дальнейшем будем считать, что наибольшую сложность для применения оптических ССН представляет наличие сплошной облачности с высотой нижней границы ниже 1,5 км, что позволяет отказаться от учета влияния на этот процесс наличия облаков типа Cu и Cb, облачного слоя среднего (As, Ac) и верхнего (Ci, Cc, Cs) ярусов.

**1. Оценка относительного количества облаков нижнего яруса**

Общее состояние облачного покрова в северном полушарии оценивается [7] величиной  $P_{сп} = 4,5$  балла, что соответствует 45% облачному покрову и 55% – свободному от облаков небу.

На рис. 3 приведен средний широтный ход среднегодовой повторяемости  $P(\%)$  различных форм облачности над сушей в зависимости от широты места наблюдения. Выделим три характерных региона:

- I – среднеазиатский, североафриканский (30 – 45° с.ш.);
- II – центрально-черноземный (45 – 55° с.ш.);
- III – североευропейский (55 – 75° с.ш.).

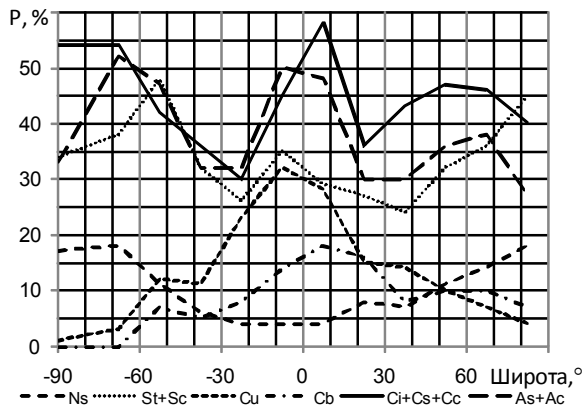


Рис. 3. Средний широтный ход среднегодовой повторяемости  $P(\%)$  различных форм облачности над сушей [6]

Для первого региона, судя по результатам многочисленных данных [7], на слоисто-кучевые (Sc) и слоистые облака (St) приходится  $P_S = 23\%$ , на слоисто-дождевые (Ns)  $P_N = 7\%$ , аналогично для II региона –  $P_S = 32\%$ ,  $P_N = 13\%$ ; для III региона –  $P_S = 38\%$ ,  $P_N = 18\%$ . Для всех трех регионов оценить величину относительного времени существования облаков нижнего яруса  $P_{ня}$  рассматриваемых типов можно по формуле:

$$P_{ня} = P_{сп} \cdot (P_S + P_N),$$

для зон I  $P_{ня} = 0,135$ ; II  $P_{ня} = 0,202$ ; III  $P_{ня} = 0,252$ .

Отсутствие облаков нижнего яруса свидетельствует о возможности решения обоих типов заданий, возложенных на ЛА с ОССН. Для зоны I величина благоприятного относительного периода времени для использования ЛА с ОССН для решения задач 1 и 2  $P_{1,2}^{by} = (1,0 - P_{ня}) = 0,865$ , соответственно, для зоны II –  $P_{1,2}^{by} = 0,798$ , III –  $P_{1,2}^{by} = 0,748$ .

**2. Оценка относительного времени  $P_{нг}$  существования облачного слоя нижнего яруса с высотой нижней границы  $H_{нг} = H_{нг}^{доп}$**

Определенные в разделе 1 относительные времена существования облачного слоя типа Ns, St, Sc не

является достаточным для оценки их влияния на работу оптических ССН. Учитывая региональную и временную как сезонную так и суточную зависимость  $H_{нг}$  необходимо оценить относительное время  $P_{нг}$  при котором выполняется условие  $H_{нг} < H_{нг}^{доп}$ .

Используя данные [6] представляется возможным оценить сезонный ход 50% квантили высоты нижней границы St, Sc, Ns для трех регионов, примыкающих к Украине с учетом отличий в величине  $H_{нг}$  в ночные и дневные часы. Анализ результатов статистической обработки, представленных на рис. 4, позволяет сделать вывод о том, что для I региона условие  $H_{нг} < H_{нг}^{доп}$  не выполняется, т.е.  $P_{нг} = 0,0$ . Для всех периодов года кроме зимы выполняется условие  $H_{нг} \geq 1,5 - 2$  км, что говорит о широких возможностях применения ОССН в этом регионе. В том числе и при решении задач второй группы.

Для региона III характерно достаточно низкое расположение нижней границы облаков  $H_{нг} \approx 0,4$  км, увеличивающиеся в дневное время на 0,3 – 0,5 км и со слабой сезонной зависимостью в пределах 0,1...0,2 км. Такой тип расположения нижней границы облачного слоя обуславливает постоянство реализации неравенства  $H_{нг} < H_{нг}^{доп}$ , т.е. для региона III, характерно  $P_{нг} = 1,0$ .

Центрально-черноземный район (II) характеризуется значительной зависимостью высоты  $H_{нг}$  от времени суток.

Оценим значение  $P_{нг}$  для дневных и ночных значений  $H_{нг}$ . Примем равновероятное распределение облаков типа St и Sc. Тогда, (рис.4.) видно, что слоистые облака St не поднимается выше 1 км и в дневное время на протяжении всего года, т.е.  $P_{нг} = 1,0$ .

Нижняя граница слоисто-кучевых облаков (Sc) согласно [7] располагается на высоте от 1 км зимой до 1,3 км летом, причем днем они приподнимаются в среднем на 0,4 км. При этом не менее 0,66 рассматриваемого периода  $H_{нг} \geq H_{нг}^{доп}$ , т.е.  $P_{нг}^{Sc} = 0,34$ .

В соответствии с принятой гипотезой о равном количестве облаков типа Sc и St для региона II

$$P_{нг} = 0,5 \cdot (P_{нг}^{St} + P_{нг}^{Sc}).$$

Относительное количество времени, при котором состояние облачного покрова не будет позволять использовать ОССН можно оценить по формуле  $P_{ос} = P_{нг} \cdot P_{ня}$ . Относительное количество благоприятного для использования ОССН необходимо определить исходя из  $P_{ос}$  для каждого из регионов и принятых ограничений по уровню минимальной освещенности земной поверхности  $P_0$ . Тогда вероятность благоприятных условий для выполнения задач задач 1 типа ( $P_1^{by}$ ) оценивается по формулам:

$$P_1^{by} = (1,0 - P_0) \cdot (1,0 - P_{ос}); \quad P_{1,2}^{by} = (1,0 - P_{ня}) \cdot (1,0 - P_0)$$

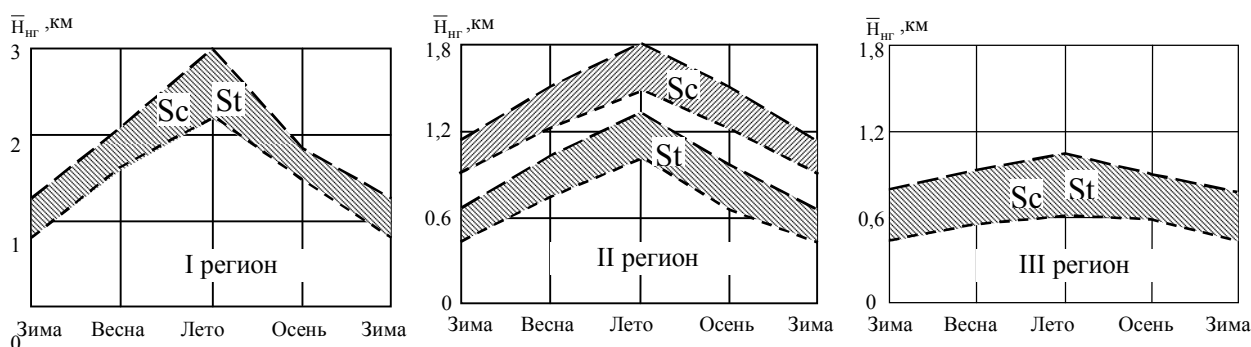


Рис. 4. Сезонний ход 50% квантилі висоти нижньої границі St, Sc: ніччю (---) і днем (—) в різних регіонах

### Вывод

1. В южных регионах, примыкающих к Украине и обладающих более сухим климатом, использование ВТО с ОССН возможно в любой период времени при решении задач первого типа и с относительным ресурсом не менее 86% при решении задач второго типа.

2. В северных и особенно приморских районах европейской части континента относительное время применения ВТО с ОССН для задач первого и второго типов одинаковы и возможно только при отсутствии облаков нижнего яруса, т. е. не более, чем в 75% от суммарного ресурса времени. Последнее объясняется низким расположением облаков нижнего яруса, не позволяющих осуществить своевременное включение ОССН.

3. Центральнo-черноземный регион по возможности применения ЛА с ОССН занимает промежуточное положение с ресурсом времени применения изменяющимся от 80% до 86% применительно к решению задач первого и второго типа соответственно.

4. Одним из важных факторов, влияющих на ресурс относительно времени является чувствительность ДВИ ОССН. Повышение этого параметра на 2 – 3 порядка за счет применения ПНВ ДВИ позволяет увеличить располагаемый баланс времени использования ВТО с ОССН на 9 – 11%.

### Список литературы

1. "Искандер-Э" атакует конкурентов [Электронный ресурс] / С Сокут. – Независимое военное обозрение. – № 38,

1999. – Режим доступа: <http://nvo.ng.ru/armament/1999-09-30/iskander.html>.

2. Ракетно-артиллерийское вооружение сухопутных войск. Энциклопедия XXI век. Оружие и технологии России. – М.: Оружие и технологии. – 2001. – 688 с.

3. Китайская "Катюша" [Электронный ресурс]. – Лента.ру: издание Rambler media group, 17.02.2011. – режим доступа: <http://www.lenta.ru/articles/2009/07/14/weishi/>

4. Щербак Н. Приборы ночного видения вчера и сегодня / Н.Щербак. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес 2002. – С. 52-55.

5. Агафонов Ю.Н. Возможности маневрирования боевых частей на конечном участке траектории полета / Ю.Н. Агафонов, Ю.М. Осипов, Ю.А. Ткаченко // Збірник наукових праць ХУПС. – Вип. 3(25). – X, 2010. – С. 150-151.

6. Hahn C.J. Atlas of simultaneous occurrences of different cloud types over land / C.J. Hahn, S.G Warren, J. London, R.M. Chervin, R. Jenne – NCAR Techn., Note TN 241-STR. – 21 p.

7. Атмосфера. Справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.

8. Зверев А.С. Синоптическая метеорология / А.С. Зверев. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 700 с.

9. Уваров Н.Е. Визуальная обстановка в системах телевизионного наблюдения [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://daily.sec.ru/publication.cfm?pid=4212>.

10. Bond, D.S. The conquest of darkness, AD 346297 / , D.S Bond, F.P. Henderson. – Defense Documentation Center, Alexandria, Va., 1963.

11. Таблицы для расчета природной освещенности. – М. – Л.: Издательство АН СССР. – 1945. – 199 с.

Надійшла до редколегії 25.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ В СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Ю.Н. Агафонов, Ю.А. Ткаченко

У статті запропоновано методичний апарат оцінки відносної величини часового інтервалу можливого використання оптичних датчиків систем навігації літальних апаратів виходячи з метеорологічних умов в районі цілі. Визначено кількісні оцінки відносного часу заборони на застосування подібних систем, відносного часу їх використання у вирішенні повного або обмеженого кола завдань стосовно до центрально-чорноземному і прилеглим до нього регіонах.

**Ключові слова:** оптична система самонаведення, літальний апарат.

### ESTIMATION THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE USE OF OPTICAL SENSORS IN NAVIGATION SYSTEMS

Yu.N. Agafonov, Y.A. Tkachenko

This article presents a methodical evaluation of the relative size of the unit time interval possible use of optical sensor systems, aircraft navigation based on meteorological conditions in the target region. The quantitative assessment of the relative time ban on the use of such systems, the relative time of their use in solving the full or limited range of tasks in several regions of the northern hemisphere.

**Keywords:** optical system of self-direction, aircraft.