



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА НА СУПЕРЪЯРКИХ СВЕТОДИОДАХ

Д.В.Васильев, к.т.н.,
АО "Раменский приборостроительный завод",
vasilievdi1969@yandex.ru;
д.т.н. А.И.Ларушин,
"НИИ "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха,
alarushin@mail.ru, Москва

В современном навигационном оборудовании систем посадки воздушного судна используются полупроводниковые источники света – суперъяркие светодиоды. Группа независимых излучателей формирует секторные навигационные комплексы с управляемыми световыми полями. К таким излучателям предъявляют повышенные требования, так как они должны быть надежны и эффективны в любое время суток и в любых погодных условиях, в том числе в экстремальных. Поэтому независимо от изменения метеовидимости, фоновой освещенности и турбулентности атмосферы ширина границ между навигационными секторами не должна зависеть от внешних условий эксплуатации, и ее необходимо минимизировать. В статье рассматривается возможность обеспечения этих требований в условиях влияния на процесс зрительной ориентировки.

В практике зрительной навигации ориентировка наблюдателя по цветным огням (постоянным или мигающим с различной проблесковой характеристикой), наблюдаемым на цветном неравномерном фоне, позволяет установить уверенный визуальный контакт с Землей. Эти огни задают пилоту курс посадки, глиссаду снижения, положение горизонта. Яркость фона определяется как внешними природными и искусственными источниками освещения, так и яркостью рассеянного в атмосфере излучения навигационного комплекса. Соотношение этих яркостей определяется условиями наблюдения (временем суток, метеовидимостью, наличием посторонних источников и т.д.). В общем слу-

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS FOR WORK OF THE NAVIGATION COMPLEX ON SUPERIOR LEDS

D.V. Vasiliev, JSC Ramensky Instrument-Making Plant,
vasilievdi1969@yandex.ru;
Doctor of Technical Sciences A.I. Larushin,
"Research Institute" Polyus "name M.F. Stelmakh,
alarushin@mail.ru, Moscow

In modern navigation equipment of aircraft landing systems, semiconductor light sources are used – super-bright LEDs. A group of independent radiators forms sector navigation systems with controllable light fields. These radiators are subject to increased demands, since they must be reliable and effective at any time of the day and in any weather conditions, including extreme weather conditions. Therefore, irrespective of the change in weather visibility, background illumination and atmospheric turbulence, the width of the boundaries between the navigation sectors should not depend on external operating conditions, and it must be minimized. The article considers the possibility of providing these requirements in conditions of influence on the visual orientation process.

In the practice of visual navigation, the observer's orientation on colored lights (constant or flashing with different flashing characteristics), observed on a colored uneven background, allows establishing a confident visual contact with the Earth. She gives the pilot a course of landing, a glide path of decline, the position of the horizon. The brightness of the background is determined both by external natural and artificial sources of illumination, and by the brightness of the navigation complex scattered in the atmosphere. The ratio of these brightnesses is determined by the conditions of observation (the time of day, the meteorological visibility, the presence of extraneous sources, etc.). In general, this can be characterized as the observation of a colored object on a colored background with an uneven distribution of brightness over their surfaces.

чае это можно охарактеризовать как наблюдение цветного объекта на цветном фоне с неравномерным распределением яркости по их поверхностям.

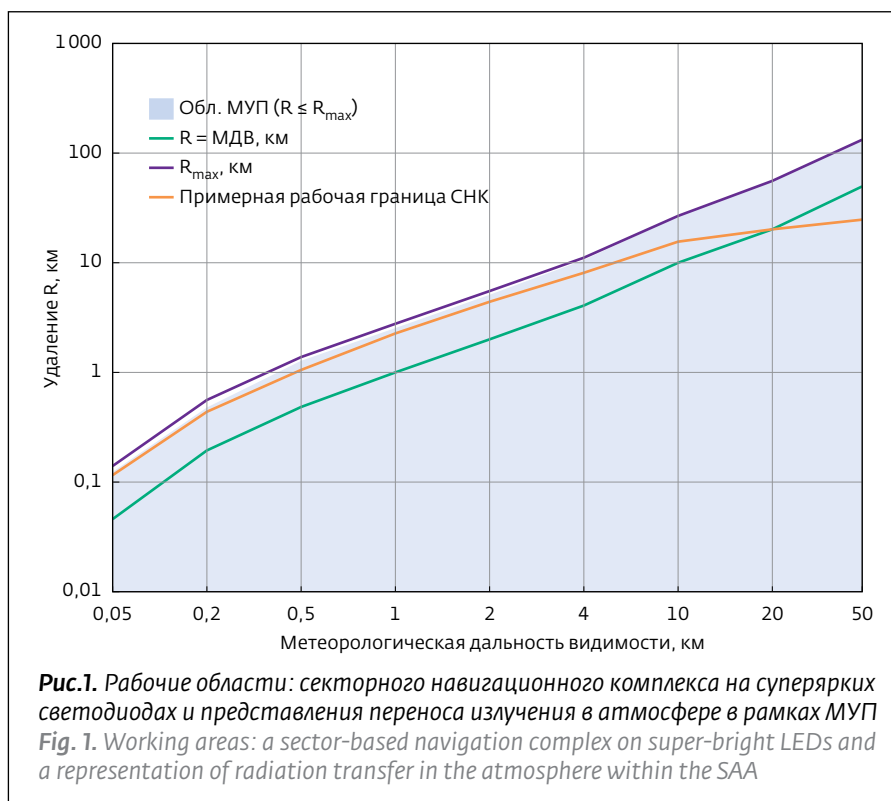
Для оценки видимости огня навигационных комплексов в настоящее время используется пороговая модель зрительного анализатора (глаза) которая основана на сравнении освещенности органа зрения с пороговыми величинами, на основе чего принимается решение о видимости наблюдаемого огня. Поскольку пороговая модель не может в полной мере учесть физиологию зрительного процесса и, следовательно, дать точный результат для анализа наблюдения огня, то может быть использована статистическая модель зрительного анализатора. Ее применение актуально в случае ориентировки наблюдателя по световому полю секторного навигационного комплекса, состоящего из разноцветных секторов, прилегающих друг к другу и отличающихся между собой проблесковыми характеристиками. Модель позволяет оценить вероятность обнаружения цветного огня секторного навигационного комплекса на цветном фоне с произвольным распределением яркости по их поверхности [1].

Чтобы определить структуру светового поля, т.е. форму контура монохроматического сектора, в пределах которого огонь комплекса воспринимается с вероятностью не менее заданной, используется метод последовательных изображений. Метод основан на представлении поля излучения в виде ряда изображений источника, расположенных на разном расстоянии от оптической системы. Распространение излучения от источника до изображения определяется передаточными функциями элементов тракта распространения излучения, имеющих разную физическую природу [2], - оптической системы, рассеивающей и турбулентной атмосферы. На высотах до 2-3 км в атмосфере всегда присутствует приземный слой естественного аэрозоля с размером частиц 0,1-10 мкм [3]. Прохождение излучения через атмосферный слой описывается в рамках малоуглового приближения (МУП). Такой подход можно использовать при прямом наблюдении огня комплекса. Во-первых, в силу функциональных особенностей излучательного устройства требуется учитывать только ту долю излучения, которая рассеивается вперед в диапазоне углов от 0 до 10-15°. Во-вторых, МУП дает точные результаты оптических расстояний, в пределах которых лежит рабочая область комплекса, для величин оптического расстояния до $\tau \leq 10$ (где: $\tau = \varepsilon \cdot R$ - оптическое расстояние; R - удаление; ε - показатель ослабления среды [4]).

To estimate the visibility of the fire of navigational complexes, a threshold model of the visual analyzer (eye) is currently used which is based on comparing the illumination of the visual organ with threshold values, on the basis of which a decision is made about the visibility of the observed fire. Since the threshold model can not fully take into account the physiology of the visual process and, therefore, give an accurate result for analyzing the observation of the fire, a statistical model of the visual analyzer can be used. Its application is relevant in the case of an observer's orientation on the light field of a sector navigation complex consisting of multi-colored sectors that are adjacent to each other and differing in flashing characteristics. The model makes it possible to estimate the probability of detecting the color fire of a sector-based navigation complex on a colored background with an arbitrary distribution of brightness over their surface [1].

To determine the structure of the light field: the shape of the contour of the monochromatic sector, within which the fire of the complex is perceived with a probability not less than specified, a method of successive images is used. The method is based on the representation of the radiation field in the form of a series of source images located at different distances from the optical system. The propagation of radiation from the source to the image is determined by the transfer functions of the elements of the radiation propagation path having different physical nature [2], the optical system, the scattering and turbulent atmosphere. At altitudes up to 2-3 km in the atmosphere, there is always a surface layer of a natural aerosol with a particle size of 0.1-10 μm [3]. Passage of radiation through the atmospheric layer is described in the framework of the small-angle approximation (SAA). This approach can be used for direct observation of the fire of the complex. Firstly, due to the functional characteristics of the radiating device, it is only necessary to take into account that fraction of radiation that is scattered forward in the range of angles from 0 to 10°-15°. Secondly, SAA gives accurate results of optical distances within which the working region of the complex lies, for optical distances up to $\tau \leq 10$ (where: $\tau = \varepsilon \cdot R$ - is the optical distance, R - is the removal, ε - is the attenuation index of the medium [4]). In Fig. 1 the working areas of the sector navigational complex on superbright light-emitting diodes and the representations of radiation transfer in the atmosphere, defined within the framework of SAA, are presented.

On the basis of the proposed method, a calculation of the sector diagram was carried out, taking into



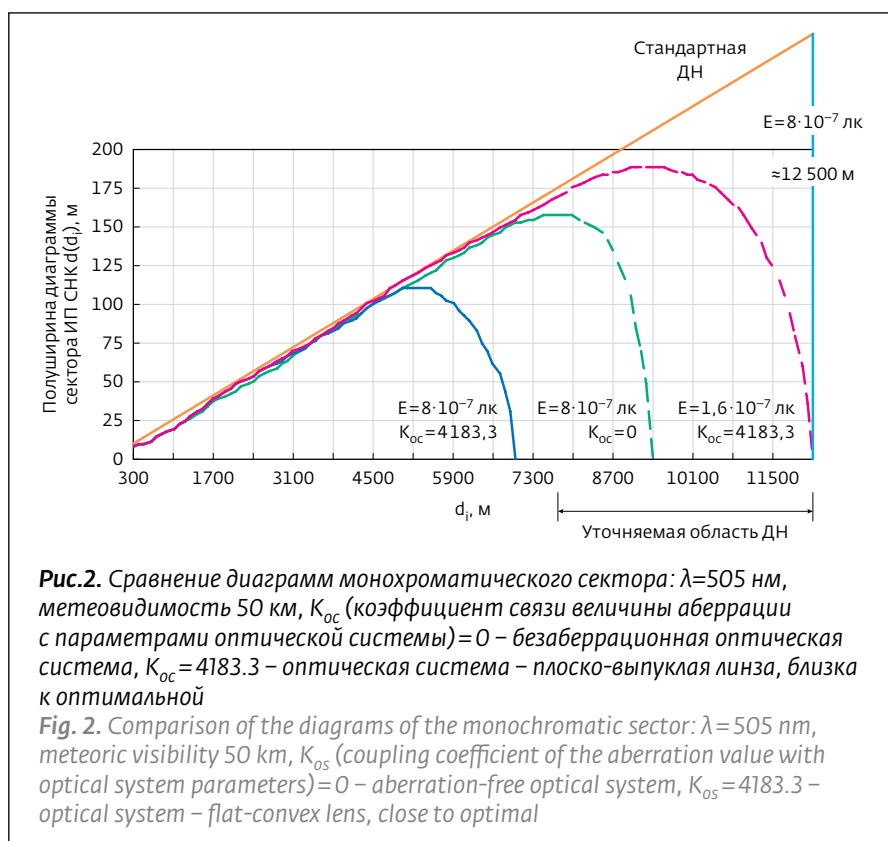
На рис.1. представлены рабочие области секторного навигационного комплекса на суперярких светодиодах и представления переноса излучения в атмосфере, определенные в рамках МУП.

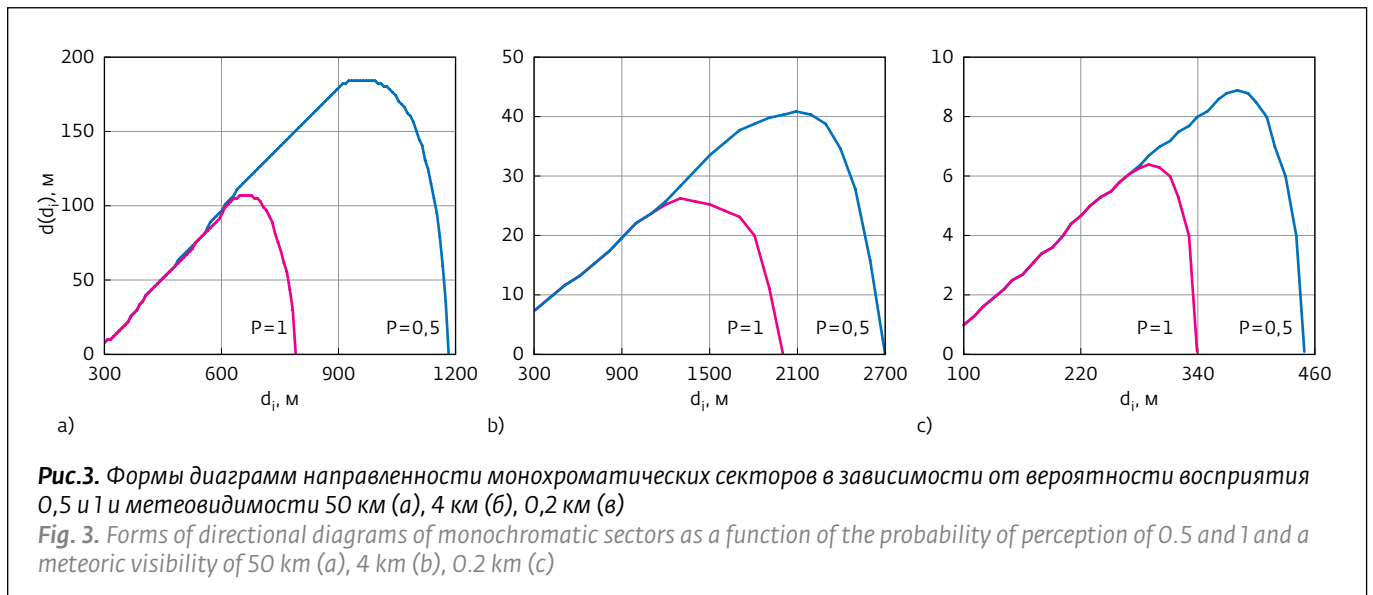
На основе предложенного метода был проведен расчет диаграммы сектора при учете влияния различных внешних воздействующих факторов. Предложенный метод позволяет уточнить параметры диаграммы направленности монохроматического сектора на удаленном участке светового поля, составляющем (для метеовидимости 50 км) до 30% от дальности видимости огня при вероятности обнаружения $\rho=1$. Известны данные, полученные стандартным способом, принятым для оценки дальности видимости навигационных огней [5]. На рис.2 дано сравнение диаграмм монохроматического сектора для разной вероятности и качества оптической

the value of the coupling coefficient, the aberration values with the parameters of the optical system

account the influence of various external factors. The proposed method makes it possible to refine the parameters of the radiation pattern of the monochromatic sector at a remote section of the light field, which amounts to 30% of the range of visibility of the fire (for a meteorological visibility of 50 km) with probability of detection of $\rho=1$. Data obtained by the standard method adopted to estimate the range of visibility of navigation lights are known [5]. Fig. 2 compares the diagrams of the monochromatic sector for different probabilities and quality of the optical system obtained by the proposed method and used by the traditional method.

The characteristic shapes of the obtained diagrams of the monochromatic sector for the values of the meteorological visibility are 50; 4 and 0.2 km (for





системы, полученных предложенным методом и используемым традиционным методом.

Характерные формы полученных диаграмм монохроматического сектора для значений метеовидимости 50, 4 и 0,2 км (при значении коэффициента связи величины абберации с параметрами оптической системы $K_{oc}=4183,3$ и значениях вероятности обнаружения $\rho=0,5$ и $\rho=1$) приведены на рис.3.

Влияние турбулентности атмосферы на световое поле секторного навигационного комплекса выражается в смещении положения границ между секторами и уширении секторов. Перемещение границы сектора из-за турбулентности атмосферы на дистанции распространения d_i определяется дисперсией σ_r^2 или среднеквадратическим отклонением (СКО) σ_r (неопределенность зрительного позиционирования огня комплекса $\approx 2\sigma_r$) [3].

Результаты расчетов для длин волн $\lambda=505$ нм и $\lambda=630$ нм приведены на рис.4. Они показывают,

$K_{os}=4183.3$ and the probability of detection $\rho=0.5$ and $\rho=1$) are shown in Fig 3.

The effect of atmospheric turbulence on the light field of the sectoral navigation complex is expressed in the shift of the position of the boundaries between sectors and the broadening of sectors. The displacement of the boundary of the sector, because of the turbulence of the atmosphere at the propagation distance d_i , is determined by the variance σ_r^2 or the standard deviation σ_r (uncertainty of the visual positioning of the fire of the complex $\approx 2\sigma_r$) [3].

The results of calculations for wavelengths $\lambda=505$ nm and $\lambda=630$ nm are shown in Fig.4. They show that in the operating wavelength range the influence of turbulence is manifested almost uniformly for all wavelengths, and the magnitude of the standard deviation is determined only by the degree of turbulence in the atmosphere and does not depend on the wavelength. Figure 5 shows the dependence of the broadening of the sector diagram on the degree

что в рабочем диапазоне длин волн влияние турбулентности проявляется практически равномерно для всех длин волн, а величина среднеквадратического отклонения определяется только степенью турбулентности атмосферы и не зависит от длины волны. На рис.5 представлена зависимость уширения диаграммы сектора от степени турбулентности. Расчеты показали, что в целом турбулентность не оказывает влияния на точность ориентировки по световому полю секторного навигационного комплекса (СНК) на основе суперъярких светодиодов.

Изменение формы диаграммы монохроматического сектора для различных значений метеовидности и уровня фоновой освещенности (времени суток) представлено на рис.6 и 7, соответственно.

Анализ полученных результатов численных расчетов позволяет сделать важный вывод о том, что параметры атмосферы и яркость фона практически не влияют на угловые размеры секторов. Заданный уровень вероятности обнаружения огня также не оказывает влияния на выбор размеров сектора. Такая независимость рабочих параметров комплекса обеспечивает точное формирование границ светового поля в любых условиях на протяжении всей дальности действия ($Z_{дд}$ на рис.8) огня комплекса. Вывод был подтвержден экспериментальными данными, полученными при наблюдении

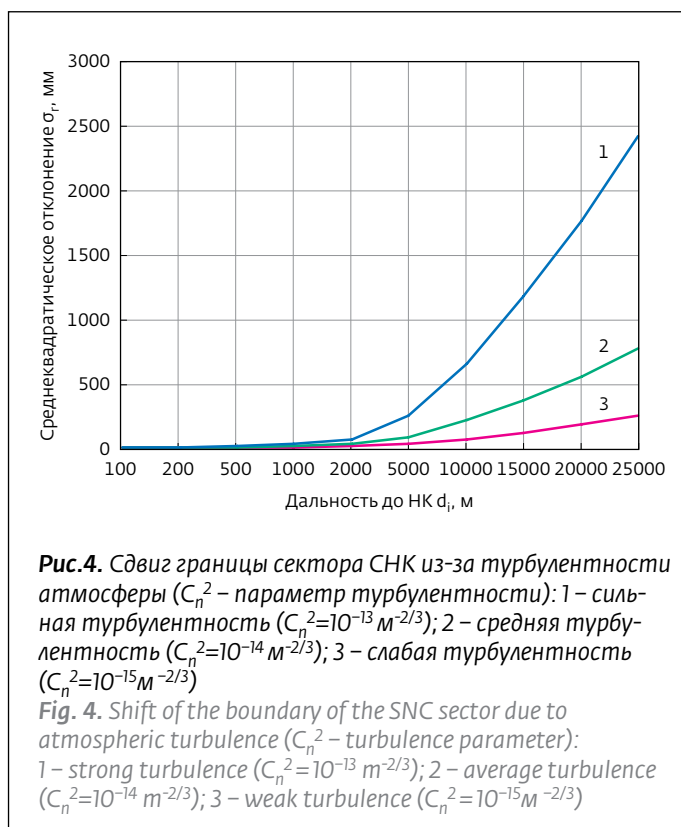


Рис.4. Сдвиг границы сектора СНК из-за турбулентности атмосферы (C_n^2 – параметр турбулентности): 1 – сильная турбулентность ($C_n^2=10^{-13} \text{ м}^{-2/3}$); 2 – средняя турбулентность ($C_n^2=10^{-14} \text{ м}^{-2/3}$); 3 – слабая турбулентность ($C_n^2=10^{-15} \text{ м}^{-2/3}$)

Fig. 4. Shift of the boundary of the SNC sector due to atmospheric turbulence (C_n^2 – turbulence parameter): 1 – strong turbulence ($C_n^2=10^{-13} \text{ m}^{-2/3}$); 2 – average turbulence ($C_n^2=10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$); 3 – weak turbulence ($C_n^2=10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$)

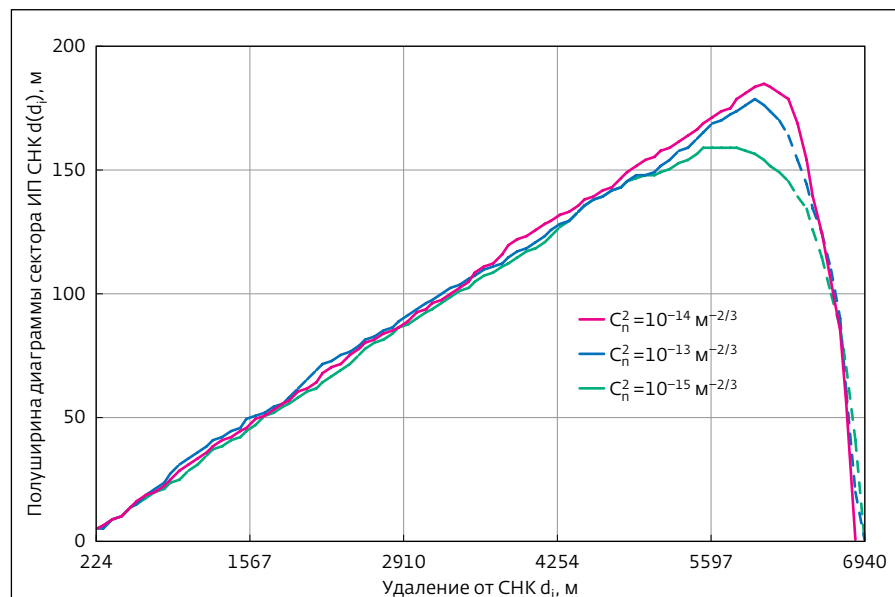


Рис.5. Зависимость уширения диаграммы сектора ($\lambda=505 \text{ нм}$; метеовидность $S_m=50 \text{ км}$; $K_{ос}=4183,3$) от степени турбулентности атмосферы: сильной, средней и слабой

Fig. 5. The dependence of the broadening of the sector diagram ($\lambda=505 \text{ nm}$, meteorological visibility of $S_m=50 \text{ km}$, $K_{os}=4183.3$) on the degree of atmospheric turbulence: strong, medium and weak

of turbulence. Calculations showed that, on the whole, turbulence does not affect the accuracy of the orientation of the light field of the sector navigation complex (SNC) on the basis of super-bright LEDs.

The change in the shape of the diagram of the monochromatic sector for different values of meteorological visibility and the level of background illumination (time of day) is shown in Figs. 6 and 7, respectively.

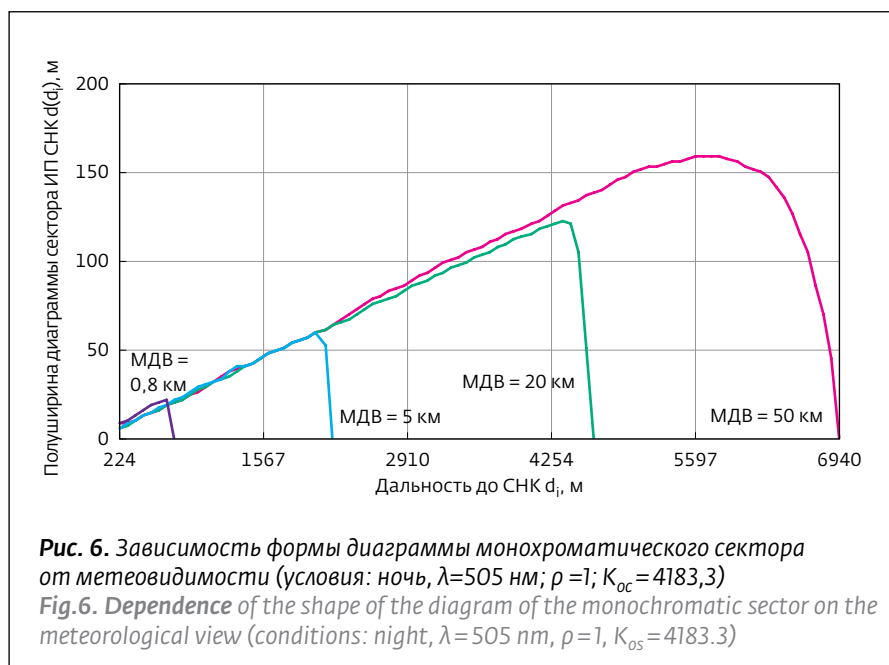
An analysis of the results of numerical calculations makes it possible to draw an important conclusion that the parameters of the atmosphere and the brightness of the background practically do not affect the angular sizes of the sectors. The specified level of fire detection probability also does not affect the choice of sector sizes. Such independence of the operating parameters of the complex ensures accurate formation of the light field

ниях, которые проводились при числе независимых наблюдателей от 3 до 5 человек и количестве независимых наблюдений на выбранной дальности для каждого наблюдателя, равном пяти.

Для определения ширины переходных зон на различном удалении от комплекса была получена зависимость ширины переходных зон от дальности действия. Исходными данными для него служили размеры диаграммы монохроматического сектора, излучающей поверхности огня и дальность действия комплекса. Применение этой зависимости позволяет оптимизировать световое поле по критерию "дальность действия - минимальная ширина переходных зон" и дает ориентир для настройки взаимного положения секторов навигационного комплекса. Ширина переходных зон между секторами задается сменой цвета или проблесковой характеристики (рис.8).

Выводы

Определение пространственного распределения освещенности с учетом визуально воспринимаемой средней яркости огня секторного навигационного комплекса в поперечном сечении секторов, составляющих его световое поле, позволили обнаружить, что для рассмотренных условий наблюдения ширина переходных зон между секторами светового поля СНК сохраняется в пределах 4–6 угл. мин на протяжении всей дальности действия. Это свидетельствует об отсутствии заметного влияния внешних воздействующих факторов на угловую ширину переходных зон светового поля сектор-



boundaries in any conditions throughout the entire range of action (Z_{dd} , in Fig. 8) of the complex's fire. The conclusion was confirmed by the experimental data obtained during observations, which were carried out with the number of independent observers from 3 to 5 people and the number of independent observations at a selected range for each observer equal to five.

To determine the width of the transition zones at different distances from the complex, the width of the transition zones was determined from the range of action. The initial data for it were the dimensions of the diagram of the monochromatic sector, the emitting surface of the fire and the range of the complex. The application of this dependence makes it possible to optimize the light field according to the criterion of "range of action - the minimum width of the transition zones" and gives a reference point for adjusting the mutual position of the sectors of the navigation complex. The width of the

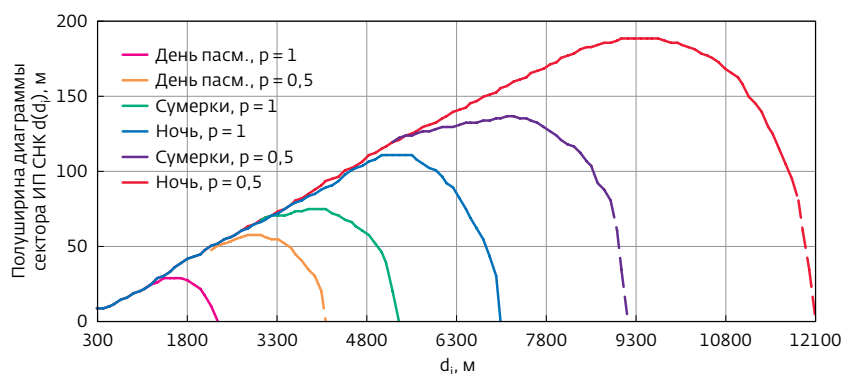


Рис. 7. Зависимость формы диаграммы монохроматического сектора от времени суток: Д – день, С – сумерки, Н – ночь ($\rho=0,5$ и $\rho=1$; $\lambda=505$ нм; метеовидимость $S_m=50$ км; $K_{oc}=4183,3$)

Fig.7. Dependence of the shape of the diagram of the monochromatic sector on the time of day: D – day, C – twilight, H – night ($\rho=0.5$ and $\rho=1$, $\lambda=505$ nm, meteorological visibility $S_m=50$ km, $K_{os}=4183,3$)

ного навигационного комплекса, работающего на суперъярких светодиодах. То есть подтверждает высокую эффективность применения секторного навигационного комплекса для решения задач зрительной навигации на транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев А.А., Гордюхина С.С. Определение удельных координат цвета физиологической системы с использованием статистической модели цветового зрения. – Полупроводниковая светотехника, 2011, № 1, с.44–47.
2. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
3. Ахметьянов В.Р., Васильев Д.Н., Клочков Д.В. и др. Лидарный доплеровский профилометр для измерения параметров ветра в составе наземного комплекса метеорологического обеспечения аэронавигации. – Авиакосмическое приборостроение, 2013, № 9, с. 41–52.
4. Будаков В.П., Мельников Г.А., Савенков В.И. Использование метода сферических гармоник для расчета световых полей в мутных средах с анизотропным рассеянием. – Научные труды "Методы повышения эффективности светотехнических систем". – Межведомственный тематический сборник МЭИ, 1983, № 12, с. 9–16.
5. Батусов С.В. Светосигнальные установки. – М.: Энергия. 1979.

indicates that there is no noticeable influence of external factors on the angular width of the transitional zones of the light field of the sector navigation complex operating on super-bright LEDs. That is, confirms the high efficiency of the application of the sector navigation system for solving the problems of visual navigation in transport.

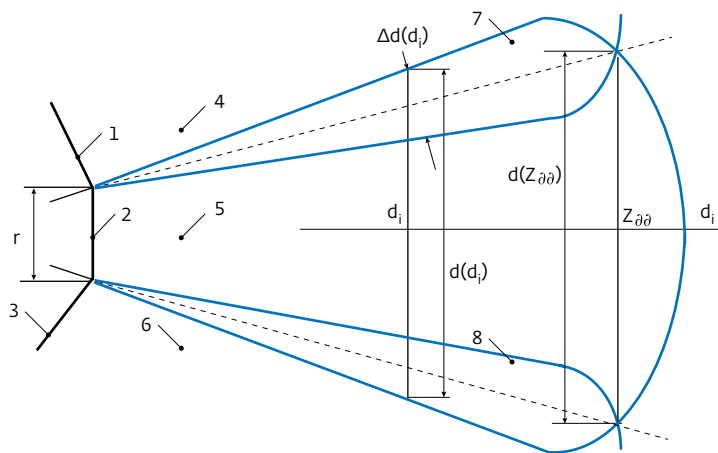


Рис.8. Световое поле навигационного комплекса (1, 2, 3 – группы излучателей с $\lambda=505$ нм, 580 нм, 625нм; 4, 5, 6 – монохроматические сектора с $\lambda=505$ нм, 580 нм, 625нм; 7, 8 – переходные зоны между секторами с $\lambda=505$ нм и 580 нм, 580 нм и 625 нм)

Fig. 8. The light field of the navigation complex (1, 2, 3 – groups of radiators with $\lambda=505$ nm, 580 nm, 625 nm, 4, 5, 6 – monochromatic sectors with $\lambda=505$ nm, 580 nm, 625 nm, 7, 8 – transient zones between sectors with $\lambda=505$ nm and 580 nm, 580 nm and 625 nm)