що часова база сигналу відповіді при КАМ модуляції (К=16) та швидкості кодування V_k=5/6 зменшуються відповідно у 50, 94 та 93 рази.

Список літератури

1. Агаджанов П. А., Воробьев В. Г., Кузнецов А. А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением. М. : Транспорт, 1980. 342 с.

2. Ткачев В. В., Даник Ю. Г., Жуков С. А., Обод І. І., Романенко І. О. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони. К. : МОУ, 2004. 342 с.

3. Обод І. І., Стрельницький О. О., Андрусевич В. А. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору. Харків : ХНУРЕ, 2015. 270 с.

4. Stevens M. Secondary surveillance radar. Boston : Artech House, 1988. 206 p.

5. Brian L. Stevens, Frank L. Lewis, Eric N. Johnson. Aircraft control and simulation: dynamics, controls design, and autonomous systems. John Wiley & Sons, 2015. 768 p.

6. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A. Reliability Assessment of Cooperation and Replacement of Surveillance Systems in Air Traffic. *Proceedings of the Ninth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX*. 2014. Pp. 403–411.

7. Noise Immunity of Data Transfer Channels in Cooperative Observation Systems: Comparative Analysis / I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev et al. // International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Ukraine, Kharkiv, 9–12 Oct. 2018. Kharkiv, 2018. Pp. 509–512.

8. Optimization of Data Transfer in Cooperative Surveillance Systems / I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev et al. // International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Ukraine, Kharkiv, 9–12 Oct. 2018. Kharkiv, 2018. Pp. 539–542.

УДК 623.496

Головенський В. В., к.т.н.
Лісовенко В. Д., к.т.н.
Базик О. І., к.ф-м.н.
Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КРИВИХ СИЛИ СВІТЛА БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО СВІТЛОДІОДНОГО МОДУЛЯ

Процес заміни традиційних джерел світла, а саме, ламп накалювання та ламп люмінесцентного випромінювання на напівпровідникові світлодіоди продовжується і на даний момент є актуальним. Застосування прожекторів та маркерів інфрачервоного діапазону на основі твердотільних випромінювачів, як додаткового каналу зв’язку в світлосигнальних аеродромних комплексах, є

© Головенський В. В., Лісовенко В. Д., Базик О. І., 2020

ефективним по багатьом фізико-технічним та експлуатаційним параметрам, що дозволяє підвищити безпеку польотів повітряних суден в умовах обмеженої видимості [1].

Закономірності формування світлотехнічних характеристик багатокомпонентних діодних модулів для різних участків видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітного спектру є однаковими, що дозволяє проводити моделювання інфрачервоних випромінювачів на прикладі багатокомпонентних світлодіодних модулів.

На фоні досить великої кількості запропонованих математичних моделей світлотехнічних характеристик світлодіодних модулів [напр. 2] актуальним є розробка аналогових алгоритмів формування інтегральних параметрів модуля в залежності від фізико-технічних характеристик складових компонентів пристрою-світлодіодів.

Складність питання полягає в особливості означення сили світла, як фізичної величини, для якої відсутня проста алгебра.

Метою роботи є встановлення та аналіз функціональної залежності сили світла багатокомпонентного світлодіодного модуля від параметрів окремих світлодіодів та геометрії їх розміщення.

В запропонованій моделі величина сили світла модуля I_m представлена залежністю:

$$I_m(r,\theta,\varphi) = \sum_R \frac{I_{ok} f_k(\theta_k)}{[1 - 2r_k * \sin(\theta) * \cos(\varphi - \varphi_k) + r_k{}^2]^{3/2}} \quad (1)$$

де r,θ,φ - сферичні координати з полюсом у вибраній точці модуля

$r_k = \frac{\varphi_k}{r}$;$\delta_k\varphi_k$ – полярні координати к-го світлодіода

I_{ok} f_k (θ_k) – сила світла та діаграма направленості сили світла к-го світлодіода.

При $r >> \delta_k$ $I_m(r,\theta,\varphi) \rightarrow \sum_R I_{ok} * f_k(\theta_k)$, що відповідає системі точкових джерел, які знаходяться в одній точці-полюсі сферичних координат. Множник $[1 - 2r_k * \sin\theta * \cos(\varphi - \varphi_k) + r_k{}^2]^{-3/2}$ є поправкою на порушення умов точковості модуля. Фізичний зміст функціонального впливу окремих величин ілюструється лінійною апроксимацією:

$$I_m(r,\theta,\varphi) \simeq \sum_R I_o f_k(\theta_k) - \frac{3}{2}\sum_R I_{ok} * f_k(\theta_k) * \left[\frac{\rho_k^2}{r^2} - \frac{2\rho_k}{r} * \sin\theta * \cos(\varphi - \varphi_{k)}\right] \quad (2)$$

Перший доданок представляє силу світла модуля, як точкового джерела, що фізично реалізується на дальностях спостереження набагато більших від розмірів модуля. Другий доданок характеризує вплив на силу світла просторових розмірів модуля з урахуванням координат світло діодів $\rho_k \varphi_k$ та полярної віддалі θ.

Розраховано і проаналізовано значний масив графіків кривих сили світла (КСС) модуля в різних площинах при різних значеннях I_{ok} та половинного кута діаграми направленості діодів λ_k.

Дослідження просторової залежності коефіцієнта відхилення від закону квадрата відстані для осьової сили світла (КВЗКВ) показало, що аномальні залежності спостерігаються у випадках використання світлодіодів з вузькими та аксіально несиметричними діаграмами направленості.

З ростом λ_k аномальність зменшується і зникає при $\lambda_k > \frac{\pi}{3}$ та при абсолютній симетричності діаграм.

Одержані аналітичні залежності дозволяють з великою точністю оцінити віддалі фотометрірування, що є необхідним при емпіричних дослідженнях характеристик. Для світлодіодів з ламбертівськими діаграмами КВЗКВ має тривіальний вид:

$$K(r) \sim \sum_{R} \frac{I_{ok}}{[1 + r_k^2]^2} \qquad (3)$$

Проаналізовано залежності розмірів ближньої зони освітленості від світлотехнічних параметрів світлодіодів. Одержані теоретичні результати розширюють можливості апріорного моделювання КСС на ранніх стадіях проектування, як освітлювальних приладів на основі світло діодів, так і приладів інфрачервоного діапазону хвиль.

Список літератури

1. Головенський В. В., Лісовенко В. Д. Використання хвиль інфрачервоного діапазону для авіаційних навігаційних систем у складних метеорологічних умовах. *Збірник наукових праць Військової академії*. 2017. № 1 (7). С. 31–34.

2. Соболев Е. В., Подденежный Е. Н. Моделирование светотехнических характеристик светодиодных модулей. *Світлотехніка та електротехніка*. 2011. № 2 (26). С. 13–18.

УДК 621.396.96

Даценко О. О., аспірант
Науковий керівник: Свид І. В., к.т.н., доцент
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СУМІСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Системи контролю повітряного простору вирішують, як відомо, такі основні завдання [1–3]:

– ведення безперервного контролю повітряного простору;

– оцінка повітряної обстановки та виявлення порушень порядку використання повітряного простору;

– розробка електронної карти повітряної обстановки та видача її споживачам.

Ці завдання визначають ряд основоположних принципів, на підставі яких

© Даценко О. О., 2020