ЕЛЕКТРОНІКА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI 10.18372/2310-5461.50.15687

УДК: 614.876:621.3.032

О. Л. Туровський, д-р техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4961-0876
s19641011@ukr.net;

Н. В. Блаженний
Державний університет телекомунікацій
orcid.org/0000-0002-3826-7400
e-mail: blasennij@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Вступ

Моделювання функціонування атмосферно-оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ) в умовах впливу гамма-випромінювання, яке випускається сумішшю радіоактивних речовин, викинутих в довкілля в наслідок техногенної катастрофи є складовою частиною загальної задачі забезпечення їх радіаційної стійкості.

Аналіз кількісних показників вихідних параметрів математичної моделі, що описує порядок функціонування АОЛЗ [1; 2; 3], та проведений аналіз радіаційної стійкості складових елементів схеми побудови АОЛЗ показав, що на ефективність її функціонування в умовах радіоактивного зараження буде впливати гамма-випромінювання [4; 5], а головним радіаційно нестійким елементом в умовах його впливу буде приймач інфрачервоного вхідного сигналу [4; 5], який буде втрачати виявляючу здатність залежно від значень потужності та дози гамма-випромінювання.

Для оцінки впливу зміни виявляючої здатності приймача АОЛЗ в умовах радіоактивного випромінювання доцільно вдосконалити математичну модель, яка б відтворювала умови функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізуючи інформаційно-джерельну базу забезпечення окресленої наукової проблематики, слід відмітити, що в українському науковому середовищі питання впливу радіоактивного опромінення на оптичні системи й компоненти висвітлено надзвичайно недостатньо.

Попри те, що існує перелік навчальних посібників і підручників, які викладають загальні відомості про АОЛЗ, сучасні технології цифрових оптоволоконних мереж серед наукових розвідок є зовсім мало досліджень, присвячених питанню радіаційної стійкості; дослідження параметрів впливу іонізованого опромінювання на компоненти оптичних систем.

Серед науково-теоретичних та науково-дослідних робіт, виділимо лише декілька. Так, висвітленню основних питань стосовно використання волоконно-оптичних датчиків, присвячена стаття [6], яка розглядає оптичне волокно одночасно і як лінію передачі, і як чутливий елемент у волоконно-оптичних датчиках, досліджуючи здатність чутливості оптоволокна до наступних параметрів: магнітне поле, вібрація, температура, тиск і деформація.

Цікавими є статті [7; 8], які висвітлюють явище загасання оптичного сигналу у оптичних лініях зв'язку, зумовлене як фізичними особливостями так і навмисними впливом на нього, а також вираховуючи математичне співвідношення всіх факторів впливу на захист інформації подає розрахунок втрат, викликаних іонізуючим випромінюванням.

Прикладною й досить інформативною є [9], яка розглядає зміни параметрів компонентів волоконно-оптичної системи зв'язку в умовах радіаційного опромінювання. Провівши вольт-амперну характеристику діодних структур з p-n-переходом, світодіодів, лазерних діодів, фотодіодів фотоприймачів та лавинних фотодіодів під впливом штучного опромінення,

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

автори виявили, що вплив радіації виявляється: у зменшенні інтенсивності світла, що випромінюється світлодіодом та у зниженні чутливості фотоприймача, який приймає світловий сигнал.

Дослідники стверджують [7; 8], що обидва ефекти викликають суттєве зниження якості сигналу, що передається по оптоволоконній лінії, зазнаючи, що при збільшенні нейтронних потоків до ~5×10^{14} н/см^2, оптичні компоненти й лінія зв'язку виходять повністю з ладу.

Як бачимо, дана проблематика є досить скупою [9] для розробки як теоретичного, так і практичного характеру.

За відсутності достатньої кількості наукових досліджень, і в умовах розширення спектра використання оптичних систем, бачимо перспективи подальшого вивчення впливу радіаційного випромінювання на АОЛЗ.

Постановка завдання

Проаналізувавши процес функціонування приймачів АОЛЗ в умовах імовірної техногенної аварії розробити математичну модель, яка б дозволила порівняти отримані результати з відомими.

Метою роботи є моделювання умов функціонування АОЛЗ у вигляді математичних залежностей.

Виклад основного матеріалу

Математичну модель, яка б відтворювала умови функціонування АОЛЗ подамо у вигляді виконання покрокових процедур [10].

На першому етапі відтворюється генерування двійкових бітів по випадковому закону.

Випадкові двійкові біти, іншими словами — псевдовипадкова двійкова послідовність (PRBS) є вхідними даними і генеруються за рівномірним законом генерації випадкових чисел.

На другому етапі (1) відбувається процес перетворення двійкових бітів в електричний сигнал.

Двійкові біти PRBS шляхом передискретизації представляються таким чином, що кожному біту інформації відповідає значення NoS, яке залежить від часу та доступної пам'яті.

Високим швидкостям передачі інформації (даних) відповідають більші часові інтервали. Наприклад для здійснення передачі інформації зі швидкістю ν на деяку відстань Δl, час можна визначити як $T = \Delta l / \nu$.

При швидкості передачі інформації становить $BR = 1/Ts$, де Ts — період, тоді $NoS \le T = \Delta l * BR$

$$NoS \le \frac{T_{travel}}{T_s} = \frac{\Delta l * BR}{V} \quad (1)$$

На третьому етапі (2)–(4) здійснюється процес перетворення електричного сигналу в оптичний сигнал.

Це здійснюється на основі середньої вихідної оптичної потужності сигналу $P_{\text{вих}}$, з урахуванням коефіцієнта загасання сигналу ε, що відповідає значенням 1 та 0:

$$P_1 = \frac{2P_{\text{вих}}}{1+\frac{1}{\varepsilon}}; \quad (2)$$

$$P_0 = \frac{2P_{\text{вих}}}{1+\varepsilon}; \quad (3)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2. \quad (4)$$

Сформований електричний сигнал S_{selec} на другому кроці алгоритму через помноження на ΔP і з урахуванням оптичного зсуву середнього значення оптичної потужності можна вивести залежність оптичного сигналу. що генерується передавачем і подати її як:

$$\Delta P * S_{selec} + P_{\text{вих}}.$$

Четвертий етап відтворює характеристики каналу АОЛЗ шляхом моделювання.

Основою розрахунку коефіцієнтів каналу h є оптична потужність, що генерується на третьому етапі і множиться на коефіцієнти. Таким чином, отримуємо оптичну потужність на стороні приймача АОЛЗ. Коефіцієнт h, залежно від цілей моделювання, може застосовуватися до змінного оптичного сигналу P_{sig} або середньої оптичної потужності $P_{\text{вих}}$. Отриманий сигнал становить $h * \Delta P * S_{selec}$, якщо обчислення ймовірності помилки BER є ціллю моделювання.

Прийнятий сигнал при моделюванні реальної системи буде описуватися залежністю

$$h * (\Delta P * S_{selec} + P_{\text{вих}}).$$

На п'ятому етапі проводиться перетворення отриманого оптичного сигнала в електричний сигнал на основі чутливості фотодіода.

На шостому етапі до електричного сигнала додається гауссівський шум і отримується значення *SNR* (сигнал/шум). При цьому необхідна потужність шуму P_n обчислюється на третьому кроці алгоритму. Адитивний шум генеруються на основі випадкового нормального закону розподілу $N\left(0, \sqrt{P_n}\right)$, якому відповідають випадкові числа. На сьомому етапі отриманий електричний сигнал перетворюється у двійкові біти.

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

Шляхом порівняння середнього рівня кожного отриманого біта з пороговим, прийнятий біт визначається рівним 0 або 1. При цьому застосовується адаптивне порогове значення, усереднення здійснюється по всій довжині прийнятого сигналу. Пороговий рівень встановлюється на основі середнього значення прийнятого електричного сигналу.

На восьмому етапі (5)–(11) вихідні біти, що передаються, порівнюються з отриманими бітами, що відтворює значення ймовірності помилкового прийняття сигналу BER. Q — коефіцієнт, який виділяється з прийнятого сигналу:

$$Q = \frac{|V_1 - V_0|}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (5)$$

де V_1 і V_2 — середнє значення прийнятого сигналу, яке відповідно 1 і 0, σ_1 і σ_2 — значення стандартного відхилення прийнятого сигналу, яке відповідно відповідає 1 і 0.

Потужність оптичного сигналу рівна ΔP і на приймачі призводить до зростання напруги, яка визначається так:

$$V_{sig} = G * \eta * \Delta P, \quad (6)$$

де G і η — трансцендентне підсилення і чутливість відповідно.

Знаючи навантаження R_{Load} потужність сигналу буде:

$$P_{sig} = \frac{(G * \eta * \Delta P)^2}{R_{Load}}. \quad (7)$$

На основі заданої еквівалентної потужності шуму (NEP) приймача і відомої ширини смуги сигналу BW, можна розрахувати потужність шуму детектора:

$$P_{det} = NEP\sqrt{BW}. \quad (8)$$

Урахування фонового світла і дробового шуму розраховуємо за формулою:

$$i_n^2 = 2 * q * BW, \quad (9)$$

де q — заряд електрона; I — індукований струм крізь шуми.

Для фонового шуму $I_{bg} = \eta P_{bg}$, де P_{bg} — потужність фонового засвічення. Для дробового шуму, якщо середня оптична потужність P_r, тоді $I_{sn} = \eta P_r$. У підсумку потужність шуму на виході буде становити:

$$P_n = \frac{2q\eta G^2 BW}{R_{Load}}\left(P_{bg} + P_r\right). \quad (10)$$

Загальна потужність шуму буде:

$$P_{noise} = NER\sqrt{BW} + \frac{2q\eta G^2 BW}{R_{Load}}\left(P_{bg} + P_r\right). \quad (11)$$

На дев'ятому етапі (12)–(20) здійснюється генерація випадкових чисел моделі каналу.

Турбулентність — це випадкове явище.

Для нормального режиму:

$$X = N\left(\mu_{x,turb}, \sigma_{x,turb}\right); \quad (12)$$

$$H_{t-LN} = \exp(2X). \quad (13)$$

Варіант B — турбулентність, гамма-гамма-модель:

$$X = \Gamma(\alpha, 1); \quad (14)$$

$$Y = \Gamma(\beta, 1); \quad (15)$$

$$h_{t-GG} = \frac{1}{\alpha\beta} XY. \quad (16)$$

Варіант C — помилка наведення, нормальний закон розподілу:

$$X = N\left(\mu_{x,PE}, \sigma_{j,PE}\right) \quad (17)$$

$$Y = N\left(\mu_{x,PE}, \sigma_{j,PE}\right) \quad (18)$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (19)$$

$$h_{PE} = A\,exp\left(-\frac{2r^2}{W_{eq}^2}\right) \quad (20)$$

На десятому етапі (21)–(31) здійснюється моделювання характеристик каналу, таких як похибка наведення, затухання, турбулентність.

Згенеровані значення передискретизують. Якщо швидкість DR після передискретизації бітів, частота дискретизації буде $F_s = DR * NoS$.

Типова когерентність каналу становить 1 м, частота F_{sading} = 500 Гц.

BER по чистому каналу:

$$BER = Q\left(\frac{h I_0}{\sqrt{2 N_0}}\right), \quad (21)$$

де $Q(X) = \frac{1}{2\pi}\int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ є функцією Q.

BER в каналі помилок наведення:

$$BER = \exp\left(-\frac{s^2}{2\sigma_x^2}\right) \times \times \sum_{i=1}^{k} \omega_i Q\left[\frac{h l_0 A_0}{\sqrt{2N_0}} \exp\left(-\frac{4\sigma_x^2}{\omega_{xq}^2} X_0\right)\right] I_0\left(S\sqrt{\frac{2X_0}{\sigma_x^2}}\right), \quad (22)$$

і базується на квадратурній формулі Гаусса–Лагурера.

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

$I_0(*)$ — модифікована функція Бесселя для нульового порядку першого роду.

BER може мати такі значення:

А. В каналі турбулентності нормального закону розподілу (варіантА):

$$BER = \frac{1}{\pi} * \sum_{i=1}^{k} \omega_i Q\left[\frac{\eta I_0}{\sqrt{2V_0}} \exp\left(-2\sigma_S^2 + X_i\sqrt{9\sigma_X^2}\right)\right] \quad (23)$$

і базується на квадратурній формулі Гаусса–Ерміта [1].

В. В каналі турбулентності побудованому в гамма-гамма моделі (варіант В):

$$BER = \frac{2^{\alpha+\beta-\varepsilon}}{\sqrt{\pi^3}\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} G_{5.2}^{2.4} \times$$

$$\times\left[\left(\frac{2}{\alpha\beta}\right)^2 * 2 * \frac{hI_0}{\sqrt{2N_0}}\middle| \begin{matrix} \frac{1-\alpha}{2}, \frac{2-\alpha}{2}, \frac{1-\beta}{2}, \frac{2-\beta}{2}, 1 \\ 0, \frac{1}{2} \end{matrix}\right], \quad (24)$$

де $G_{5.2}^{2.4}$ — функція *G* Мейєра [3].

С. В каналі турбулентності для нормального закону (варіант С):

$$BER = \frac{2\gamma^{2-1}\Gamma\left(\frac{\gamma^2}{2}+\frac{1}{2}\right)\exp\left(\frac{s^2}{\sigma_s^2}+2\sigma_s^2\gamma^2+2\sigma_s^2\gamma^4\right)}{\sqrt{\pi}(A_0)\gamma^2} \times$$

$$\times\left(\frac{hI_0}{\sqrt{2N_0}}\right)^{\frac{\gamma^2}{2}}. \quad (25)$$

BER при помилках наведення та каналі турбулентності в гамма-гамма моделі визначається:

$$BER = \frac{2^{\beta-1}\Gamma\left(\frac{\beta}{2}+\frac{1}{2}\right)\exp\left(-\frac{s^2}{2\sigma_s^2}+\frac{-s^2\frac{\gamma^2}{\sigma_s^2}}{2\beta-2\gamma^2}\right)\left(\frac{\alpha\beta}{A_0}\right)^2}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)\sin\left[(\alpha-\beta)\pi\right]\Gamma\left(-(\alpha-\beta)+1\right)\left|\gamma^2-\beta\right|\beta} \times$$

$$\times\Gamma\left(\frac{\beta+1}{2}\right)\times\sqrt{\rho\gamma^2}\times\left(\frac{\eta I_0}{\sqrt{2V_0}}\right)^{-\frac{\beta}{2}}. \quad (26)$$

У випадку, якщо приймач має апертуру діаметром d_s, то для гамма-гамма-моделі параметри будуть:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad (27)$$

$$d = \left(\frac{kd_s^2}{4L^{0.5}}\right); \quad (28)$$

$$\sigma_{lnX}^2 = \frac{0.49\sigma_R^2}{\left(1+0.65d^2+1.11\sigma_R^{12.5}\right)^{7.6}}; \quad (29)$$

$$\sigma_{lnY}^2 = \frac{0.51\sigma_R^2\left(1+0.69\sigma_R^{12.5}\right)^{-5.6}}{\left(1+0.9d^2+0.62d^2\sigma_R^{12.5}\right)}. \quad (30)$$

Для моделювання по нормальному закону розподілу можна записати такі співвідношення:

$$\frac{\sigma_I^2(d_s)}{\sigma_I^2(0)} \approx \left[1+1.062d^2\right]^{-7.6}. \quad (31)$$

На одинадцятому етапі (32)–(44) враховуються такі характеристики як туман або дим, геометричні параметри, світло тощо.

За допомогою моделі Кіма, а також на основі характеристик видимості *Vis* параметр *q* [4]:

$$q = \begin{cases} 1.6, Vis > 50 \\ 1.3{,}6 < Vis < 50 \\ 1.6 * Vis + 0.34{,}1 < Vis < \cdot \\ Vis - 0.5{,}0.5 < Vis < 0.1 \\ 0, Vis < 0.1 \end{cases} \quad (32)$$

Знаючи довжину хвилі лазера λ (нм), параметр β_λ в 1/км визначається як:

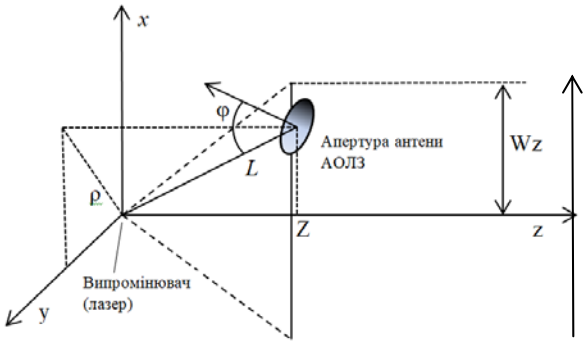
$$\beta_\lambda = -\frac{ln\,0.02}{Vis}\left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q} \quad (33)$$

Втрата від туману або диму враховується на основі закону Ламберта-Біра:

$$h_{PS} = \exp\left(-\beta_\lambda L\right) \quad (34)$$

де *L* — відстань зв'язку в км.

Будемо вважати, що площа апертури приймача $A_{R_{X-art}}$ значно менше розміру променю в площині *W*(*Z*). Геометрію променю і приймача в умовах впливу радіоактивного випромінювання подано на рисунку, при цьому відстань *L* від апертури приймача до джерела випромінювання *L*>>λ.



Геометричні залежності параметрів апертури приймача АОЛЗ

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

При нормальній інтенсивності випромінювання врахування геометричних параметрів $I_n(\rho;Z)$ можна подати так:

$$h_{GL} = I_n(\rho;Z) * T_r * A_{R_{x-\arg}} * \cos\varphi, \quad (35)$$

$$\cos\varphi \le \frac{1}{2} AFOV,$$

де $AFOV$, T_r — кутові кути поля зору та пропускання апертури приймача АОЛЗ відповідно.

Кут φ лежить між вектором, що з'єднує лазер з апертурою та вектором нормалі до діафрагми приймача АОЛЗ.

При рівномірному випромінюванні:

$$I_n(\rho : Z) = \frac{1}{\pi * W_h(Z) * W_v(Z)} \quad (36)$$

де PT_X — загальна потужність променя; $W_h(Z)$ та $W_v(Z)$ — радіус променя вздовж горизонтальних і вертикальних напрямків відповідно.

$$W_h(Z) = W_{0h} + Z\Theta_{0h} \quad (38)$$

W_{0h} та W_{0v} — радіуси променя з боку передавача вздовж горизонтального та вертикального напрямків відповідно; Θ_{0h} та Θ_{0v} — розбіжність променю (критерій 1/*e*) на стороні передавача вздовж горизонтальних та вертикальних напрямків відповідно.

При гауссівському випромінюванні:

$$I_n(\rho;Z) = \frac{2}{\pi * W_h(Z) * W_v(Z)} \exp\left(-\frac{2x^2}{W_v(Z)^2} - \frac{2\gamma^2}{W_h(Z)^2}\right); \quad (39)$$

$$W_h(Z) = W_{0h}\sqrt{1 + \varepsilon_h\left(\frac{\lambda Z}{\pi W_{0h}^2}\right)^2}; \quad (40)$$

$$W_v(Z) = W_{0v}\sqrt{1 + \varepsilon_v\left(\frac{\lambda Z}{\pi W_{0v}^2}\right)^2}; \quad (41)$$

$$\varepsilon_h = 1 + 2\frac{W_{0h}^2}{\rho_0(Z)^2}; \quad (42)$$

$$\varepsilon_v = 1 + 2\frac{W_{0v}^2}{\rho_0(Z)^2}; \quad (43)$$

$$\rho_0(Z) = \left(0.55 C_n^2 k^2 Z\right)^{-\frac{3}{5}}. \quad (44)$$

На останньому етапі (45) враховується вплив радіоактивного випромінювання з урахуванням того, що падаючий на перешкоду потік гамма-квантів з щільністю потоку Φ_{0y}, пройшовши перешкоду, набуде значення:

$$\Phi_{xy} = B_y \Phi_{0y} \exp\left(-\frac{d}{d_{0.5}^y}\right), \quad (45)$$

де B_y — фактор накопичення γ-квантів, які проходять через речовину товщиною d; $d_{0.5}^{\gamma}$ — шар половинного ослаблення гамма-випромінювання.

Висновки

Розроблена модель дозволяє відтворити умови функціонування АОЛЗ, у тому числі і такі специфічні умови, які можуть виникнути під впливом гамма-випромінювання як наслідку техногенної катастрофи і привести до незворотніх і зворотніх радіаційних дефектів. У подальшому, аналіз ступеня зниження виявляючої здатності приймачів АОЛЗ дозволить обґрунтувати рекомендації, направлені на підвищення ефективності та доцільність застосування АОЛЗ в тих чи інших умовах впливу радіоактивного випромінювання.

Подальші дослідження

Подальшим напрямком досліджень є розробка рекомендацій по мінімізації впливу гамма-випромінювання на існуючі АОЛЗ.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Navidpour S. M., Uysal M. and Kavehrad M., (August 2007). "BER Performance of Free- Space Optical Transmission with Spatial Diversity", *in IEEE Transactions on Wireless Communications,* vol. 6, no. 8, pp. 2813-2819. doi: 10.1109/TWC.2007.06109,

[2] Ohshima T., Onodaa S. (2018). Radiation Resistance of Semiconductors. In: Kudo H. (eds) Radiation Applications. *An Advanced Course in Nuclear Engineering*, vol 07. pp. 81–116. Springer, Singapore.

[3] Chauhan N. R., Vala M. K. (2017). System Design and Performance Analysis on the Free Space Optics (FSO) *System in Atmospheric Turbulence*. IRJET, Vol. 4. 1789–1793.

[4] Chatzidiamantis N. D. and Karagiannidis G. K. (May 2011). "On the Distribution of the Sum of Gamma-Gamma Variates and Applications in RF and Optical Wireless Communications", *in IEEE Transactions on Communications,* vol. 59, no. 5, pp. 1298–1308. doi: 10.1109/TCOMM.2011. 020811.090205,

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

[5] Koval S. A., Gorzhiy V. A., Pulnev A. S. (January 2012). Analysis of the possibilities of organizing communication in the field area with the help of atmospheric optical communication lines. *Technical sciences: traditions and innovations: materials of international correspondence scientific conf., Chelyabinsk*, edited by G.D. Akhmetova, Chelyabinsk: Two Komsomol Members, p. 168.

[6] Ijaz M. Ghassemlooy Z., Pesek J., Fiser O., Le H. Minh and E. Bentley. (June1, 2013). "Modeling of Fog and Smoke Attenuation in Free Space Optical Communications Link Under Controlled Laboratory Conditions", *in Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 11, pp. 1720–1726, DOI: 10.1109/JLT.2013.2257683.

[7] Лук'яненко О. А, Науменко А. М. (2015). Аналіз волоконно-оптичних датчиків у якості лінії передачі. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* Вип. 3(44). С. 88–90. URL: file:///C:/Documents%20and%20Settings/Dmytro/My%20Documents/Downloads/zhups_2015_3_23.pdf.

[8] Дудикевич В. Б., Опірський І. Р. (2010). Загасання оптичного сигналу у ВОЛЗ. *Ukrainian Information Security Research Journal.* DOI: 10.18372/2410-7840.12.1964.

[9] Дудикевич В. Б., Опірський І. Р., Глущак О. Р. (2012). Модель впливів фізичних, технічних і НСД факторів на контроль захищеності і працездатності ВОЛЗ. *Системи обробки інформації.* №8. С. 79–82. URL: file:///C:/Documents%20and%20Settings/Dmytro/My%20Documents/Downloads/soi_2012_8_21.pdf.

[10] Викулин И. М., Курмашев Ш. Д. Горбачев В. Э., Криськив С. К. (2012). Деградация элементов волоконно-оптических линий связи при радиационном облучении. *Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова*. № 1. С. 57–63. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nponaz_2012_1_12.

Туровський О. Л., Блаженний Н. В.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Моделювання функціонування атмосферно-оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ) в умовах впливу гамма-випромінювання, яке випускається сумішшю радіоактивних речовин, викинутих в довкілля внаслідок техногенної катастрофи є складовою частиною загальної задачі забезпечення їх радіаційної стійкості. Аналіз кількісних показників вихідних параметрів математичної моделі, що описує порядок функціонування АОЛЗ, та проведений аналіз радіаційної стійкості складових елементів схеми побудови АОЛЗ показав, що на ефективність її функціонування в умовах радіоактивного зараження буде впливати гамма-випромінювання. А основним радіаційно нестійким елементом в умовах його впливу буде приймач інфрачервоного вхідного сигналу. Який буде втрачати виявляючу здатність залежно від значень потужності та дози гамма-випромінювання.

У статті проаналізовано процес функціонування приймачів АОЛЗ в умовах імовірної техногенної аварії на радіаційно небезпечному об'єкті та подано математичну модель, яка описує порядок функціонування АОЛЗ з ерахуванням можливого впливу гамма-випромінювання на виявляючи здатність приймача інфрачервоного вхідного сигналу.

Розроблена модель містить описи покрокових процедур прийому та обробки вхідного сигналу: генерування псевдовипадкової двійкової послідовності корисного сигналу, що планується для передачі по оптичному каналу; перетворення двійкової послідовності в електричний сигнал; перетворення електричного сигналу в оптичний сигнал; формування оптичної потужності каналу передачі сигналу; прийом та перетворення вхідного оптичного сигналу в електричний на вхідних приймачах; перетворення вхідного електричного сигналу в двійкові біти.

В подальшому запропонована модель дозволить провести аналіз ступеня зниження виявляючої здатності приймачів АОЛЗ що, в свою чергу дозволить обґрунтувати рекомендації, направлені на підвищення ефективності та доцільність застосування АОЛЗ в тих чи інших умовах впливу радіоактивного випромінювання.

Ключові слова: атмосферна оптична лінія зв'язку; оптичний сигнал; виявляючи здатність; вплив гамма-випромінювання.

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021

Turovsky O., Blazhennyi N.

MODELING OF THE OPERATION OF FREE-SPACE OPTICAL COMMUNICATION UNDER THE EFFECTS OF RADIATION

Modeling of the operation of free-space optical communication (FSO) under the effects of gamma radiation, emitted by a mixture of radioactive substances, released into the environment as a result of a man-made disaster is an integral part of the general task of ensuring their radiation resistance. The analysis of quantitative indicators of the initial parameters of the mathematical model describing the order of the FSO operation and the analysis of radiation resistance of the components of the FSO construction scheme show that the efficiency of its operation under radioactive contamination conditions will be affected by gamma radiation. The main radiation-unstable element under its effects will be the infrared input signal receiver, which will lose its detection ability depending on the power values and the dose of gamma radiation.

The article analyzes the operation of FSO receivers in the probable man-made disaster at a radiation-hazardous object and presents the mathematical model, which describes the FSO operation taking into account the possible effects of gamma radiation on the detection ability of the infrared input signal receiver.

The developed model includes the descriptions of step-by-step procedures for receiving and processing the input signal: generating a pseudo-random binary sequence of the useful signal planned for the transmission through the optical channel; conversion of the binary sequence into an electrical signal; conversion of the electrical signal into an optical signal; forming the optical power of the signal transmission channel; reception and conversion of the input optical signal into the electrical one at the input receivers; conversion of the input electrical signal into binary bits.

In the future, the proposed model will make it possible to analyze the degree of reduction of the detection ability of FSO receivers, which, in turn, will help to substantiate the recommendations, aimed at improving the efficiency and feasibility of FSO under certain conditions of radiation.

Keywords: free-space optical communication; optical signal; detection ability; effects of gamma radiation.

Стаття надійшла до редакції 01.05.2021 р.
Прийнято до друку 09.06.2021 р.

© Туровський О. Л., Блаженний Н. В., 2021