

Кирпач Л.А. Державний університет телекомунікацій, Київ
Туровський О.Л. Національний авіаційний університет, Київ
Блаженний Н.В. Державний університет телекомунікацій, Київ

ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ ПО ОЦІНЦІ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Анотація: Розглянуто структуру, роль і місце атмосферно-оптичних ліній зв'язку в сучасних системах передачі інформації та підвищення ефективності їх функціонування. Проаналізовано фактори, та, особливо, враховано такий фактор зовнішнього середовища, що безпосередньо впливає на технічні характеристики елементної бази атмосферно-оптичних ліній зв'язку, як радіоактивне випромінювання. Джерелом такого випромінювання може бути аварія атомної енергетичної установки, у результаті якої в навколишній просторі за межі атомної електричної станції поширюється велика кількість радіоактивних речовин.

Проведено аналіз радіаційної стійкості елементної бази атмосферно-оптичних ліній зв'язку, який показав, що найбільш уразливими конструктивними елементами є приймачі інфрачервоного випромінювання. Технічний стан приймачів атмосферно-оптичних ліній зв'язку в умовах впливу радіоактивного випромінювання буде визначати загальний технічний стан інформаційної системи, і впливати на можливості по їх застосуванню. Радіоактивне випромінювання, яке присутнє і в космічному середовищі, є одним з факторів прояву зовнішнього впливу і на технічний стан авіаційно-космічної техніки. Випромінювання, що виникає в структурах інтегральних схем при бомбардуванні високоенергетичними частинками веде до генерації фотострумів, які здатні змінювати робочі характеристики інтегральних схем, що в свою чергу призводить до збоїв у передачі інформації і повній відмові при аварійних ситуаціях.

Запропоновано напрямки вдосконалення методик врахування впливу на приймачі атмосферно-оптичних ліній зв'язку.

Ключові слова: атмосферно-оптичні лінії зв'язку, інформаційні системи, радіація, опромінення, радіаційна стійкість, іонізуюче випромінювання.

Kyrpach L.A. State University of Telecommunications, Kyiv
Turovsky A.L. National Aviation University, Kyiv
Blazhennuy N.V. State University of Telecommunications, Kyiv

JUSTIFICATION OF THE SCIENTIFIC RESEARCH TASK FOR ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE FACTORS OF IONIZING RADIATION ON THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF ATMOSPHERIC-OPTICAL COMMUNICATION LINES

Abstract: The structure, role and place of atmospheric-optical communication lines in modern information transmission systems and increasing the efficiency of their functioning are considered. The factors are analyzed, and especially such an environmental factor is taken into account, which directly affects the technical characteristics of the element base of atmospheric-optical communication lines, such as radioactive radiation. The source of such radiation can be a nuclear power plant accident, as a result of which a large amount of radioactive substances spreads into the surrounding space outside the nuclear power plant.

The analysis of the radiation resistance of the element base of atmospheric-optical communication lines is carried out, which shows that the most vulnerable structural elements are infrared receivers. The technical condition of the receivers of atmospheric-optical communication lines under the influence of radioactive

radiation will determine the general technical condition of the information system and affect the possibilities for their application. Radioactive radiation, which is also present in the space environment, is one of the factors in the manifestation of external influences and on the technical condition of aerospace technology. The radiation that occurs in the structures of integrated circuits when bombarded with high-energy particles leads to the generation of photocurrents that can change the operating characteristics of integrated circuits, in turn leads to failures in the transmission of information and to complete failure in emergency situations.

The directions of improving the methods of accounting for the influence of atmospheric-optical communication lines on receivers are proposed.

Keywords: *atmospheric-optical communication lines, information systems, radiation, irradiation, radiation resistance, ionizing radiation.*

Кирпач Л.А.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Туровский А.Л.

Национальный авиационный университет, Киев

Блаженный Н.В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ОБОСНОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Аннотация: *Рассмотрена структура, роль и место атмосферно-оптических линий связи в современных системах передачи информации и повышения эффективности их функционирования. Проанализированы факторы, и особенно учтен такой фактор внешней среды, который непосредственно влияет на технические характеристики элементной базы атмосферно-оптических линий связи, как радиоактивное излучение. Источником такого излучения может быть авария атомной энергетической установки, в результате которой в окружающее пространство за пределы атомной электростанции распространяется большое количество радиоактивных веществ.*

Проведен анализ радиационной стойкости элементной базы атмосферно-оптических линий связи, который показал, что наиболее уязвимыми конструктивными элементами, являются приемники инфракрасного излучения. Техническое состояние приемников атмосферно-оптических линий связи в условиях воздействия радиоактивного излучения будет определять общее техническое состояние информационной системы, и влиять на возможности по их применению. Радиоактивное излучение, которое присутствует и в космической среде является одним из факторов проявления внешнего воздействия и на техническое состояние авиационно-космической техники. Излучения, возникающие в структурах интегральных схем при бомбардировке высокоэнергетическими частицами, приводят к генерации фототоков, которые способны изменять рабочие характеристики интегральных схем, в свою очередь приводит к сбоям в передаче информации и к полным отказам при аварийных ситуациях.

Предложены направления совершенствования методик учета влияния на приемники атмосферно-оптических линий связи.

Ключевые слова: *атмосферно-оптические линии связи, информационные системы, радиация, облучение, радиационная стойкость, ионизирующее излучение.*

1. Вступ

Серед сучасних технологій передачі даних для систем зв'язку особливу увагу заслуговують технології атмосферно-оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ), які почали розвиватися в кінці ХХ століття, що обумовлено появою широкосмугових мереж передачі даних [1].

Перші системи Jolt і SilCom забезпечували передачу даних на відстані до 500 м і використовували інфрачервоні напівпровідникові діоди. Сучасні технології АОЛЗ підтримують з'єднання до рівня 2,5 Гбіт/с з максимальною дальністю до 10 км, а деякі виробники заявляють про швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с і відстані до 50 км. В

космічному середовищі дальність дії атмосферно-оптичних ліній зв'язку може сягати до 100 тис км. При цьому на показник реальної максимальної дальності впливає доступність каналу, тобто відсоток часу, коли канал працює [2].

Швидкості передачі даних, які забезпечуються системами АОЛЗ співрозмірні з волоконно-оптичними мережами, тому вони найбільш затребувані в ширококутових додатках на кінцевих ділянках. Оптичні бездротові системи використовують діапазон інфрачервоного випромінювання від 400 до 1400 нм [3].

Одним з факторів зовнішнього середовища, що безпосередньо може вплинути на технічні характеристики елементної бази атмосферно-оптичних ліній зв'язку, є радіоактивне випромінювання. Джерелом такого випромінювання може бути аварія атомної енергетичної установки, у результаті якої в навколишній простір за межі атомної електричної станції поширюється велика кількість радіоактивних речовин. При цьому необхідно враховувати, що в даний час на території України діють атомні електростанції з атомними енергоустановками, які використовують для виробництва електроенергії ядерні реактори типу «вода - водяний енергетичний реактор» потужністю 440 і 1000 Мегават.

2. Аналіз літературних даних і постановка наукового завдання

Дослідженню проблем опромінення елементів радіоелектронної апаратури присвячені роботи Вітовського Н.А., Туровського О.Л., Літовченко В.Г., Ткачова В.Д., Машовець Т.В., Конозенко І.Д. та зарубіжних вчених Дж. Маєра, Г. Андерсона, Г. Ширмера, Г. Лейбфріда, І. Ліндхарда, О.Оена, Й.-Х. Оцуки, Й. Гібонса, Д. Нельсона, та ін.

Дослідженню проблем атмосферних каналів оптичних інформаційних систем присвячені роботи Тимофєєва Ю.М., Васильєва А.В., Мілютіна О.Р., Р.А. Казаряна та ін.

Аналіз останніх публікацій свідчить, що проблема підвищення радіаційної стійкості апаратури, вивчення поширення сигналів у інформаційних системах, опромінених високоенергетичними частинками та підвищення ефективності та оперативності управління набуває первинного значення [5-8].

В роботі [1] закладені теоретичні основи атмосферної оптики, в роботах [2,3] описані статистична теорія атмосферного каналу оптичної інформаційної системи та системи передачі інформації по атмосферному каналу. При цьому методи оцінки радіаційної стійкості таких елементів у роботі відсутні. Найбільш показовими роботами по висвітленню питань впливу опромінення є наступні.

В роботах [9,10] подані результати досліджень по розробці і впровадженню радіаційно стійких інтегральних мікросхем та напівпровідникової елементної бази. Досягнення заданих показників радіаційної стійкості, що розглядається в даних роботах ґрунтується на забезпеченні стійкої внутрішньої структури схеми в процесі виробництва.

В роботі [11] описана методика оцінки напівпровідникових схем до радіаційних ефектів, що формуються окремими іонізуючими частинками космічного простору. При цьому методи оцінки загальної радіаційної стійкості таких елементів в роботі відсутні.

Критичний аналіз методик оцінки функціонування АОЛЗ дозволив виявити існуючі недоліки, що не враховують прогнозовані значення дози потужності і поглиненої дози радіоактивного випромінювання та приводять до значних похибок. В існуючих методиках відсутня оцінка впливу радіоактивного випромінювання, як наслідку техногенної аварії, на авіаційно-космічну техніку. Це не дозволяє оцінити ступінь впливу радіоактивного випромінювання на АОЛЗ авіаційно-космічної техніки і, як наслідок, не дозволяє визначити шляхи збереження технічних характеристик АОЛЗ в умовах впливу випромінювання.

Особливістю техногенних аварій атомних енергетичних установок є наявність стадій процесу їх протікання, у результаті яких у навколишнє середовище у вигляді хмари і наступного струменя викидається суміш газоподібних і мілкодисперсних твердих радіоактивних речовин.

Радіоактивне випромінювання, яке присутнє і в космічному середовищі, є одним з факторів прояву зовнішнього впливу на технічний стан АОЛЗ. Прояв цього впливу буде виявлятися через технічні характеристики, у першу чергу, найбільше радіаційно уразливих елементних приладів і пристроїв зі складу конструкції АОЛЗ.

Аналіз радіаційної стійкості елементної бази АОЛЗ показав, що найбільш радіаційно уразливими конструктивними елементами є приймачі інфрачервоного випромінювання. Отже, технічний стан приймачів АОЛЗ в умовах впливу радіоактивного випромінювання буде визначати загальний технічний стан інформаційної системи і впливати на можливості по їх застосуванню. Вплив радіоактивного випромінювання проявляється у рості темного струму і зниженні його виявляючої здатності. Таким чином, в приймачі АОЛЗ виникає явище – радіаційний ефект R_{δ}^{sup} , який може бути зворотнім і незворотнім.

Задача збереження показників працездатності приймача АОЛЗ в умовах впливу радіоактивного випромінювання вимагає попередньої оцінки ступеня радіаційного ефекту, що дозволить у наступному розробити необхідні рекомендації, спрямовані на збереження заданих значень виявляючої здатності приймача АОЛЗ і через це зберегти його працездатність.

Формування того чи іншого виду R_{δ}^{sup} в приймачі АОЛЗ залежить від енергії радіоактивного випромінювання, а ступінь його впливу на виявляючу здатність залежить від поглиненої приймачем АОЛЗ дози випромінювання, яка пов'язана з потужністю радіоактивного випромінювання і часом перебування приймача в полі впливу цього випромінювання.

Основним методом, за допомогою якого може здійснюватися виявлення й оцінка впливу радіоактивного випромінювання на АОЛЗ, є метод, оснований на прогнозуванні значень потужності дози і поглиненої дози випромінювання. Доза радіоактивного випромінювання, отримана приймачем АОЛЗ, залежить від хмари та струменя аварійного викиду атомної енергоустановки, від заражених радіоактивних поверхонь та визначається як інтеграл по часу закону зміни потужності радіоактивного випромінювання.

Доза випромінювання залежить від кількості радіоактивних речовин у суміші аварійного викиду, енергії радіоактивного випромінювання, що сформований окремими групами радіоактивних речовин, їх активності, а також значення коефіцієнтів, що кількісно оцінюють адсорбційно-десорбційну взаємодію газоподібних і мілкодисперсних твердих радіоактивних речовин і конструкції АОЛЗ.

Дані обставини вимагають рішення наукової задачі по застосуванню атмосферно-оптичних ліній зв'язку в умовах впливу іонізуючого випромінювання, розробки методики оцінки впливу радіоактивного випромінювання та розробки рекомендацій по збереженню виявляючої здатності приймачів АОЛЗ в умовах впливу радіоактивного випромінювання.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження обґрунтування наукового завдання по оцінці впливу факторів іонізуючого випромінювання на ефективність застосування атмосферно-оптичних ліній зв'язку, визначення ролі і місця атмосферно-оптичних ліній зв'язку в сучасних системах передачі інформації та підвищення ефективності їх функціонування в умовах впливу гама – випромінювання.

Для досягнення поставленої мети проаналізовано структуру АОЛЗ, фактори, які впливають на її функціонування; кількісні та якісні характеристики АОЛЗ в умовах впливу іонізуючого випромінювання.

4.1. Оцінка кількісних та якісних характеристик АОЛЗ в умовах впливу іонізуючого випромінювання

Для розробки способів забезпечення радіаційної стійкості будемо вважати, що основною

радіаційною загрозою АОЛЗ є одиничні події, викликані впливом високоенергетичних частинок. В результаті одиничної події, несправності діляться на стійкі (сталі) і виправні відмови (рис.1).

Несправності електронних пристроїв в результаті радіаційного впливу можуть обумовлюватися їхньою конструкцією, робочим середовищем, призначенням, витратами на їх створення.

Найбільш часто виправні відмови, що розглядаються як поодинокі збої, проявляються в зміні логічного стану елемента або логічного виходу, тобто в зміні імпульсного перехідного процесу комбінації логічної схеми. Несправності цього типу можуть виникнути не тільки в логічних елементах, а й у блоках управління і блоках пам'яті (в основному в оперативному запам'ятовуючому пристрої).

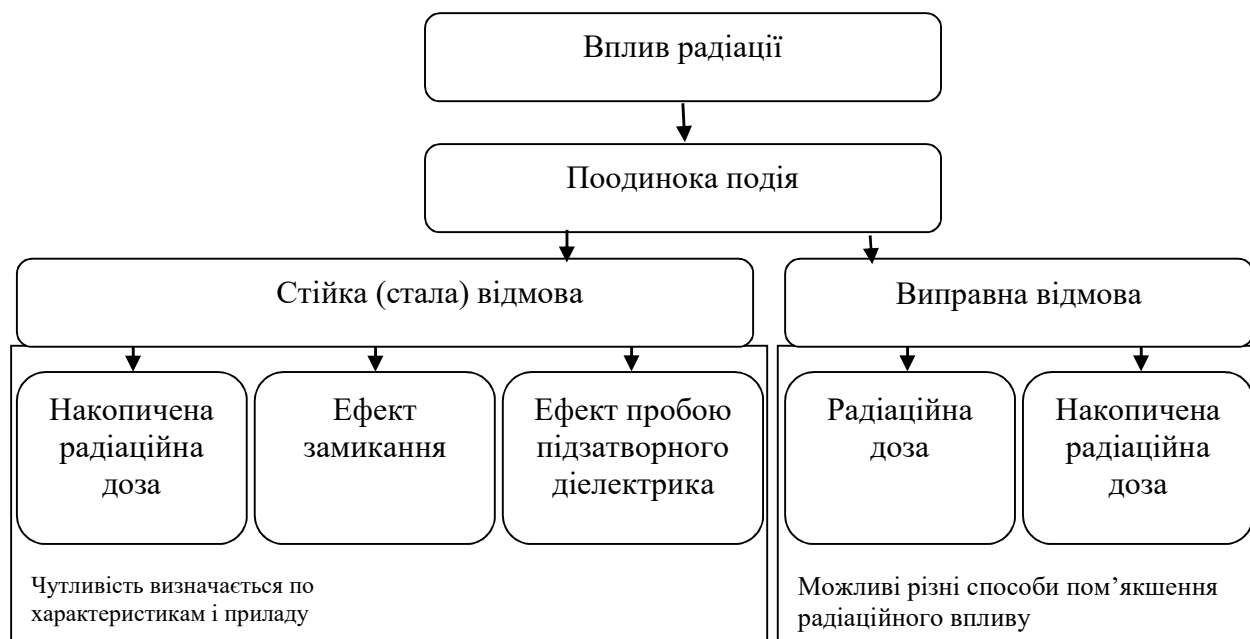


Рис. 1. Види радіаційного впливу, які приводять до стійких та виправних відмов

Для усунення ймовірності одиночного збою доцільно застосовувати методи простого відбору приладу з вбудованою радіаційною стійкістю або періодичного відновлення його вихідного стану.

Поодинокі події можуть викликати нестационарні струми малої тривалості і великої амплітуди, які здатні розрядити вузли системи, привести до втрати інформації або ініціювання режиму замикання, і тим самим - до катастрофічної (сталої) відмови.

Методів оперативного відновлення або усунення будь-якого впливу робочого середовища немає. Щоб забезпечити радіаційну стійкість конкретного проектного пристрою необхідно знати, де і як він буде використовуватися. Так, для авіаційно-космічних систем (табл.1) основну увагу приділяють забезпеченню стійкості до накопичення радіаційної дози, тоді як при створенні приладів для наземних додатків цей показник не такий важливий.

При цьому слід враховувати, що в міру зменшення топологічних норм мікросхем, збільшення їх швидкодії та складності, радіація викликає нові ефекти, які починають домінувати в схемі. У результаті, для реалізації варіанту мікросхеми з підвищеною радіаційною стійкістю, потрібно встановлювати чутливість проектованої системи до всіх потенційних радіаційних загроз і вдосконалювати операції пом'якшення їх впливу.

Оцінка загального рівня радіації на навколоземних орбітах (2021 рік).

Характеристика орбіти	Геостаціонарна орбіта	Орбіта глобальної супутникової системи позиціонування	Низька навколоземна орбіта	Орбіта метеорологічних супутників
Апогей, км	35796	20189	1500	848
Перигей, км	35795	20172	1600	824
Нахил, град	-	55	60	99
Загальна доза опромінення, рад/Si/год	6600	59600	17300	1260

Випромінювання, що виникає в структурах інтегральних схем при бомбардуванні високоенергетичними частинками, веде до генерації фотострумів, які здатні змінювати робочі характеристики інтегральних схем, що, в свою чергу, призводить до збоїв у передачі інформації і повної відмови при аварійних ситуаціях.

Для проведення аналітичних оцінок і визначення потенційних можливостей різних варіантів побудови АОЛЗ вводиться поняття еквівалентного ресурсу терміналу (1, 2) μ , що визначається наступним співвідношенням:

$$\mu = \frac{P_{\text{прд}} \cdot D_{\text{прм}}^2}{\beta_{\text{прд}}^2 \cdot P_{\text{прм}}} \cdot \tau_{\text{прд}} \cdot \tau_{\text{прм}} \quad (1)$$

де: $P_{\text{прд}}$ – вихідна потужність лазерного передавача, мВт;

$D_{\text{прм}}$ – еквівалентний діаметр антени лазерного приймача, м;

$\beta_{\text{прд}}$ – кутова конусність променя передавача, мрад;

$P_{\text{прм}}$ – порогова чутливість приймача, пВт/ (Гц)^{1/2};

$t_{\text{прд}}$ – коефіцієнт пропускання передавального тракту;

$t_{\text{прм}}$ – коефіцієнт пропускання приймального тракту

З урахуванням введеного поняття рівняння передачі АОЛЗ в атмосфері:

$$\mu = L^2 \cdot \exp\left(2,75 \cdot \frac{L}{S_k}\right) \cdot \sqrt{10} \cdot \ln\left(\frac{1}{k}\right) \cdot C \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

де: S_k – метеорологічна дальність видимості;

L – дальність зв'язку в кілометрах;

C – швидкість передачі інформації, Мбіт/с;

k – ймовірність помилки на біт інформації.

Знаючи залежність μ від дальності зв'язку і S_k , можна знайти ймовірність зв'язку. Значення S_k має випадковий характер і суттєво залежить від часу.

Як будь-яка випадкова величина, S_k має функцію розподілу ймовірностей $F(S_k)$, знаючи яку можна знайти залежність ймовірності зв'язку $P_{\text{зв}}$ від стану атмосфери.

З рівняння передачі випливає, що кожному значенню дальності зв'язку L відповідає мінімальна метеорологічна дальність видимості S_k^* .

Тоді ймовірність зв'язку буде визначатися умовою:

$$P_{\text{зв}} = P(S_k > S_k^*),$$

де: S_k – довільне значення метеорологічної дальності видимості;

S_{k^*} – значення метеорологічної дальності видимості, імовірність не перевищення якого дорівнює $F(S_{k^*})$.

При цьому ймовірність зв'язку і функція розподілу ймовірностей метеорологічної дальності видимості пов'язані співвідношенням $P_{зв} = 1 - F(S_{k^*})$.

Таким чином, знаючи закон розподілу ймовірностей метеорологічної дальності видимості, можна визначити ймовірність зв'язку. Одним із способів визначення закону розподілу S_k є вимірювання і статистична обробка отриманих значень.

У відкритій оптичній лінії захист забезпечується за рахунок вузької діаграми спрямованості випромінювання. За допомогою зовнішніх інфрачервоних приладів можна виявити наявність каналу зв'язку, але для перехоплення інформації необхідно встановити приймач безпосередньо в канал зв'язку, що практично неможливо [3].

4.2. Аналіз структури АОЛЗ та фактори, які впливають на її функціонування

Атмосферно-оптична лінія зв'язку може складатися з двох приймально-передавальних пристроїв (рис.2), які розташовані у межах прямої видимості на обох кінцях лінії і спрямовані один на одного. Передавач містить генератор-лазер і модулятор оптичного випромінювання переданого сигналу. Модульований лазерний промінь атмосферно-оптичної лінії зв'язку спрямовується у бік приймача. У фотоприймачі виконується детектування сигналу і виділення переданої інформації.

Передавальна частина системи містить підсилювач електричних сигналів, генератор струму накачування, що виконує роль перетворювача напруги в струм і каскаду джерела випромінювання (лазера). Оптичне випромінювання фокусується за допомогою антени.

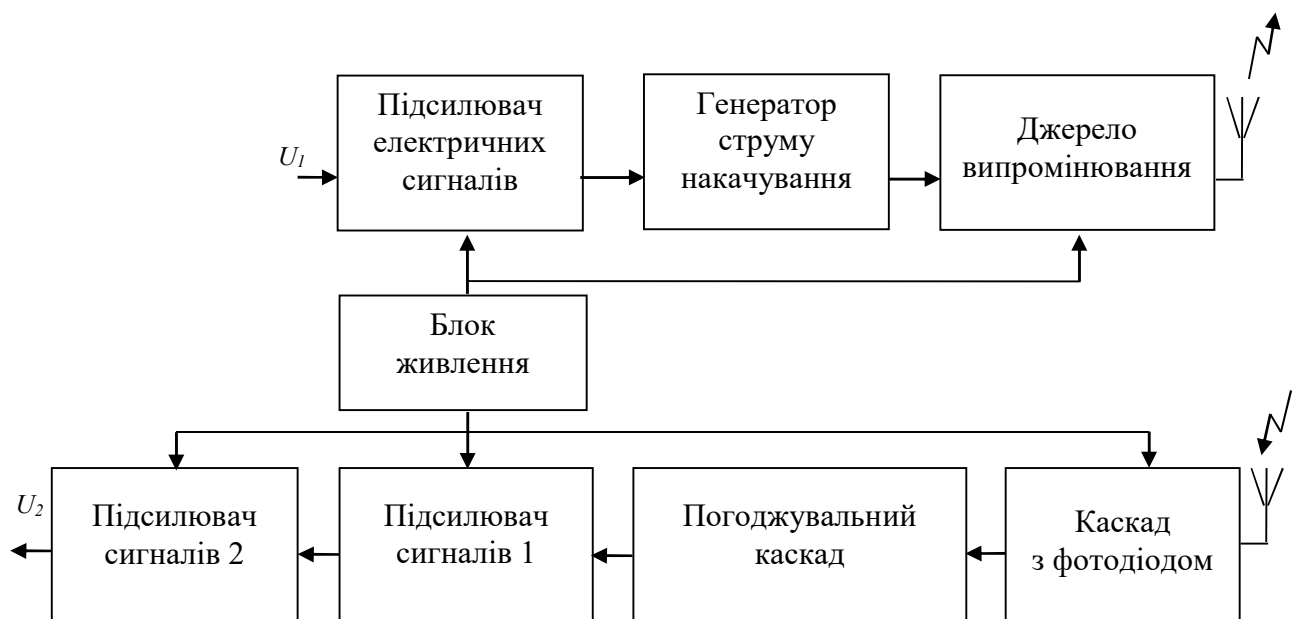


Рис. 2. Структурна схема приймально-передавального пристрою атмосферно-оптичної лінії зв'язку

Приймальна частина містить антену, що фокусує випромінювання на приймальну площадку фотодіода. Каскад з фотодіодом підключений через погоджувальний каскад до підсилювачів сигналів 1, 2.

Живлення передавального і приймального пристроїв здійснюється від блоку живлення.

В якості джерела випромінювання можуть використовуватися напівпровідникові лазери, газові лазери та лазери на основі твердого тіла.

Детектування оптичного сигналу може здійснюватися за допомогою звичайних і лавинних фотодіодів, а також фотоелектронних перемножувачів.

В оптичних системах може застосовуватися стабілізація потужності оптичного випромінювання. Цифрові системи зв'язку містять також, як правило, порогові пристрої для регенерації прямокутних імпульсів з метою відновлення форми імпульсів.

Окрім зазначених основних вузлів, станція атмосферно-оптичної лінії зв'язку може бути забезпечена монокуляром – цілевказівником і пристроєм автоматизованого юстування. Разом з цим можуть бути передбачені системи термостабілізації, самодіагностики, індикації робочих параметрів, тощо[3].

5. Обговорення результатів проведеного дослідження

Поширення випромінювання в атмосфері супроводжується цілою низкою явищ лінійної і нелінійної взаємодії світла із середовищем. При цьому жодне з цих явищ не виявляється окремо. За суто якісними ознаками зазначені явища можна поділити на основні групи: поглинання і розсіювання молекулами газів повітря, ослаблення на аерозолях (пил, дощ, сніг, туман) і флуктуації випромінювання при турбулентності атмосфери, радіоактивне випромінювання.

Поглинання світлового потоку видимого й інфрачервоного діапазонів визначається, насамперед, молекулярним поглинанням [12,13], украй нерівномірним за частотою. Воно максимальне на резонансних частотах молекул повітря, води, вуглекислого газу, озону й інших компонентів атмосфери. Ділянки спектру, де поглинання незначне обумовлені вікнами прозорості.

Основним обмежувачами дальності АОЛЗ є сніг і густий туман (табл. 2) для яких аерозольне ослаблення максимальне. На поширення лазерного променя значний вплив чинить також турбулентність атмосфери, тобто випадкові просторово-часові зміни показника заломлення, викликані пересуванням повітря, флуктуаціями його температури та щільності. Тому світлові хвилі, що поширюються в атмосфері, піддаються не тільки поглинанню, але і флуктуації переданої потужності.

Таблиця 2

Ослаблення випромінювання залежно від погодних умов

Погодні умови	Загасання, дБ/км
Ясна погода	0-3
Дощ слабкий/сильний	3-6/6-17
Сніг	6-26
Туман легкий/густий	20-30/50-100

Найпростішим способом боротьби із завмираннями є збільшення розміру приймальної оптичної антени чи використання декількох приймальних антен. При цьому відбувається усереднення флуктуацій випромінювання, прийнятого окремими елементами, і вирівнювання сигналу. Інший спосіб полягає в некогерентному додаванні в одному каналі випромінювання декількох лазерів.

При практичному використанні лазерів у системах атмосферного зв'язку необхідно враховувати сукупний вплив взаємодії радіоактивного випромінювання, взаємодію випромінювання з атмосферою, випадково неоднорідне середовище. Цей вплив може змінюватися в надзвичайно широкому діапазоні. Тому, для забезпечення працездатності АОЛЗ на заданій дистанції з визначеним рівнем надійності (чи доступності каналу), необхідно мати достатній динамічний запас енергетичного потенціалу.

Якщо врахувати, що в атмосфері присутня велика кількість різних атмосферних газів, то коефіцієнт молекулярного поглинання повітря слід записати як

$$k_k(v) = \sum_i k_{ik}(v) = \sum_k \cdot \sum_i k_{ik},$$

де k - індекс підсумовування, що відповідає різним газам, що входять до складу повітря,
 i - індекс, що відповідає окремим лініям кожного газу.

Таким чином, загальний коефіцієнт молекулярного поглинання в атмосфері являє собою, у першому наближенні, суму коефіцієнтів поглинання в окремих лініях поглинання різних атмосферних газів.

Доступність лінії АОЛЗ залежить від припустимого ослаблення потужності сигналу між передавачем і приймачем на заданій відстані між терміналами і від статистики розподілу максимальної видимості у місці установки лінії. Чим більший запас потужності системи, тим менше погодні умови впливають на працездатність лінії.

Технічні характеристики атмосферно-оптичних ліній зв'язку, які досліджуються на вплив радіоактивного випромінювання наведені в табл. 3, 4.

Таблиця 3

Технічні характеристики атмосферно-оптичних ліній зв'язку

Виробник (модель)	Початкова потужність, мВт	Тип джерела випромінювання	Дальність зв'язку (при $S_k = 250$ м), м	Примітка
PAV Data Systems (SkyCell 4E1-4000)	300	Лазер	716	Включає 3 лазери
НИИПП (Квантово-оптичні системи) (КС-300 (500) 4E1)	200	Лазер	614	Включає 4 лазери
Катарсис (БОКС Е2-ОС3)	500	Світлодіод	544	
Державний Рязанський приладовий завод (МІСТ 100/500)	160	Лазер	522	Включає вбудований мультиплексор 4xЕ1
LaserBit Comms (LB 2500E2)	280	Лазер	500	
MRV Comms (TS-940/4E1)	22	Лазер	480	
Sceptre (ОКБ МЕІ) (EasyLink 4)	100	Світлодіод	424	
ISONA Comms (Sonabeam 52M)	640	Лазер	776	

Таким чином, актуальним питанням виступає оцінка впливу радіації на ефективність використання АОЛЗ, їх здатність забезпечувати передачу великих обсягів інформації з високою надійністю на відстанях в одиниці кілометрів у наземних умовах, а у космічному просторі - на десятки тисяч кілометрів.

Таблиця 4

Технічні характеристики космічних атмосферно-оптичних ліній зв'язку

Параметр	Значення
Робочі довжини хвиль, мкм	0,81—0,87
Середня випромінювана потужність, мВт	50
Швидкість передачі інформації, Мбіт/с/канал	1—120

Діаметр антени геостаціонарного/низькоорбітального супутника, м	0,35/0,2
Динамічна/статична помилка наведення, мкрад	20/0,5
Ймовірність помилкового прийому символу	10^{-6}
Дальність зв'язку, км	45 000

6. Висновки

Технології АОЛЗ, незважаючи на принциповий недолік цієї технології – істотну залежність працездатності лінії зв'язку від зовнішніх факторів, мають незаперечні переваги – високі швидкості передачі, відсутність частотного ліцензування, швидкість організації каналу, тощо і дозволяють їй зайняти своє місце для передачі інформації.

На сьогодні цілісні методики оцінки впливу радіоактивного випромінювання на елементні прилади і пристрої АОЛЗ авіаційно-космічної техніки, оцінюють, в основному, вплив радіаційних дефектів в елементній базі на ефективність її застосування по впливу тільки проникаючої радіації. Отже, для оцінки впливу наслідків техногенної аварії на АОЛЗ, дані методики потребують вдосконалення, а тому існує потреба в проведенні подальших досліджень по врахуванню впливу на приймачі атмосферно-оптичних ліній доз радіоактивного випромінювання, впливу радіаційних дефектів, що можуть статися під дією радіоактивного випромінювання.

Список використаної літератури

1. Тимофєєв Ю.М., Васильєв А.В. Теоретичні основи атмосферної оптики. - С-Пб .: Наука, 2003 г. - 152 с.
2. Мілютін О.Р. Статистична теорія атмосферного каналу оптичної інформаційної системи. - М .:Радіо зв'язок, 2002. - 253 с.
3. Оптичні системи передачі інформації по атмосферному каналу / Під. ред. Р.А. Казаряна. - М .:Радіо и зв'язок, 1985. - 208 с.
4. Hecht, Jeff, Understanding Fiber Optics, 4th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA 2002 (ISBN 0-13-027828-9).
5. Телекомунікаційні системи та мережі [Електронний ресурс]: Педагог.навч.засіб для вищих навч.закладів // Под ред. ХНУР., (2011) Том 1. URL: <http://www.znanius.com/3640.html>. (дата звернення 05.05.2021).
6. Телекомунікаційні системи та мережі [Електронний ресурс]: Педагог.навч.засіб для вищих навч.закладів // Под ред. ХНУР., (2011) Том 2. URL: <http://www.znanius.com/3640.html>. (дата звернення 05.05.2021).
7. П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко Телекомунікаційні та інформаційні мережі/Під ред. САММІТ-Книга, м. Київ, 2010 – 592 с.
8. Поплавський О.А., Поплавська А.А., Коротун І.А. Особливості організації передачі інформації лазером через атмосферу для розробки методів та програмно-апаратних засобів прогнозування характеристик зображень сигналу.//Волоконно-оптичні технології в інформаційних (Internet, Intranet тощо) та енергетичних мережах. – Вінниця, 2014. С.206-209.
9. Юдинцев В. Радиационно-стойкие интегральные схемы. Надежность в космосе и на земле / В. Юдинцев // Электроника НТБ. – 2007. –№ 5. – С. 72-77.
10. Мироненко Л. Повышение радиационной стойкости интегральных схем. Конструктивные методы на базе промышленной технологи / Л.Мироненко, В.Юдинцев // ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. – 2012. –№8 (00122). – С. 74 – 87.
11. Чумаков А.И. Методика оценки параметров чувствительности ИС к тиристорному эффекту при воздействии отдельных ядерных частиц / А.И. Чумаков, А.А. Печенкин, А.Н. Егоров и другие // Микроэлектроника. – 2008. –Т. 37. –С. 45–51.

12. Коваль С.А., Горжий В.А., Пульнев А.С. Анализ возможностей организации связи в полевом районе с помощью атмосферных оптических линий связи. Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. – Челябинск: Два комсомольца, 2012. – 168 с.

13. Туровский О. Л До питання визначення активності суміші аварійного викиду з атомної енергетичної установки в випадку виникнення аварії загального типу // Труды Академії. №6.- Київ: НАОУ. - 1998. - С. 84-88.

References

1. Timofeiev Y.M., Vasiliev A.V. Theoretical Fundamentals of Atmospheric Optics, St. Petersburg, Nauka, 2003, p. 152.

2. Miliutin O.R. Statistical Theory of the Atmospheric Channel of the optical information system, Moscow, Radio and Communication, 2002, p. 253.

3. Optical information transmission systems over the atmospheric channel, edited by Kazarian P.A., Moscow, Radio and Communication, 1985, p. 208.

4. Hecht, Jeff, Understanding Fiber Optics, 4th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA 2002 (ISBN 0-13-027828-9).

5. Telecommunication Systems and Networks [Electronic resource]: Pedagogical teaching aid for higher educational institutions, KNUR Publ., (2011), Vol. 1. Available at: <http://www.znanius.com/3640.html>. (accessed 05.05.2021).

6. Telecommunication Systems and Networks [Electronic resource]: Pedagogical teaching aid for higher educational institutions, KNUR Publ., (2011), Vol. 2. Available at: <http://www.znanius.com/3640.html>. (accessed 05.05.2021).

7. P.P. Vorobiienko, L.A. Nikitiuk, P.I. Reznichenko Telecommunication and Information Networks, SUMMIT-Book Publ., Kyiv, 2010, p. 592.

8. Poplavskiy O.A., Poplavskaya A.A., Korotun I.A. Peculiarities of the Organization of Laser Information Transmission through the Atmosphere for the Development of Methods and Software and Hardware for Predicting the Characteristics of Signal Images, Fiber-optic Technologies in Information (Internet, Intranet, etc.) and Energy Networks, Vinnytsia, 2014, pp. 206-209.

9. Yudinsev V. Radiation-Resistant Integrated Circuits, Reliability in Space and on Earth, V. Yudinsev, NTB Electronics Publ., 2007, No 5, pp. 72-77.

10. Myronenko L. Increasing the Radiation Resistance of Integrated Circuits, Constructive Methods Based on Industrial Technology, L. Myronenko, V. Yudinsev, ELECTRONICS: Science, Technology, Business, 2012, No 8 (00122), pp. 74 - 87.

11. Chumakov A.I. Methods for estimating the parameters of the sensitivity of the IC to the thyristor effect when exposed to individual nuclear particles (A.I. Chumakov, A.A. Pechenkin, A.N. Egorov and others), Microelectronics, 2008, Vol. 37, pp. 45–51.

12. Koval S.A., Gorzhiy V.A., Pulnev A.S. 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, January 2012, edited by G.D. Akhmetova, Chelyabinsk: Two Komsomol Members, 2012, p. 168.

13. Turovsky O.L. To the question of determining of the activity of the mixture of accidental emissions from a nuclear power plant in case of a common type accident, Works of the Academy No 6, Kyiv, NADU, 1998, C.84-88.