

УДК 681.3.021

В. П. КОЖЕМ'ЯКО, В. І. МАЛІНОВСЬКИЙ, Я. І. ЯРОСЛАВСЬКИЙ,
В. В. МОРОЗ, О. О. ШТЕЛЬМАХ

ЛОКАЛЬНІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ МЕРЕЖІ НА НОВІТНІХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ІЗ СПЕКТРОТРАНСФОРМАТОРНИМ ЖИВЛЕННЯМ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, Україна*

Анотація. В статті запропоновано підхід об'єднання оптико-електронних технологій спектральної трансформації довжин хвиль сонячного випромінювання і волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів в геоінформаційно-енергетичних мережах з метою розширення функціональних можливостей останніх та забезпечення функцій енергозбереження та оптимального розподілу енергетичних потоків.

Анотация. В статье предложен подход объединения оптико-электронных технологий спектральной трансформации длин волн солнечного излучения и волоконно-оптических информационно-энергетических каналов в геоинформационно-энергетических сетях с целью расширения функциональных возможностей последних и обеспечения энергосбережения, а также оптимального распределения энергетических потоков.

Abstract. In paper considers an approach of optical-electronic technologies association of spectral transforming waves lengths of sun radiation and fiber optic information-power channels in geoinformation-power networks with the purpose of expansion of their functional possibilities and providing of energy-savings functions and optimum distributing of power streams.

Ключові слова: геоінформаційно-енергетичні мережі (ГЕМ), волоконно-оптичний інформаційно-енергетичний канал (ВОЕІК), спектротрансформатор, оптичні потоки, енергія, спектральні канали, оптичне волокно (ОВ).

ВСТУП

На сучасному етапі технологічного розвитку доцільним та можливим є створення потужної широко розповсюдженої глобальної геоінформаційно-енергетичної мережі, яка могла б об'єднати переваги окремо існуючих інформаційних та енергетичних мереж. Оскільки сьогодні існує широко розповсюджена єдина електромережа та глобальна інформаційна мережа Internet, то доцільним є інтегрування в першу середовище якісної передачі інформації на базі сучасних новітніх швидкісних волоконно-оптичних ліній з метою розширення функцій і оптимізації інфраструктури. Саме такий варіант архітектури на базі поєднання розповсюджених інформаційної та енергетичної мереж, дозволить створити єдину оптико-електронну геоінформаційно-енергетичну мережу з розширеними функціональними можливостями у вигляді прогресивної швидкісної передачі і обробки інформації наряду з функціями енергозбереження і інтелектуального керування енергетичними потоками. Такий підхід описаний у роботах [1, 2, 7], і розглядається як перспективний для побудови інформаційних мереж нового покоління.

Цікавішими і привабливими, з точки зору підвищення швидкодії і енергетичної автономності, є використання новітніх технологій оптичного зв'язку і передачі енергії на основі волоконно-оптичних та відкритих оптичних каналів. Відтак, сучасні технології обміну інформації дозволяють досягати швидкостей до 10-80 Гбіт/с – у волоконно-оптичних каналах, та від 622 до 2.5 Гбіт/с – у відкритих оптичних каналах. Перехід на швидкодіючі оптичні обчислювальні структури в сукупності з оптичними інформаційно-енергетичними каналами дозволить розширити функціональні можливості сучасних мереж, зменшити кількість комунікацій та підвищити енергетичну автономність вузлів ГЕМ.

Але в структурі геоінформаційно-енергетичних мереж постає очевидна проблема розподіленого енергетичного живлення і автономного енергозбереження окремих вузлів.

Метою статті є розширення функціональних можливостей ГЕМ та забезпечення функцій енергозбереження та оптимального розподілу енергетичних потоків шляхом синтезу і об'єднання моделей і принципів організації спектротрансформатора сонячного випромінювання і архітектури

оптичних ГІЕМ на базі 3-х типів оптичних каналів.

Завданням дослідження є об'єднання оптичних вихідних систем моделі спектротрансформатора із середовищем передачі енергії на базі волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів [3, 5].

Ефективним шляхом до вирішення проблеми енергоавтономності інформаційних ресурсів є використання енергії з альтернативних джерел, зокрема енергії сонячного випромінювання. Але основні труднощі полягають у ефективності перетворення сонячного випромінювання в електрику. Сучасні кремнієві фотоелектричні перетворювачі, на яких базується більшість промислових сонячних батарей мають ефективність 14-18%. Тобто, більша частина енергії втрачається на етапі перетворення сонячного світлового випромінювання в енергію електричного струму.

В якості підходу до вирішення поставленої проблеми може бути використання моделі спектральної трансформації довжин хвиль (спектротрансформатор [4, 6]), яка дозволяє перетворювати сонячне випромінювання із деяким діапазоном довжин хвиль $\Delta\lambda$ в квазімонохроматичне випромінювання із конкретно визначеною довжиною хвилі λ_j . Це вигідно тому, що оптичні ГІЕМ в якості каналів передавання використовують волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали (рис. 1), в яких енергія передається світловим випромінюванням в кінцевих локальних сегментах мережі з відносно невеликим енергоспоживанням.

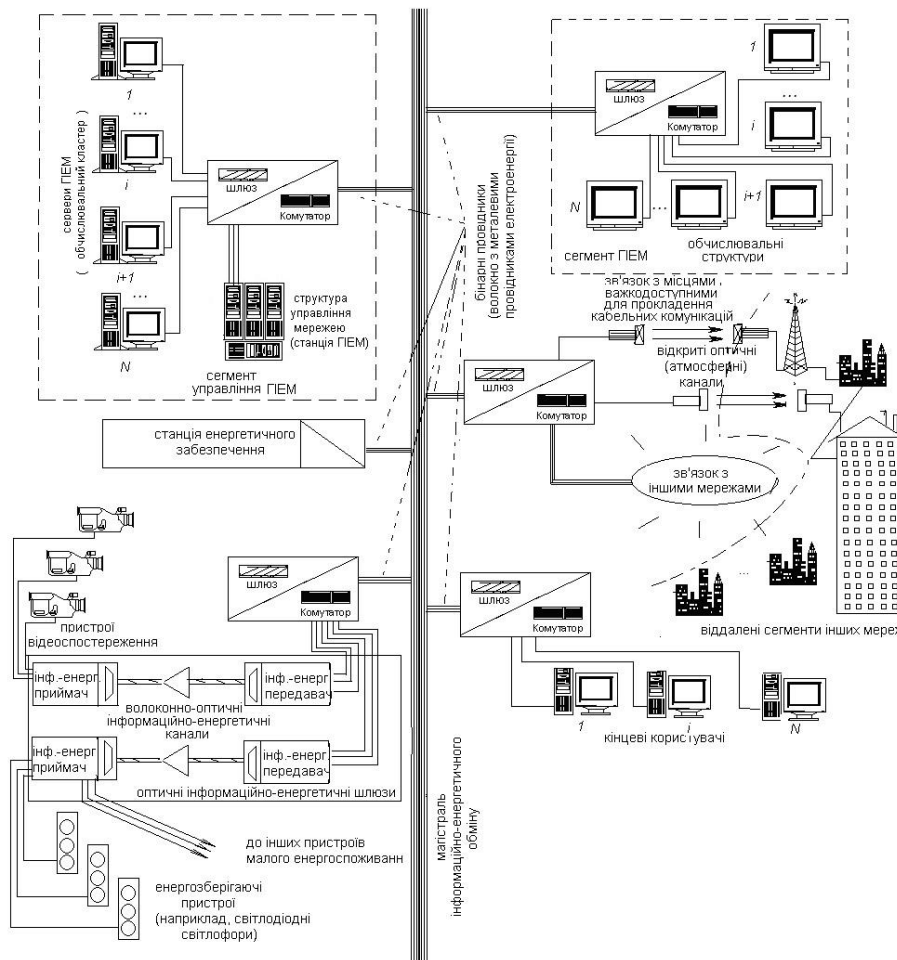


Рис. 1. Загальна структура оптичної геоінформаційно-енергетичної мережі [2]

А в магістральних сегментах передача енергії живлення до складових та вузлів ГІЕМ здійснюється традиційним способом (розповсюдженим двопровідним або однопровідним – SWER,) по металевим струмонесучим високовольтним частинам, які входять до складу бінарних провідників (один з типів каналів).

Слід нагадати, що в оптичних ГІЕМ (рис. 1) для реалізації передачі інформації та енергії, використовуються 3 типи оптичних каналів передавання [2]:

1. Відкриті оптичні канали – призначені для передачі інформації у важкодоступних місцях між

відокремленими сегментами ГІЕМ;

2. Бінарні провідники – для використання у магістральних лініях, для передачі високошвидкісних інформаційних потоків у одномодовому оптичному волокні та для забезпечення живлення окремих складових ГІЕМ шляхом подачі струму живлення по струмонесучим провідникам;

3. Волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали (ВОІЕК) – призначені для одночасної передачі як інформації, так і енергії живлення оптичним потоком (за допомогою хвильового мультиплексування (WDM) інформаційних та енергетичних спектрів) у кінцевих і проміжних сегментах геоінформаційно-енергетичних мереж.

При цьому, бінарні провідники являють собою кабельну структуру і включають об'єднані під захисною оболонкою оптичні волокна, в якості інформаційно-передаючого середовища та струмонесучі жили на основі металевого провіднику електроенергії – в якості енергетично-передаючого.

Волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні канали представляють собою розміщені по методу оптичного хвильового мультиплексування WDM (Wave Division Multiplexing) спектральні канали як для передавання інформації, так і для передавання енергії в єдиному волоконно-оптичному середовищі спеціалізованого типу із великим діаметром сердцевини 200-1000мкм.

Саме останні представляють великий інтерес в плані розробки нової архітектури ГІЕМ, оскільки при поєднанні із технологією спектральної трансформації, це дозволить уникнути низько ефективного, з енергетичної точки зору, перетворення світла в електрику.

Використання в структурі ГІЕМ, а також характер процесів передачі енергетичних спектральних каналів та інформаційних при їх спільному поширенні в єдиному середовищі за допомогою WDM – мультиплексування (технологія ВОІЕК) був достатньо розглянутий в роботах [1, 3, 5]. Актуальним залишається питання узгодження моделей спектральної трансформації сонячного випромінювання і волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ КАНАЛИ ГІЕМ

Використання волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів перспективно для інформаційно-енергетичного обміну ГІЕМ з кінцевими пристроями малого енергоспоживання, для забезпечення їх автономності і зменшення числа комунікацій з ними. На рис. 2 зображено загальні структури інформаційного – а) та енергетичного – б) волоконно-оптичних каналів.

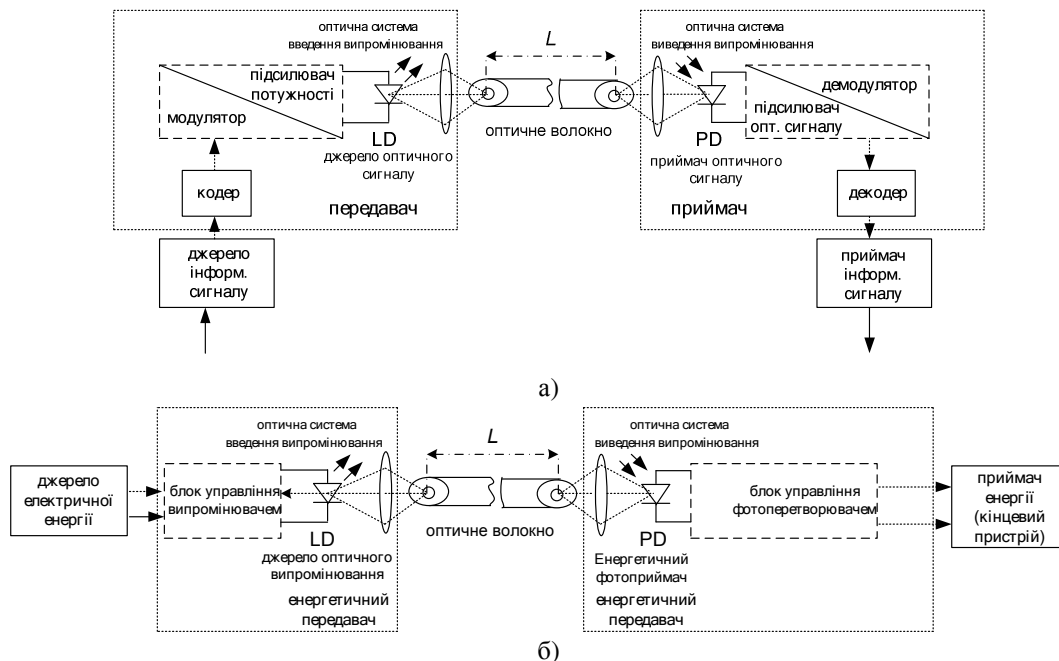


Рис. 2. Загальні структури волоконно-оптичних каналів: а) – інформаційного; б) – енергетичного

Як видно з рис. 2, структури каналів подібні, відмінність складає рівні оптичної потужності, яка значно більша в енергетичних каналах ($P_{енерг.} \gg P_{інформ.}$). Спосіб відтворення енергії живлення в енергетичній ВОЛЗ на приймальному кінці полягає у використанні технології концентричних високоефективних компактних фото-електричних перетворювачів (ФЕП) на базі GaAs, який перетворює

вхідний оптичний потік енергії у електричну форму з ККД 45-60%. Енергія живлення у ВОІЕК може передаватись як неперервним режимом роботи оптичного випромінювача, так й імпульсним. При імпульсній передачі, оптична енергія може бути визначена інтегралом:

$$E_{out} = \frac{\eta_j}{T} \int_0^t P(t) dt, \quad (1)$$

де, $P(t)$ – функція потужності оптичного сигналу, T – період імпульсів передачі; η_j – енергетична ефективність всієї ланки каналу.

Для забезпечення сталої величини вихідної енергії ($E_{out}=const$) на приймальному кінці необхідне встановлення смісного інтегратора імпульсів, як це показано на рисунку 3.

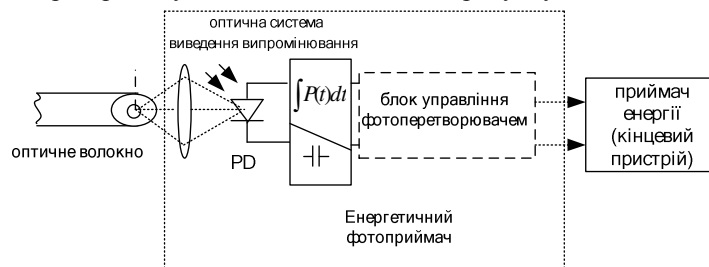


Рис. 3. Енергетичний фотоприймач з інтегратором прийнятої потужності

Максимальна дальність передавання інформації оптичним потоком визначається оптичними втратами на одиницю довжини dL , що спрощено виражається через густину потоку dA через площу S як:

$$\frac{dP}{dL} = -2 \int a_n S dA. \quad (2)$$

При таких втратах повна потужність $P = \int dA$ спадає експотенційно в напрямку L згідно відомого закону Бугера-Ламберта:

$$P_{out} = P_{in} \exp(-2aL), \quad (3)$$

де a – коефіцієнт оптичних втрат; P_{out} – оптична потужність на виході виході волоконно-оптичного каналу; P_{in} – оптична потужність на вході від лазерного випромінювача, або випромінювача іншого типу.

Коефіцієнт втрат a , потужність на виході каналу P_{out} та вхідна потужність P_{in} є визначальними параметрами при визначенні максимальної довжини передачі L . Враховуючи (2) та (3), максимальна дальність передачі інформації по одиничному волоконно-оптичному каналу ВОІЕК визначається як:

$$L_{max} = -\frac{1}{2a} \ln \frac{P_{out}}{P_{in}}. \quad (4)$$

Відношення оптичної вихідної потужності до вхідної або коефіцієнт передавання $D = \frac{P_{out}}{P_{in}}$

характеризує загасання оптичного сигналу або ефективність передачі оптичної енергії по волоконно-оптичному середовищу, а також є визначальним фактором при виборі типу оптичного волокна для забезпечення максимальної дальності передавання з мінімальними втратами. Слід зазначити, що при використанні у ВОІЕК більшості спеціалізованих оптичних волокон, це відношення буде приблизно сталим для кожного каналу, а дальність передавання приблизно однаковою.

СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ СПЕКТРОТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПІЕМ

Спосіб трансформації довжин хвиль базується на використанні резонансної оптичної накачки парів лужних металів, які є ефективним робочим середовищем частотного перетворювача сонячного випромінювання в будь-який інший діапазон, в якому за рахунок енергетичного перетворення досягається можливість створення уніфікованої спектральної трансформації всіх хвиль сонячного випромінювання в будь-який потрібний спектральний діапазон.

Пристрій трансформації довжин світлових хвиль (рис. 4) містить відбиваючу дзеркальну систему, активний спектральний перетворювач, підсилювач випромінювання та об'єднувач випромінювання, при чому сонячне світло, підсилюючись за допомогою відбиваючої дзеркальної системи, потрапляє на активний спектральний перетворювач, що встановлено із можливістю з'єднання із підсилювачем випромінювання, який відповідно з'єднаний з об'єднувачем випромінювання. На рис. 4 представлено структурну схему спектротрансформатора.

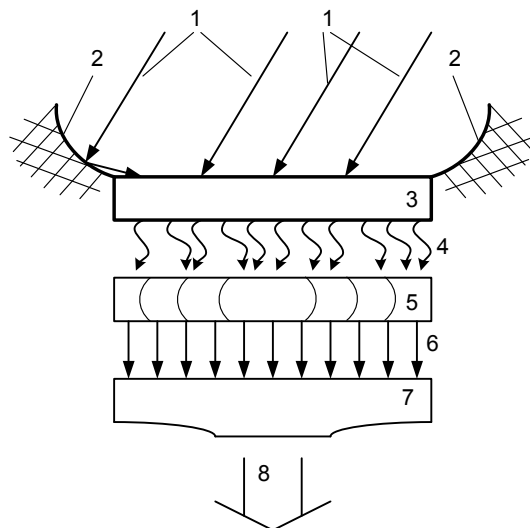


Рис. 4. Структурна схема побудови спектротрансформатора та спосіб його функціонування [4]

Активний спектральний перетворювач 3 створено на основі способу трансформації довжин світлових хвиль, а саме квантової теорії випромінювання воднеподібних атомів та атомів лужних металів, що дозволяє здійснювати заселення верхніх атомних рівнів та зумовлює інверсне заселення відносно нижче розміщення енергетичних рівнів. Такий принцип роботи застосовуються при створенні оптичних квантових генераторів – лазерів, а також застосовуються при розробці високоефективних перетворювачів видимого випромінювання в інфрачервоний діапазон. Основна ідея сучасних частотних перетворювачів випромінювання базується на резонансній оптичній накачці парів лужних металів, які є ефективними робочими середовищами для генерації видимого і ІЧ випромінювання.

Принцип роботи спектротрансформатора (рис. 4) полягає в трансформації довжин світлових хвиль сонячного випромінювання в квазімонохроматичне випромінювання. Сонячне світло 1 та відбите випромінювання від торичної системи дзеркал 2 потрапляє на активний спектральний перетворювач 3, який створено на основі ефекту вимушеного випромінювання в активному середовищі з інверсною заселеністю енергетичних рівнів. Після перетворення світлового спектру у необхідний діапазон, наприклад інфрачервоний (ІЧ), випромінювання зі зміненою довжиною хвилі 4 поступає у підсилювач випромінювання 5, що виконано на основі сферичних дзеркал і дозволяє підсилити та направити отримане випромінювання. Після того підсилене випромінювання 6 попадає до об'єднувача випромінювання 7, звідки отримується концентрований та напрямлений пучок променів, тобто трансформоване випромінювання 8 (наприклад ІЧ-випромінювання).

Такий спосіб трансформації довжин сонячного випромінювання заснований на перетворенні енергії всього спектра випромінювання, які потрапляють на поглинаючу поверхню. Після перетворення випромінювання розповсюджують в робоче середовище, де генеруються хвилі з новою частотою ν_j (λ_j). Після чого хвилі зі зміненою довжиною хвилі λ_j і частотою ν_j потрапляють у підсилювач, де вони підсилюються і направляються у об'єднувач, в результаті чого отримують трансформоване випромінювання з потрібною довжиною хвилі на виході.

Процес переходу середовища в інверсний стан (накачуванням підсилюючого середовища) відомий з квантової теорії лужних металів. Цей процес можна розглянути на прикладі роботи напівпровідникового лазерного діода, який пов'язаний з трьома основними процесами, обумовленими переходами носіїв: поглинанням, спонтанною емісією і стимулюючим випромінюванням. Розглядаючи два енергетичних рівнів E_1 і E_2 , один з яких E_1 характеризує основний (стаціонарний) стан атома, а інший E_2 – збуджений стан атома, можна представити таку систему на рис. 5.

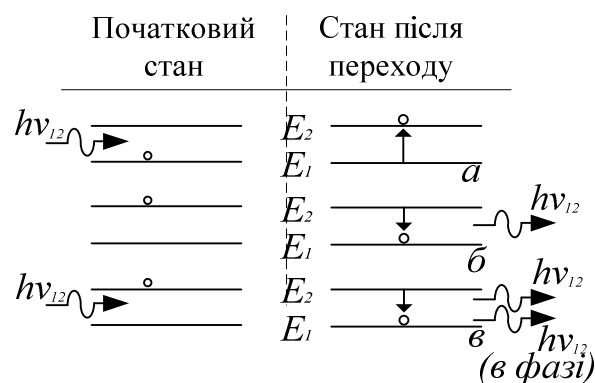


Рис. 5. Діаграма рівнів способу уніфікованої трансформації: а) довжин хвиль, що пояснює процеси поглинання; б) спонтанного і в) вимушеного випромінювання [4]

Будь-який перехід носіїв між цими рівнями супроводжується випусканням або поглинанням кванта з частотою ν_{12} , яка визначається із загальновідомого співвідношення Планка [4]:

$$h\nu_{12} = \Delta E = E_2 - E_1, \quad (5)$$

де h – стала Планка.

При звичайних температурах більшість атомів знаходиться в основному стані. Ця ситуація порушується в результаті дії на систему кванта з енергією $h\nu_{12}$. Атом в стані E_1 поглинає квант і переходить в збуджений стан E_2 . Це і складає процес поглинання випромінювання.

Збуджений стан є нестабільним, і через короткий проміжок часу, без якої-небудь зовнішньої дії, атом переходить в основний стан, випускаючи квант з енергією $h\nu_{12}$. Цей процес називається спонтанною емісією (рис.5, б). Час життя, пов'язаний із спонтанною емісією (тобто середній час збудженого стану) може змінюватися в діапазоні від 10^{-9} до 10^{-3} с, залежно від параметрів матеріалу.

Зіткнення кванта з енергією $h\nu_{12}$ з атомом, що знаходиться у збудженому стані, стимулює миттєвий перехід атома в основний стан з випуском кванта з енергією $h\nu_{12}$ і фазою, що відповідає фазі падаючого випромінювання. Цей процес називається стимульованим випромінюванням і використовується в лазерних діодах, а також в лазерах інших типів. Такий процес використовується і в системі трансформації довжин хвиль світлового випромінювання.

Проте, окрім індукованого випромінювання, може відбуватися поглинання світла. В результаті поглинання фотона атомами, що знаходяться на енергетичному рівні E_1 , фотон зникає, а атоми переходять на енергетичний рівень E_2 . Цей процес зменшує інтенсивність світла, що проходить крізь речовину. Таке поглинання в речовині відбувається відповідно до закону Бугера-Ламберта як [4]:

$$J(x) = J_0 \exp(-\alpha x) \quad (6)$$

де $\alpha > 0$ – коефіцієнт поглинання; x – товщина поглинаючого шару; J_0 – інтенсивність світла, що проходить в речовину; $J(x)$ – інтенсивність світла, що пройшло крізь шар товщиною x .

Для середовища з негативним поглинанням світла справедливий інший відомий закон – співвідношення Бугера-Ламберта-Фабриканта [4]:

$$J(x) = J_0 \exp(|\alpha| x) \quad (7)$$

де $|\alpha| > 0$ – позитивна величина, відповідна не ослабленню, а посиленню світла, що проходить через активне середовище (пропорційна різниці між числом актів поглинання і вимушеного випромінювання).

Інтенсивність світла при цьому, круто зростає із збільшенням товщини шару середовища. Іншими словами, коефіцієнт поглинання α для активного, підсилюючого середовища є негативною величиною.

Таким чином, є можливість перетворення енергії видимого випромінювання атомів водню в енергію інфрачервоного діапазону.

Основна ідея і принцип роботи сучасних частотних перетворювачів світлового випромінювання базується саме на такому явищі – на резонансному оптичному накачуванні матеріалів, які є ефективними робочими середовищами для генерації видимого та ІЧ випромінювання.

ОБ'ЄДНАННЯ МОДЕЛІ СПЕКТРАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ КАНАЛІВ

Самою важливою умовою при об'єднанні технологій спектральної трансформації та волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів є забезпечення високої ефективності введення оптичного випромінювання спектротрансформатора у канали ВОІЕІК.

Тому задача зводиться до дослідження шляхів підвищення ефективності введення потужності оптичного випромінювання в волоконно-оптичне середовище. Чим більше оптичної корисної оптичної потужності буде введено в оптоволокно, тим вищі будуть параметри енергетичної ефективності, дальності та якості процесу передачі енергії у ВОІЕІК. Структуру оптичної системи введення випромінювання і узгодження ВОІЕІК з спектротрасформатором представлено на рис. 6.

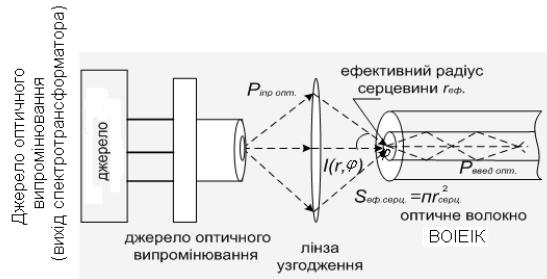


Рис. 6. Структура оптичної системи введення випромінювання у ВОІЕІК із спектротрансформатора

При введенні оптичного потоку у волокно, далеко не вся частина вхідної потужності ефективно фокусується лінзою в сердцевині, а лише її деяка частка, що відповідає значенню $P_{in} = k_{\eta} \cdot P_{LD}$, де k_{η} – коефіцієнт введення випромінювання; P_{LD} – оптична потужність джерела.

Очевидно, що оптична потужність корисного випромінювання, яке буде введене в оптичне волокно при цьому визначається тілесним кутом введення φ та радіусом сердцевини $r_{серц.}$:

$$P_{core} = \int_0^r \int_0^{\varphi} P_{in}(r, \varphi) dr d\varphi. \quad (8)$$

Значення коефіцієнта введення випромінювання k_{η} обчислюється з вищеприведених співвідношень враховуючи інтеграли перекриття хвильового фронту падаючого на сердцевину волокна світлового потоку $I(r, \varphi)$:

$$k_{\eta} = \iint_{r, \varphi} I(r, \varphi) \cdot \cos(\varphi) dr d\varphi. \quad (9)$$

Для розрахунку ефективності введення випромінювання у ОВ k_{η} в багатомодових волокнах ВОІЕІК можна скористатись відомою у волоконній оптиці залежністю [8]:

$$k_{\eta} = |C_{vm}|^2 = |S_{ef.core} \cdot \psi_{in front} \cdot \psi_{fiber}^* dS|^2, \quad (10)$$

де C_{vm} – амплітудний коефіцієнт збудження m -ї моди в ОВ світловим полем v -ї моди джерела; $S_{ef.core}$ – ефективна площа сердцевини ОВ; $\psi_{in front}$ – нормована функція, що описує передавання оптичної потужності від джерела; ψ_{fiber}^* – нормована функція, що описує передавання оптичної потужності на ділянці введення у оптичне волокно.

Повна введена потужність від оптичного джерела світла, яким є спектротрансформатор з випромінюючою площею S_{VCSEL} та інтенсивністю I_{VCSEL} у волокно з площею перерізу сердцевини S_{core} та числовою апертурою $NA = \sin \varphi$ можна визначити, підставивши залежність (9) у (8), з врахуванням (10) як:

$$P_{in} = \int_{S_{VCSEL}} \int_{S_{core}} I_{VCSEL} \cdot \cos \varphi dS_{core} = \frac{I_{VCSEL} \cos \varphi \cdot S_{core}}{r^2} = 2\pi I_{VCSEL} S_{core} \cdot \left(\frac{1 - \cos \varphi}{2} \right). \quad (11)$$

Елемент площі $\cos \varphi \cdot dS_{core}$, що лежить на площині перпендикулярній напрямку світлового потоку, замінюється на елемент ефективної поверхні $\sin \varphi \cdot d\varphi d\varphi_n$ з кутом φ_n .

Повна ефективність введення випромінювання від спектротрансформаторного джерела (можуть бути застосовані й лазерні джерела) у ВОІЕК можна визначити, перетворивши (11) з врахуванням кутового розходження оптичного випромінювання:

$$\eta_{input} = \frac{S_{core} \cdot \sin^2 \varphi}{\sin^2 \varphi_{vpr.}} = \frac{P_{VCSEL}}{P_{in}}. \quad (12)$$

Практично визначено, що при $\eta_{input} = 0,5$ досягається втрати близько 3дБ оптичної потужності, що еквівалентно половині від введеної. Тому ефективність введення повинна знаходитись в межах $0,5 < \eta_{input} < 0,95$.

Схеми введення/виведення випромінювання у волоконно-оптичні канали показано на рис. 7.

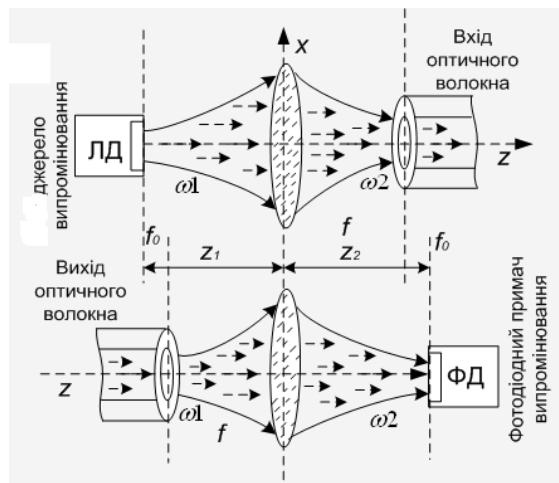


Рис 7. Оптичні схеми введення випромінювання у оптичні волокна ВОІЕК із спектротрансформатора

При безпосередньому узгодженні волоконно-оптичних структур ВОІЕК і моделі спектротрансформатора, а також й інших лазерних джерел оптичного випромінювання з самим оптичним волокном можуть виникати достатньо великі оптичні втрати, які обумовлені різними лінійними розмірами активних світловипромінюючих або світлопоглинаючих поверхонь.

Якщо у випадках коротких ліній оптичних провідників це допустимо, то у системах на базі ВОІЕК в локальних ГЕМ із відносно великою довжиною ліній такі умови призводять до недопустимих втрат оптичного потоку і неможливості ефективно застосовувати таку модель.

Тому, необхідним є використання вискоелективних узгоджувачих елементів, якими можуть бути системи на базі лінз Френеля (збиральні плоскі лінзи), або технологію плавних волоконних переходів. Крім того, до таких лінз повинні пред'являтися високі вимоги по забезпеченню високого світлопропускання. Це може бути реалізовано шляхом нанесення просвітлюючих покриттів, які зменшують втрати на розсіювання випромінювання.

Відомо, що просторове перетворення (звужування) гаусових пучків, якими є пучки лазерних та квазімонохроматичних джерел випромінювання, можна здійснити за допомогою лінзи з фокусною відстанню f , розміщеної на відповідних відстанях перетяжки вхідного та вихідного світлових пучків.

Встановлені на передавальному та фотоприймальному трактах ВОІЕК узгоджувачі лінзи Френеля, за умови, що $f > f_0 = k\omega_1\omega_2/2$, можна забезпечити узгодження гаусових пучків (із радіусами перетяжок ω_1 і ω_2) енергетичних оптичних потоків на вході, а також і виході ВОІЕК. Причому, перетяжки цих пучків повинні знаходитись на відстанях z_1 і z_2 від узгоджувачої лінзи. Відстані z_1 і z_2 є основними параметрами і визначають якість введення випромінювання в оптоволокно. Дані відстані визначаються за відомими формулами із геометричної оптики:

$$\begin{aligned} z_1 &= f \pm \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) (f^2 - f_0^2)^{1/2}; \\ z_2 &= f \pm \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) (f^2 - f_0^2)^{1/2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Для забезпечення рівності (13) знаки після перших доданків повинні бути або обидва позитивні, або обидва негативні. Для максимального збудження основної LP_{01} -моди багатомодового оптичного волокна, яка переносить максимальну частину енергії у вигляді оптичного випромінювання, необхідно щоб при трансформації лінзою світлового пучка з перетяжкою ω_1 у пучок з перетяжкою ω_2 , ця перетяжка по лінійним розмірам відповідала радіусу основної моди LP_{01} .

При використанні спектротрансформатора та сонячних батарей потрібно отримувати максимальну потужність із площі фотоактивної поверхні. Ця мета може бути досягнута збільшенням щільності світлового потоку на фотоелектричні перетворювачі. Одним із засобів, вживаних для вирішення даного завдання, є концентратор світлового потоку, що встановлюється на панель спектротрансформатора, або сонячної панелі (рис. 8).

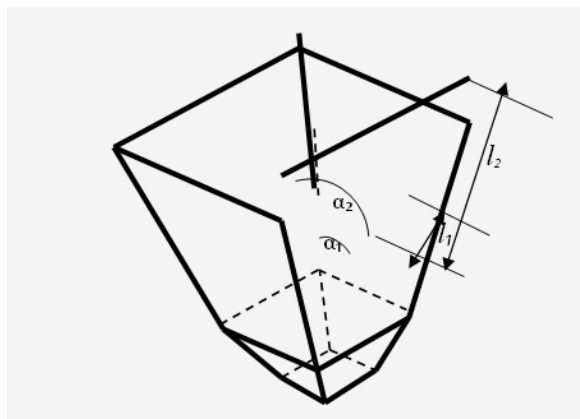


Рис. 8. Концентратор світлового потоку

На спектротрансформатор та кожен одиничний сонячний елемент панелі встановлюється концентратор, що складається з двох порожнистих усічених пірамід, які встановлені одна на одну, менша основа нижньої піраміди є одиничним сонячним елементом, а більша основа нижньої піраміди є меншою основою верхньої піраміди. При цьому відзеркалювальні поверхні граней 2 нижньої піраміди утворюють з площиною одиничного сонячного елемента кут $90^\circ < \alpha_1 < 135^\circ$. Відзеркалювальні поверхні граней 3 верхніх пірамід утворюють з площиною одиничного сонячного елемента кут $90^\circ < \alpha_1 < \alpha_2$.

При такій конструкції концентратора потоки сонячного світла, відображені від граней верхньої і нижньої піраміди, падають на одиничний сонячний елемент.

Для того, щоб забезпечити рівномірність освітлення одиничного активного елемента спектротрансформатора, необхідно дотримувати наступне співвідношення між довжинами бічних ребер і кутами, освітеними відзеркалювальними поверхнями граней пірамід і площиною одиничного сонячного елемента:

$$l_1 = b \times [\cos(2\alpha^1) / \cos(\alpha^1)], \quad (14)$$

де l_1 – довжина бокових ребер нижньої піраміди; b – сторона поглинаючої поверхні.

$$l_2 = -b \times [\sin(\alpha^1) / \sin(\alpha^1 - \alpha^2)], \quad (15)$$

де l_2 – довжина бокових ребер верхньої частини піраміди.

Як показують розрахунки, починаючи із висоти, рівної приблизно двом довжинам сторони одиничного активного елемента спектротрансформатора, коефіцієнт концентрації світлового потоку при використанні запропонованої конструкції перевищує аналогічний коефіцієнт при використанні конструкції прототипу. Це дозволяє приблизно в тій же пропорції підвищити вихідну потужність спектротрансформатора.

Використання такої конструкції концентратора (рис. 8) дозволяє зменшити необхідну площу поглинаючої поверхні при еквівалентній вихідній оптичній потужності.

ВИСНОВКИ

В статті запропоновано підхід об'єднання оптико-електронних технологій спектральної трансформації довжин хвиль сонячного випромінювання і волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів в геоінформаційно-енергетичних мережах з метою розширення їх функціональних можливостей та забезпечення функцій енергозбереження та оптимального розподілу енергетичних потоків. Розглянуті питання та синтезовані структури і математичні формули для об'єднання оптичних

систем моделі спектротрансформатора із волоконно-оптичним середовищем передачі енергії ВОІЕІК.

Визначені оптимальні значення параметрів системи об'єднання з метою забезпечення мінімальних втрат оптичної потужності при передачі світлового потоку з спектротрансформатора сонячного випромінювання у волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні канали.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітнянськими і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань / В. П. Кожем'яко, О. Г. Домбровський, І. Д. Івасюк, О. В. Шевченко, С. В. Дусанюк, С. С. Білан, А. В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1(9). – С. 5-11.
2. Маліновський В.І. Технології оптичного інформаційного та енергетичного обміну в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах / В.І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – №2(16). – С. 207-222.
3. Кожем'яко В.П. Структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №2. – С. 42-44.
4. Спосіб побудови та методика створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль / В.П. Кожем'яко, О.В. Шевченко, Р. Л. Кобзаренко, Я.І. Ярославський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №1(13). – С. 162-168.
5. Кожем'яко В.П. Моделі волоконно-оптичних інтерфейс-каналів геоінформаційно - енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – №1(17). – С. 197-214.
6. Пат. України (UA) на винахід № 30602, МПК F24J 2/06. Пристрій уніфікованої трансформації довжин хвиль / Кожем'яко В.П.; Лисенко Г.Л.; Шевченко О.В.; Ларюшкін Є. П.; Кожем'яко А.В. – заявл. 02.03.2007, опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5, 2008р – заявник і власник патенту ПП «Квантрон». – 4с.
7. Кожем'яко В.П. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. // Вісник ВПІ. - 2008. - №1 - С.95-101.
8. Снайдер А. Теория оптических волноводов ; [пер. с англ. под ред. Е.М. Дианова, В.В. Шевченко] / А. Снайдер, Дж. Лав. – М.: Радио и связь, 1987. – 655с.

Надійшла до редакції 22.12.2012р.

КОЖЕМ'ЯКО В. П. – академік АІНУ, д.т.н., професор, завідуючий кафедрою лазерної і оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

МАЛІНОВСЬКИЙ В. І. – к.т.н., науковий співробітник, асистент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ЯРОСЛАВСЬКИЙ Я. І. – начальник обласного управління Державного земельного кадастру, пошукач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

МОРОЗ В. В. – пошукач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ШТЕЛЬМАХ О.О. – аспірант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.