

УДК 681.3.021

**В. П. Кожем'яко**, д-р. техн. наук, проф.;**В. І. Маліновський**, канд. техн. наук;**М. Г. Тарновський**, канд. техн. наук;**Я. І. Ярославський**

## **АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ**

*Проаналізовано сучасні технології та фактори впливу на інформаційну стабільність комп'ютерних інформаційних мереж (ІМ) та розподілених геоінформаційно-енергетичних мереж (ГЕМ). Запропоновано підхід підвищення їх інформаційної стабільності, який базується на використанні розподілених світлових сонячних джерел електроенергії в інформаційних мережах. Проведено порівняльний аналіз технологій геоінформаційно-енергетичних мереж, на основі якого встановлено основні їх недоліки та визначено оптимальні шляхи підвищення інформаційної стабільності.*

### **Вступ і постановка проблеми**

В останні роки значний розвиток швидкодіючих апаратних обчислювальних засобів та інформаційного програмного забезпечення зумовив утворення складної розподіленої ієрархічної структури комп'ютерних мереж оброблення та передавання інформації. Сфера застосування сучасних мереж постійно розширюється, охоплюючи області від локального оброблення і моніторингу інформаційних параметрів на локальних мобільних платформах до використання магістральних мережевих платформ для оброблення і передавання в глобальній мережі Internet. Також часто використовуються вузькоспеціалізовані інформаційні мережі (ІМ) моніторингу, контролю та передавання просторово-пов'язаних даних (геоінформації), які орієнтовані на функціонування в рознесеному геопросторі [1]. Разом з цим значно актуалізувались проблеми підвищення стабільності і надійності функціонування розподілених комп'ютерних мереж та збереження цілісності та конфіденційності особливо важливих даних. Це особливо актуально для магістральних сегментів розподілених інформаційних мереж та закритих корпоративних мереж. Програмні засоби організації обчислень та передавання даних, таких як GRID-технології [2], віртуальні корпоративні канали VPN (Virtual Point Network) [2] не завжди дозволяють вирішити цю проблему на принципово якісному рівні, оскільки вони використовують цю ж саму, не завжди досконалу, фізичну архітектуру традиційних каналів передавання вже наявних мереж.

Відомі способи підвищення стабільності, такі як використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ), резервного копіювання і зберігання даних та резервування каналів часто не задовольняють високі технічні вимоги до стабільності оперування з даними в сучасних інформаційних системах. Тому для підвищення стабільності функціонування інформаційних мереж необхідно застосовувати нові підходи, орієнтовані в першу чергу на забезпечення високої інформаційної стабільності інформаційних мереж на апаратному рівні.

*Метою статті є порівняльний аналіз технологій інформаційно-енергетичних мереж, а також визначення оптимального шляху підвищення стабільності функціонування інформаційних мереж на апаратному рівні.*

### **Сучасні комп'ютерні інформаційні мережі на базі ВОЛЗ та методи підвищення стабільності їх функціонування**

У загальному випадку комп'ютерна інформаційна мережа є сукупністю апаратно-програмних засобів і обчислювальних станцій та допоміжного комутувального, передавального, ретрансляційного обладнання, яке зв'язане між собою каналами передавання інформації. Як відомо [3], всі ІМ виконують дві основні важливі інформаційні функції: 1) колективний доступ та оброблення інформації за допомогою внутрішніх обчислювальних структур; 2) передавання інформації між обчислювальною структурою, вузлами та іншими компонентами мережі. Всі існуючі ІМ ґрунтуються на цих основних операціях.

Сучасні комп'ютерні інформаційні мережі значно розвинулись в останні роки і мають високу продуктивність та пропускну здатність каналів, оскільки обсяги потоків інформації також суттєво зросли в останні роки. Розвиток ІМ пройшов шлях, починаючи з 80-х років ХХ ст., від перших радіорелейних і каналних зв'язаних пристроїв передавання даних із пропускну здатністю в  $0,5 \dots 1$  КБіт/с та продуктивністю  $1,5 \cdot 10^3$  Flops [2, 3], до найсучасніших комунікаційних мереж та мультисервісних станцій на базі ВОЛЗ, пропускну здатність в яких складає  $120 \dots 200$  Гбіт/с на канал [4, 5], а продуктивність —  $2 \cdot 10^{12} \dots 10^{18}$  Flops [6], що зумовлено високими значеннями оптичних частот (до  $2 \cdot 10^{14}$  Гц) та активним використанням методів розпаралелювання обчислювального процесу та інформаційних потоків.

Останні розробки в області геоінформаційних (ГІС) технологій привели до появи геоінформаційно-енергетичних мереж (ГІЕМ) [7, 8], в яких основні обчислювальні ресурси поєднані із іншими, окрім інформаційної, ще й за енергетичною складовою. Основними елементами, з яких складається ГІЕМ, є станція енергозабезпечення, мережеві комутатори, головний сервер в складі центру керування та кінцеві користувачі і пристрої. Це дозволяє реалізовувати інформаційно-енергетичну підтримку всіх апаратних складових і дає можливість інтерактивного керування, комутації та перенаправлення інформаційних та енергетичних потоків між всіма блоками і вузлами, які входять до складу мережі.

Всі сучасні інформаційні мережі та їх розподілені ресурси побудовані на базі однієї або декількох можливих стандартних варіантів мережевої топології, що визначають технічні показники стабільності. Такими варіантами топології є: деревовидна топологія; шиноподібна топологія; зіркоподібна топологія; топологія типу «кільце»; топологія типу «куб» або «гратка»; змішана топологія.

Всі наведені топології, або схеми організації ІМ, достатньо широко використовуються в сучасній інформаційній інфраструктурі побудови локальних LAN, регіональних MAN і глобальних WAN мереж. Питання організації і топологічні особливості побудови ГІЕМ повністю подібні до ІМ, а тому є достатньо дослідженими та описаними в більшості праць закордонних та вітчизняних авторів [2, 4, 5]. Слід враховувати, що кожен тип топології має свої переваги і недоліки, а, відповідно, й обмеження щодо використання для побудови інформаційних інфраструктур. Не існує універсальної топології, яка б поєднувала переваги усіх інших, але є деякі типи, які з точки зору забезпечення інформаційної стабільності ІМ мають дещо кращі особливості та перспективи використання це шиноподібна, кільцева та змішана топології. Такі топології дозволяють організовувати мережі із вищою інформаційною стабільністю, завдяки використанню резервування та надлишковості каналів передавання.

Теоретично не існує принципів обмежень на створення мереж із довільною архітектурою на основі наведених типів топології. Але з точки зору енергетичного забезпечення та напряму і ієрархії розповсюдження енергії в енергопровідниках в ГІЕМ раціональнішими є розгалужені топології: деревовидна, шиноподібна, зіркоподібна або змішана.

Практично всі існуючі топології сучасних волоконно-оптичних інформаційних мереж та геоінформаційно-енергетичних мереж на їх основі активно використовуються для побудови складної мережевої ієрархії інформаційних комунікацій сучасного інформаційного простору та глобальної мережі Internet. У більшості випадків використання топології підвищеної стабільності передачі інформації можна розглядати як метод підвищення інформаційної надійності мереж у їх критичних місцях. Але, разом з тим, такий підхід не дозволяє повною мірою вирішити завдання ефективного підвищення стабільності роботи мережі та оброблення і передавання інформаційних потоків. Крім цього, основними факторами, які впливають на інформаційну стабільність у ІМ, є:

- нестабільність роботи та збої програмного забезпечення;
- нестабільність та вихід з ладу апаратного устаткування та втрати інформації в результаті передавання каналами зв'язку;
- тимчасові перебої в роботі за рахунок перевантаженості запитів і інформаційних потоків в мережах;
- збої та втрата функціональності інформаційних мереж за рахунок перебоїв та відсутності енергетичного живлення апаратних блоків і пристроїв.

Також додатковими проблемами сучасних інформаційних мережах є: збільшення пропускну здатності; збільшення кількості абонентів (масштабованості) мережі; забезпечення надійності роботи системного обладнання мережі. Шляхами до вирішення зазначених проблем виробниками комунікаційного і обчислювального устаткування є:

- використання оптичних технологій збільшення пропускну здатності мереж (мультиплексування WDM та TDM, збільшення числа магістральних каналів);
- оптимізація топології і архітектури мереж;

- організація резервованих каналів передачі;
- забезпечення надійного енергетичного живлення активних компонентів ІМ.

Перераховані основні фактори (рис. 1) суттєво впливають на інформаційну безпеку і якісні показники мереж та описуються і відслідковуються системою забезпечення якості обслуговування QoS (Quality of Services) [3, 4] в інформаційних мережах.

Якщо розглянути динаміку і статистичні дані відсотка збоїв (близько 80 %), то можна зробити висновок, що більшість збоїв зумовлено саме через нестабільність функціонування програмного забезпечення та перебої та відсутності енергетичного живлення апаратних блоків і пристроїв (рис. 1в). Іншим вагомим фактором втрати функціональності ІМ є помилки та перебої в роботі програмного забезпечення (близько 60 %).

Якщо роботу програмного забезпечення можна якісно змінити на програмному рівні без зміни топології мережі та, відповідно, без використання значних ресурсів та капіталовкладень, то перебої та перевантаженість мережі неможливо змінити на якісному рівні без суттєвої зміни архітектури та апаратного складу інформаційних мереж. Використання апаратури безперебійного живлення не завжди дозволяє протягом тривалого часу забезпечувати стабільну роботу ІМ що зумовлює залежність від зовнішніх енергетичних джерел.

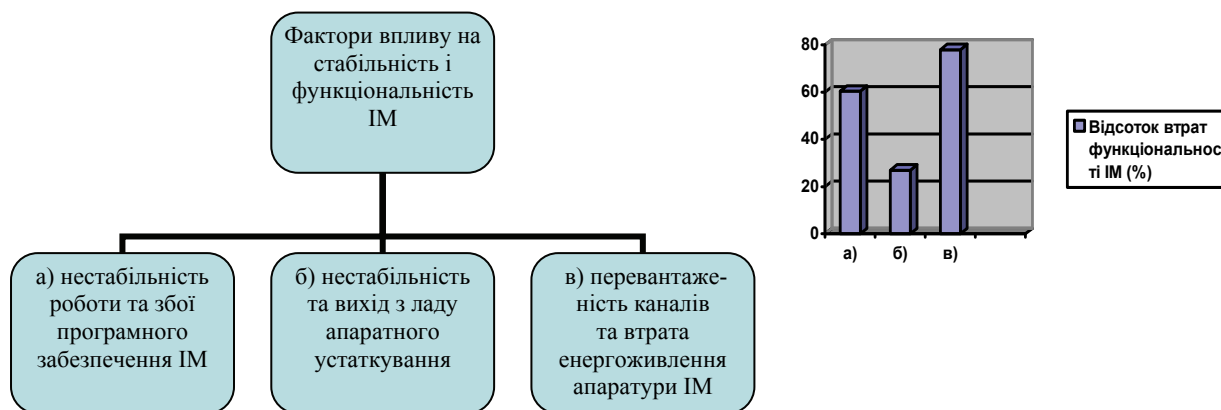


Рис. 1. Основні фактори впливу на інформаційну стабільність у ІМ

Аналіз та моніторинг збоїв програмного забезпечення проведено в роботі [9], де основними та дієвими підходами виявлення збоїв в ІМ та зокрема IP-мереж були: аналіз трендів в IP-мережах та безперервний аналіз спектра трафіку на базі Фур'є-алгоритмів [9]:

$$\sum_{i=1}^n A_i \cos(w_i t_i) + B_i \sin(w_i t_i); A_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n u_t \cos(w_i t); B_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n u_t \sin(w_i t);$$

$$\omega_i = 2\pi \frac{i}{N}. \quad (1)$$

де  $n = N/2$  ( $N$  — кількість точок ряду в спектрі трафіку).

На наступному кроці отриманий спектр трафіку мережі із гармонік (1) аналізується за критерієм Фішера [9]:

$$\frac{l(\omega_i)/v_1}{\sigma^2/v_2} > F(0,05, v_1, v_2);$$

$$l(\omega_i) = A_i^2 + B_i^2, \quad (2)$$

де  $\sigma^2$  — оцінка дисперсії ряду;  $v_1$  та  $v_2$  кількість ступенів свободи 2 і  $N$ .

Отримані таким чином гармоніки покривають, як зазначається в [9], до 95 % ряду і зберігаються якийсь час в мережі як спектральна характеристика нормального режиму функціонування ІМ. Якщо в процесі порівняння з еталоном спектр нормального режиму функціонування ІМ відхиляється від нормального більше ніж  $\sqrt{3}\sigma$ , де  $\sigma$  — дисперсія еталонового ряду, то згідно з даними отриманими в [9], в інформаційній мережі фіксується помилка та збій в роботі. А відповідні координати вузлів, де стався збій або помилка, визначаються іншими програмними шляхами і методами.

Слід зазначити, що такий метод є досить ефективним для моніторингу основних інформаційних параметрів інформаційних мереж та визначення їх нормальних значень. Він дає змогу спеціальному програмному забезпеченню працювати на 6 із 7 (окрім фізичного) рівнів моделі організації відкритих систем OSI [4]. Але вагомим недоліком цього методу є неможливість діагностики і забезпечення стабільності апаратних збоїв третьої групи (рис. 1в), які пов'язані із перебоями енергетичного живлення ІМ. Похибки і збої такого роду описуються частковими випадками теорії надійності та виникнення похибок.

При цьому основною характеристикою надійності інформаційних процесів в ІМ береться функція ймовірності стабільної роботи  $p_{cIM}(t)$  від середнього часу стабільної функціонування  $t_{СТАБ.ср}$ . Ключовим параметром, який описує стабільність за теорією ймовірності, є інтенсивність відмов в системі  $\lambda_c$ . Вхідними даними для визначення параметрів стабільності є кількість вузлів та кінцевих пристроїв в мережі, які мають індивідуальні показники стабільності.

Якщо мережа має  $N$  блоків, кожен з яких має  $n_i$  вузлів з відповідними зв'язками з кінцевими пристроями з інтенсивністю відмов  $\lambda_j$ , то у такому випадку функція ймовірності стабільної роботи мережі  $p_{cIM}(t)$  визначається відношенням [10, 11]

$$p_{cIM}(t) = \prod_{i=1}^N r_i(t) = \prod_{i=1}^N \exp(-\lambda_i t), \quad (3)$$

де  $r_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$  — ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го блока.

Із застосуванням рівності зв'язків для центральних вузлів та відповідних пристроїв в мережі формула (3) може бути перетворена у вираз

$$r_{cIM}(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i t\right), \quad (4)$$

де  $\lambda_i$  — інтенсивність відмов в  $i$ -му вузлі.

Сама ж інтенсивність відмов одиничних вузлів ІМ визначається як добуток [10, 12]:  $\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot n$ , у якому  $\lambda_{0i}$  — номінальна інтенсивність відмов апаратури вузлів;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  — поправкові коефіцієнти в залежності від впливу механічних факторів навколишніх умов та температури;  $K_5$  — коефіцієнт якості енергозабезпечення;  $n$  — загальна кількість апаратних вузлів.

Інформаційна мережа за визначенням [3] залишається функціональною, якщо хоча б один з центральних (ключових) сегментів з каналом зв'язку між двома вузлами залишається працездатним. Для ІМ з централізованим управлінням (мережі з центральним сервером) це правило визначається умовами, коли працездатним залишається хоча б одна ланка сервер—вузол. Якщо припустити, що дві інформаційні мережі працюють протягом однакового часу (тобто  $t_1 = t_2$ ) без зміни зовнішніх умов та в однакових факторах, а ймовірності відмов їх вузлів знаходяться в однакових межах, то комплексна характеристика стабільної роботи буде прямо залежати від кількості вузлів  $N$  в цих мережах. Тобто, чим більше вузлів в ІМ з відносно однаковими показниками відмов, тим вищою є характеристика ймовірності відмов функціональності ІМ (рис. 2).

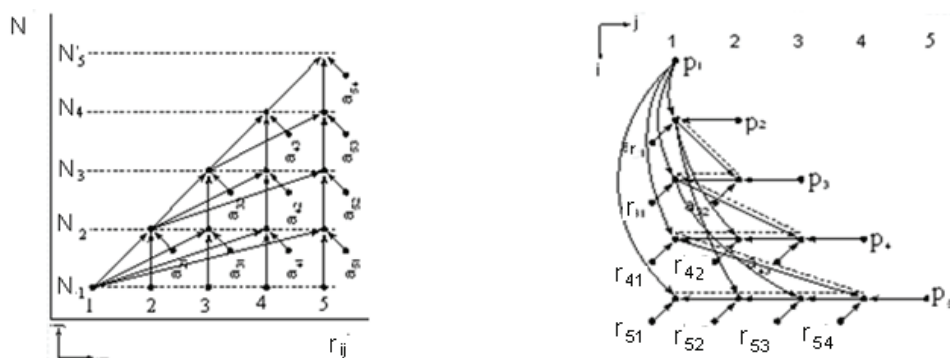


Рис. 2. Залежність характеристики стабільності функціонування ІМ  $p_{cIM}(t)$  від кількості вузлів  $N$  та ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го блока  $r_i(t)$

Стабільність роботи мережі може бути оцінена середнім показником ймовірності відмов  $p_{\text{сІМ}}$  та часом відсутності функціональності  $T_s$   $i$ -го вузла мережі. Відповідно, чим менший цей час, тим більша стабільність  $p_{\text{сІМ}} \approx \frac{1}{T}$ . В інформаційних мережах із централізованим управлінням, де основними ланками є канали передавання з вузлів на головний сервер, середній час відсутності функціональності  $T_s$  вузла інформаційної мережі  $c_i$  визначається ймовірністю виникнення відмови в самому вузлі  $p_i$  через відношення

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^N c_i} = \sum p_i \cdot c_i / N, \quad (5)$$

де  $N$  — загальна кількість вузлів  $c_i$  у мережі ( $i = 1 \dots N$ ).

Формула (5) показує, що середній час відсутності функціональності  $T_s$  обернено пропорційно залежить від загальної кількості вузлів у мережі  $N$ . Чим більша кількість вузлів, тим меншу стабільність буде мати мережа з централізованим управлінням. Очевидно також, що  $T_s$  буде залежати від ймовірностей виникнення відмови в самому вузлі  $p_i$ , а не від їх кількості.

Теорія надійності і стабільності ІМ в більшості загальних випадків описується марківськими процесами [10], але для деталізації причин відмов необхідно використовувати точніші математичні моделі, які описують ту чи іншу інформаційну мережу в залежності від конкретного виду топології та всієї кон'юнктури інформаційних взаємозв'язків між вузлами та пристроями. У разі збільшення кількості каналів передавання даних, що пропорційне збільшенню вузлів ІМ, характеристика стабільної роботи всієї мережі буде обернено пропорційно змінюватись, а інтенсивність потенційних відмов вузлів зростатиме зі збільшенням кількості каналів.

Останнє також свідчить про необхідність пошуку нових або вдосконалення існуючих методів підвищення стабільності передавання інформації в самих каналах передавання та зменшення коефіцієнта виникнення помилки *BER* (Bit Error Ratio). Слід відмітити, що традиційні методи підвищення інформаційної стабільності, зокрема резервування інформаційних структур ІМ, призводить до додаткового нагромадження апаратури за рахунок введення надлишковості як на апаратному, так і на програмному рівнях.

Але разом з тим такий підхід не дозволяє повною мірою вирішити завдання ефективного підвищення стабільності роботи мережі та оброблення і передавання інформаційних потоків. Для вирішення цього завдання необхідним є введення додаткових джерел енергетичного живлення і універсальних пристроїв тривалого автономного енергозабезпечення в існуючу ієрархію інформаційних мереж на базі традиційних топології організації мережі.

Під час побудови геоінформаційно-енергетичних мереж із високою стабільністю функціонування виникають додаткові економічні витрати на виготовлення і використання спеціалізованих інформаційно-енергетичних кабелів. Серед базових технічних проблем організації ГЕМ, окрім проблеми підвищення стабільності роботи, можна також виділити:

1) додаткове нагромадження апаратних засобів; 2) проблема змішаного типу з'єднання (волоконного та електричного); 3) поєднання інформаційного та енергетичного устаткування в єдині блоки геоінформаційно-енергетичних мереж; 4) високу вартість устаткування волоконно-оптичних ліній, блоків і засобів відеоспостереження, систем моніторингу на базі розподілених сенсорів та систем автономного забезпечення (в тому числі і автономних фотоелектричних станцій і блоків безперебійного живлення та оптоелектронного обладнання).

Проблема нагромадження апаратних засобів та поєднання інформаційного та енергетичного середовищ може бути вирішена через розробку і застосування компактних блоків приймальних, передавальних та ретранслявальних станцій. Для проміжних вузлів інформаційних мереж (регенератори, шлюзи, концентратори, мости, маршрутизатори, оптичні підсилювачі, активні комутатори) необхідно передбачити можливість безперебійного живлення від альтернативних джерел енергії або від резервних енергетичних каналів геоінформаційно-енергетичної мережі.

Тому необхідні нові підходи та методи підвищення стабільності і пропускну здатності каналів в сегментах інформаційних мереж із застосуванням додаткових розподілених джерел автономного живлення останніх. Перспективним шляхом в цьому напрямі може стати використання

альтернативних джерел світлової енергії від сонячного випромінювання, що відповідає сучасним світовим перспективним тенденціям застосування енергоефективних інформаційних технологій на фотоелектричних системах. Для побудови високоефективної моделі ГЕМ необхідно створювати окремі виділені середовища передавання інформації із власною структурою енергетичного живлення на базі альтернативних джерел. Оптимальним є використання розподілених альтернативних джерел на базі симбіозу технологій спектротрансформатора [13, 14] та фотоелектричної концентраторної фотовольтаїки (CPV) та висококонцентраторної фотовольтаїки (HCPV), які мають найвищий на сьогодні практично досяжний ККД  $\sim 44...45\%$  [14] перетворення сонячного випромінювання в електроенергію. Окремий сегмент ІМ на базі запропонованого способу розподіленого фотоелектричного автономного живлення із джерелом на базі концентраторного фотоелемента показано на рис. 3.

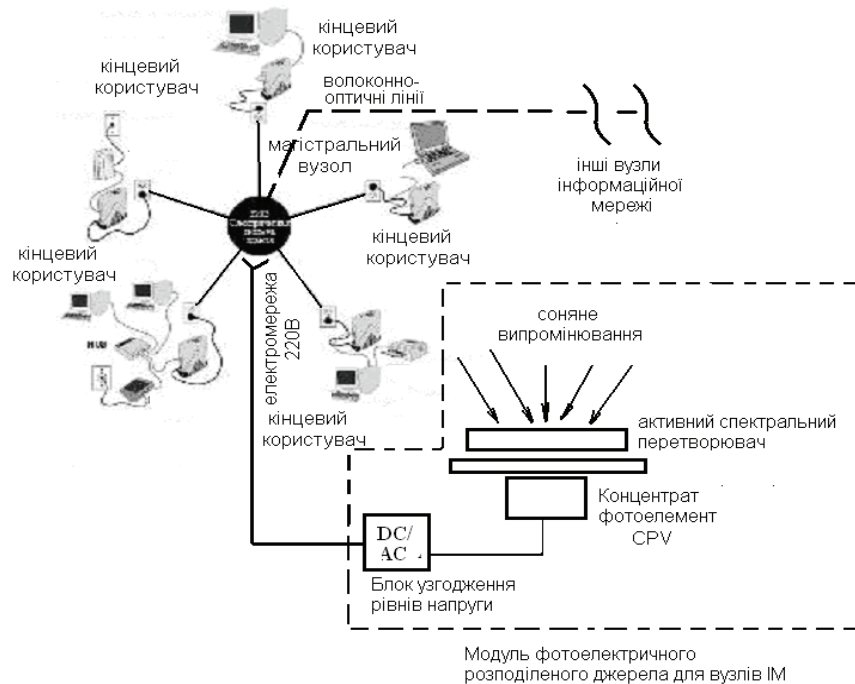


Рис. 3. Структура одиничного вузла ІМ із живленням на базі модуля розподіленого джерела енергії від сонячного випромінювання

Сьогодні ефективним і швидкодіючим способом передачі інформації є саме передавання сигналів по волоконно-оптичних середовищах. Основним і оптимальним природнім джерелом енергії на Землі є сонячне світлове випромінювання з подальшою трансформацією у інші види енергії та забезпеченням більшості біологічних, теплових і хімічних процесів в геосфері. Повний потенціал світла і його переваги як носія інформаційних даних та енергетичного живлення можуть ефективно використовуватись у комп'ютерних ІМ.

Симбіоз оптико-електронних технологій фотоелектричного перетворення сонячної енергії (на базі спектральних перетворювачів та сонячних фотоелектричних батарей) та волоконно-оптичних каналів, що розглянуто авторами в [15], дозволить створити модель високостабільних швидкісних оптико-електронних інформаційно-енергетичних мереж для задач моніторингу і передавання геоінформації з високими показниками стабільності та символічної швидкості передачі інформаційних потоків та розширеними функціональними можливостями, яка буде повністю автономною в енергетичному аспекті, а й, відповідно, більш стабільною в процесі роботи із даними високого ступеня важливості і конфіденційності.

Кінцеві пристрої перетворення та постачання енергії від сонячного випромінювання на базі технології спектротрансформатора і концентраторної фотовольтаїки дозволять розв'язати ці задачі та в поєднанні із технологією волоконно-оптичних каналів побудувати модель універсальної високостабільної геоінформаційно-енергетичної мережі. Причому, така модель ГЕМ із розподіленими джерелами живлення могла б ефективно та достатньо швидко масштабуватись на рівні конкретного регіону, області або країни шляхом нарощування відповідних сегментів і апаратних вузлів за допомогою з'єднання швидкісними волоконно-оптичними каналами.

## Висновки

В роботі проаналізовано сучасні технології та шляхи підвищення інформаційної стабільності функціонування сучасних інформаційних мереж. Визначено, що більша частина збоїв та інформаційної функціональності в сучасних ІМ викликана перебоями в електроенергетичному живленні, що обумовлює необхідність використання інформаційно-енергетичної структури з розподіленими автономними джерелами під час побудови сучасних мереж із вищою інформаційною стабільністю на енергетичній основі — геоінформаційно-енергетичних мереж.

Для вирішення завдання підвищення інформаційної стабільності сучасних мереж встановлено, що у їх кінцевих і проміжних сегментах повинно бути реалізовано автономне живлення на базі альтернативних джерел енергії — сонячних концентраторних фотоелектричних джерел (CPV) — у поєднанні із технологією спектральної трансформації довжин хвиль. Це дозволить підвищити енергетичну автономність, яка є критерієм і гарантією високої інформаційної стабільності мереж.

Закладені передумови створення нової моделі інформаційних мереж з автономним енергетичним живленням, які базуються на розподілених альтернативних фотоелектричних джерелах енергії та мають вищу інформаційну стабільність на апаратному рівні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації / [В. П. Кожем'яко, С. С. Білан, О. В. Кожем'яко, А. В. Кожем'яко] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2004. — № 2 (8). — С. 5—10. — ISSN 1681-7893.
2. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб : изд-во «Питер», 1999. — 672 с.
3. Антонов В. М. Сучасні комп'ютерні мережі / В. М. Антонов. — Київ : МК-Прес, 2005. — 478 с.
4. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети / Р. Р. Убайдуллаев. — М. : Эко-Тренз, 1998. — 268 с. — ISBN 5-88405-023-2.
5. Куссуль Н. Н. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии / Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестов. — К. : Наукова думка, 2008. — 452 с.
6. Круцкевич Н. Принципи паралелізму при побудові багаторівневих розподілених комп'ютерних мереж / Н. Круцкевич // Вісник національного університету «Львівська політехніка». — 2003. — № 477. — С. 185—191. — ISSN: 0321-0499.
7. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації / [В. П. Кожем'яко, С. С. Білан, О. В. Кожем'яко, А. В. Кожем'яко] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2004. — № 2 (8). — С. 5—10. — ISSN 1681-7893.
8. Кожем'яко В. П. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Малиновський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 1. — С. 95—101.
9. Скуратов А. К. Администрирование телекоммуникационной сети на основе статистического анализа трафика / А. К. Скуратов, Д. С. Безрукавный // Вестник Таганрогского государственного университета. — 2004. — Т. 10. — С. 919—923.
10. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. — М. : Наука, 1984. — 328 с.
11. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. — СПб. : изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. — 278 с.
12. Мелкумян В. Г. Основи теорії надійності / В. Г. Мелкумян, А. А. Семенов. — К. : КМУЦА, 1998. — 84 с.
13. Кожем'яко В. П. Спосіб побудови та методика створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль / В. П. Кожем'яко, О. В. Шевченко, Я. І. Ярославський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — № 2 (12). — 2007. — С. 78—86.
14. Kurtz S. Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry: [Електронний ресурс] / Kurtz S. // Materials of USA National Laboratory of Renewable Energy (USA). — P. 5 (PDF: p. 8). — Retrieved 08 February 2012. — Режим доступу : <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/43208.pdf>.
15. Локальні геоінформаційно-енергетичні мережі на новітніх волоконно-оптичних лініях із спектротрансформаторним живленням / [В. П. Кожем'яко, В. І. Малиновський, Я. І. Ярославський, В. В. Мороз] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — № 2 (24). — 2012 р. — С. 137—146.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптоелектронної техніки

Стаття надійшла до редакції 14.11.2013

Рекомендована до друку 25.11.2013

**Кожем'яко Володимир Прокопович** — завідувач кафедри, **Малиновський Вадим Ігоревич** — старший викладач, **Тарновський Микола Геннадійович** — доцент, **Ярославський Ярослав Іванович** — здобувач.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця