

УДК.683.3

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, В.І. МАЛНОВСЬКИЙ

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна,
E-mail: kvp@vstu.vinnica.ua*

Анотація. Розглянуті відомі на сьогоднішній день технології і розробки в області інформаційно-енергетичних мереж і систем, також визначені шляхи їх подальшого розвитку і вдосконалення.

Аннотация. Рассмотрены известные на сегодняшний день технологии и разработки в области информационно-энергетических сетей и систем, также определены пути их дальнейшего развития и усовершенствования.

Abstract. Known for today technology and developments in the field of information-power networks and system was considered, and also was determined the ways of their further developments and improvements.

Ключеві слова: геоінформаційно-енергетична мережа (ГЕМ), оптичне волокно, бінарний провідник, сервіс, інформаційно-енергетичний канал, геоінформаційно-енергетична система (ГЕС).

ВСТУП

Сучасний стан області інформаційних технологій характеризується значним розвитком інформаційних апаратних і програмних засобів, накопиченням в базі знань людства величезних обсягів інформації різного типу. Вершиною розвитку інформаційних технологій стали геоінформаційні системи (ГІС) і мережі і системи, які передбачають високорівневу обробку інформації, її передачу, а також інтелектуальне управління конкретно визначеними ресурсами. Сучасні геоінформаційні системи вміщують в себе велику кількість об'єднаних і просторово розміщених підсистем, кожна з яких орієнтована на виконання конкретних функцій, включаючи збір даних в реальному часі, їх передачу на центр обробки, власне саму обробку і автоматичне чи автоматизоване прийняття рішень, передачу керуючих команд на органи управління. Подальший розвиток геоінформаційних систем призвів до розробок геоінформаційно-енергетичних мереж [1-3], які передбачають управління крім інформаційної складової, ще й енергетичною, тобто управління і оптимальний розподіл енергії живлення кінцевих вузлів цих систем, що забезпечує функції автономності від зовнішніх електроенергетичних мереж [2, 3], енергозбереження за рахунок керованого в часі потоку електроенергії.

Геоінформаційні системи і мережі (ГЕС, ГЕМ) – сучасні високо технологічні комплексні апаратні і програмні рішення, які передбачають аналіз, обробку, і прийняття рішення як у інформаційній, так і у енергетичній сферах, оптимальне управління і перерозподіл інформаційних і енергетичних просторово (географічно) рознесених ресурсів. Оптимальне управління, перерозподіл і прийняття рішень при цьому забезпечується інтелектуальними системами, розташованими у локальних центрах керування. Інформація і енергія при цьому розглядається у спільному інформаційно-енергетичному консенсусі [1].

Актуальність створення геоінформаційно-енергетичних систем і мереж також полягає у зменшенні числа окремих інформаційних і енергетичних комунікацій, за рахунок використання об'єднаних варіантів інформаційно-енергетичних каналів. Як зазначено в роботах [1, 3-5], в якості таких інформаційно-енергетичних передбачено використання бінарних провідників, що представляють собою інформаційно-несуче середовище на основі оптичного волокна у зовнішній металевій оболонці, яка призначена для передачі електроенергії(енергетично-несуче середовище). На жаль поки що переважна більшість розробок в області геоінформаційно-енергетичних систем [1-7] і мереж є суто теоретичними роботами і науковими дослідженнями, так як їх практична реалізація вимагає залучення значних матеріальних ресурсів

Тривалий час розробники і науковці розглядали інформацію і енергію як окремо існуючі субстанції [2], що обумовило розробку і практичну реалізацію переважного числа апаратного устаткування під окремо визначене коло задач, інформаційні систем – під інформаційні задачі, енергетичне обладнання – під енергетичні задачі і функції. Але останнім часом передові розробники апаратних систем роблять успішні спроби поєднання окремо існуючих інформаційних і енергетичних комунікацій.

МЕТА, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ СТАТТІ

Метою статті є проведення аналізу сучасного стану області геоінформаційно-енергетичних технологій, систематизація знань в даній області, визначення проблем і шляхів їх подолання у існуючих геоінформаційно-енергетичних мережах, а також пошук нових підходів для розробки новітніх інформаційно-енергетичних технологій. Об'єктом даного дослідження є аналіз сучасного рівня розвитку структурної та архітектурної організації відомих геоінформаційно-енергетичних мереж і систем. Предметом дослідження є їх технічні і експлуатаційні характеристики.

ІСНУЮЧІ РОЗРОБКИ В ОБЛАСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

Сучасні розробки в інформаційно-енергетичній області можна розділити на два основних класи:

а) каналні рішення – які передбачають використання окремих складових для спільної передачі інформації та енергії (наприклад, використання об'єднаного варіанту каналів передачі у високовольтних лініях електропередачі (ЛЕП)). У них передбачена лише спільна інформаційно-енергетична передача без управління і перерозподілу енергетичних ресурсів і не передбачено функцій інтелектуального управління;

б) мережеві рішення – в яких окрім функцій передачі передбачено інтелектуальне керування і перерозподіл як інформаційних так і енергетичних потоків, що власне і є геоінформаційно-енергетичними мережами і системами. Дані розробки представляють собою системи вищого рівня.

До першої групи можна віднести практично існуючі на сьогодні системи на основі стандартів HomePlug [10] та HomePNA [11, 12], системи передачі голосової інформації по каналах ліній електромереж змінного струму $\sim 220\text{В}$ [12], системи зв'язку на основі існуючих ліній ЛЕП [11], які були розроблені ще у 80-х роках 20ст.

HomePlug – стандарт, що передбачає передачу даних по електроенергетичних комунікаціях для побудови локальних мереж та для підключення до глобальної мережі Інтернет. Актуальність і перспективи створення даного стандарту визначіні світовим альянсом Power Line [11], виходячи з використання для підключення до глобальної інформаційної мережі вже наявних на той час розповсюджених енергетичних та телефонних ліній.

HomePNA – стандарт, що передбачає широкосмугову передачу даних та підключення до глобальної мережі Інтернет за принципом частотного розділення каналів FDM (Frequency Division Multiplexing) по існуючих телефонних лініях, також з метою спрощення способу підключення і меншення числа каналів.

Обидва стандарти [10-12] передбачають суттєву економію по створенню інформаційних мереж за рахунок відсутності потреби створення фізичного середовища передачі інформації. Основними обмежуючими показниками по впровадженню цих стандартів стали швидкість і дальність передачі інформації, яка залежить від рівня завад, що створюються змінним струмом електромережі $\sim 220\text{В}$ для HomePlug та рівнем завад голосового потоку в телефонних лініях для HomePNA. Так, для HomePlug версії 2.0 максимальна практична швидкість 200Мбіт/с при дальності до 350м, для HomePNA 2.0 максимальна швидкість 10Мбіт/с при відстані в 1 км. Графіки залежностей швидкостей передачі інформації від довжини ліній для приведений HomePlug і HomePNA приведені на рис. 1.

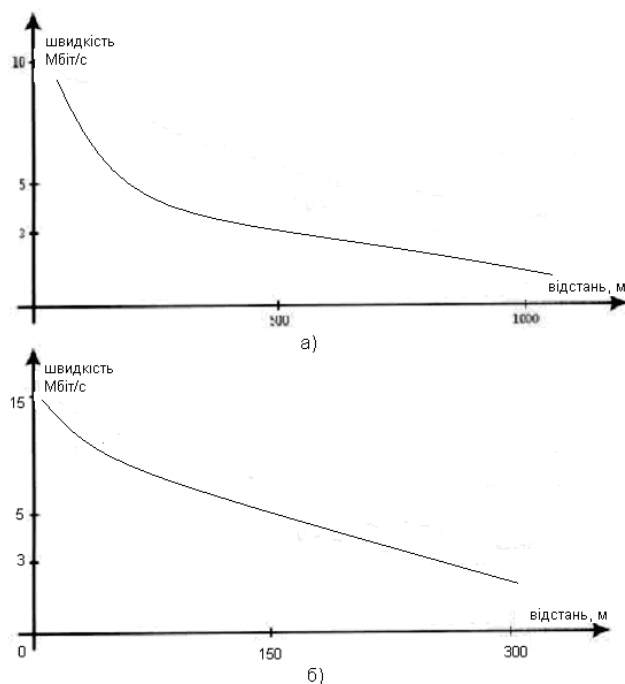


Рис.1. Залежність швидкості передачі даних від відстані:
а) для HomePNA 2.0, б) для HomePlug 2.0

Основою технології HomePlug є магістральний вузол мережі [12] (рис.2), який виконує функції мережевого комутатора і шлюза і встановлюється із розрахунку на одну зону обслуговування з N -кількістю користувачів.



Рис. 2. Магістральний вузол мереж HomePlug, та підключення до нього периферійних пристроїв кінцевих користувачів [12]

Основним кінцевим обладнанням вважається PLC (Power Line Communication)-модем, який реалізує інтерфейс для зв'язку з персональним комп'ютером ПК, через інтерфейси USB, або Ethernet. Таким чином, вхід модему підключається до побутової електромережі –220В, а вихід по відповідному

інтерфейсу до ПК.

Технологія HomePlug є першою технологією, у якій було застосовано принципи об'єднання окремо існуючих інформаційних комунікацій і мереж з поширеною електроенергетичною мережею.

Технологія HomePNA стала і являється найпоширенішою технологією для об'єднання кінцевих користувачів ПК в глобальну мережу, при забезпеченні мегабітного бар'єру на основі підтримки послуг xDSL, які зараз активно використовуються операторами зв'язку.

Серед основних переваг цих технологій можна відзначити: малу вартість впровадження, використання існуючих електроенергетичних і телефонних каналів. До недоліків можна віднести поки що малу швидкість передачі як у першому та другому поколіннях стандартів HomePNA та HomePlug.

Існуючу також технологія, на базі системи передачі телеметричних даних по лініям електропередачі (СПТД-ЛЭП) [13], яка розроблена компанією "Электронные системы" (Казахстан) [..], також можна віднести до області інформаційно-енергетичних систем каналного типу. Розроблена система здійснює передачу будь-якої телеметричної інформації по високовольтним (6-10 кВ) та низьковольтним (0,4 кВ) ЛЕП. Система складається з блоків контрольного пункту та пункту керування, кожний з яких підключається до електромережі, через яку здійснюється їх зв'язок. Як описано в [13] система може здійснювати передачу в межах 70-100 км по лініям електропередачі 6-10 кВ, причому всі блоки підключені зі сторони ЛЕП низької напруги 220 В або 380 В. Таким чином інформаційні сигнали проходять через всі узгоджуючі трансформаторні вузли ЛЕП, що знаходяться на даній лінії.

Розробка є актуальною в області контролю і моніторингу за віддаленими технологічними процесами, включаючи моніторинг і відображення телеметричних даних самої енергетичної мережі. До переваг такої системи слід віднести високу дальність зв'язку, до 70 км без регенерації (табл.1) та простоту процесу інтеграції у лінії електроенергетичних мереж. Основний недолік- низька швидкість передачі інформації (до 300 Кбіт/с).

Розглянуті варіанти інтеграції зв'язку у енергетичні канали електромереж (HomePlug, HomePNA, та система СПТД-ЛЭП), відносяться скоріше до частинних випадків створення інформаційно-енергетичних мереж ніж до геоінформаційно-енергетичних технологій, оскільки вони не можуть виконувати інтелектуальне управління інформаційно-енергетичними ресурсами та відповідати зростаючим об'ємам інформації, що передається на рівні мережених магістралей.

Другий клас інформаційно-енергетичних систем (мережеві рішення) базується на застосуванні мережених технологій, що відносяться до мереж зв'язку представляє собою складні просторово розміщені комплексні мережі зв'язку з інтелектуальними управлінням є складним класом мереж, на які крім інформаційних функцій покладені, ще й функції управління розподілом і керуванням енергетичними потоками. Системи, що відносяться до цього класу є у повній мірі геоінформаційно-енергетичними.

Але створені в цій області розробки [1-9] є зокрема теоретичними науковими роботами. Практична реалізація, як вже зазначалося потребує задіяння значних ресурсів. В даних роботах розроблені архітектурна і структурна організація ГІЕМ способи побудови та функціонування самих геоінформаційно-енергетичних мереж і систем, але й їх внутрішня організація включаючи способи і алгоритми ефективної і швидкісної обробки інформації. Була розроблена методологія організації мереж, що включає в себе об'єднання різного типу інформаційних сервісів, таких як відеоінформація, internet-сервіси, телеметрія, документообіг, ресурси дистанційного навчання, телефонні сервіси, біомедичну інформацію у єдину мережу, що дозволяє ефективно оперувати ними на різних типах ієрархій: міський, міжміський, регіональний [2], і навіть у деяких розробках [1,3] – світовий рівень. Крім всіх інформаційних ресурсів та створених на їх основі сервісів, дані системи включають в себе ще й забезпечення енергоживленням всіх своїх внутрішніх складових систем. Взаємозв'язок одиничних складових цих геоінформаційно-енергетичних систем у аспекті саме об'єданого інформаційно-енергетичного обміну реалізується за допомогою бінарного інформаційно-енергетичного провідника [1].

На даному етапі розвитку області геоінформаційно-енергетичного напрямку включає оптичну обробку і передачу інформації. Основними відомими розробками ГІЕМ та ГІЕС є такі:

1. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково-освітніми і бібліотечними ресурсами [1];
2. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система управління інфраструктурою регіону [2];
3. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення [6, 7];
4. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система керування транспортними потоками і освітленням транспортних магістралей [9].

Якщо розглядати відомі розробки в області геоінформаційно-енергетичних систем і мереж, то можна виділити основні їх рівні ієрархії (детальну класифікацію геоінформаційно-енергетичних систем і мереж буде подано нижче):

– Глобальні ГІЕМ і ГІЕС – це розробки, які включають об'єднання окремо існуючих глобальної інформаційної і енергетичної мереж, наприклад Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітніми і бібліотечними ресурсами [1].

– Регіональні ГІЕМ і ГІЕС – розробки, що передбачають „злиття” інформаційної і енергетичної мереж на рівні області, регіону, наприклад Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система управління інфраструктурою регіону, яка описана в [2].

– Вузько-орієнтовані ГІЕМ і ГІЕС – розробки призначені для виконання функцій інформаційного та енергетичного обміну у конкретній області, наприклад Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення [6, 7], та Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система керування транспортними потоками та освітленням транспортних магістралей [9].

Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітніми і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань [1] стала першим джерелом, у якому було сформульовано теоретичні засади створення ГІЕМ глобального рівня, яка могла б виконувати ряд функцій, що зазвичай виконуються різними по своїй природі і цільовому призначенню системами. В даній роботі було розроблено першу структуру ГІЕМ. В даній системі забезпечується ведення документообігу, а також забезпечують всі компоненти системи енергетичними ресурсами. Елементи такої оптико–електронної системи з'єднані між собою за допомогою бінарного провідника. Серед переваг цієї системи можна відзначити високу швидкість роботи такої системи, завдяки використанню принципів структурованості розміщення даних і ефективних способів обробки інформації. До недоліків можна віднести недостатній рівень досліджень способу об'єднання інформаційних каналів з енергетичними, та способів інформаційно-енергетичного обміну. Адже об'єднуючи волоконно-оптичні інформаційні канали з каналами на основі металевих провідників: по перше, необхідне встановлення блоків трансформації рівня робочих напруг живлення і встановлення блоків вводу/виводу електричної енергії на кінцеве обладнання; по друге необхідна розробка способів розгалуження і комутації таких об'єднаних бінарних провідників. Також, електричні канали на основі металевих провідників значно збільшують вагу бінарних провідників. Як і зазначено в [1], маса оптичних волокон, щонайменше в 10 разів менша за масу металевих провідників.

Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система управління інфраструктурою регіону [2] являє собою розробку геоінформаційно-енергетичної мережі, яка орієнтована на керування комунальними сервісами (такими, як інформаційний обмін, обробка відеоінформації, забезпечення інтернет-послугами кінцевих користувачів та ін.) Результати створеної ГІЕМ проявляються і в літературі [3], де вони були використані, як приклад, при описі структурної організації ГІЕМ.

Аналізуючи дану структуру ГІЕМ можна помітити схожість деяких складових із структурою попередньої ГІЕМ. Такі блоки як центр керування і центри керування регіонального рівня мають схожу архітектуру і містять сервери структурованої інформації (відповідно призначенню). Відмінність описаних аналогів полягає в їх цільовому призначенню, згідно якого структура першої ГІЕМ орієнтована зокрема на роботу і інформаційно-енергетичний обмін більше в області освіти, дистанційної освіти, і обробки саме бібліотечної інформації, що зберігається на відповідних серверах.

До недоліків даної розробки можна віднести аналогічні недоліки першої, це - низький рівень досліджень способу об'єднання інформаційних каналів з енергетичними та способів розгалуження і комутації в об'єднаних бінарних провідників.

Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення [6] стала значним досягненням в медичній області, завдяки можливості дистанційного підключення до неї систем контролю стану здоров'я суб'єктів (людини, користувача). В даній роботі також представлена розробка портативного біомедичного вимірювального пристрою – біопроцесорного таймера-годинника [7]. Особливістю геоінформаційно-енергетичної системи медичного призначення також є створення баз даних біомедичної інформації, з метою її обміну для контролю над станом здоров'я.

Розглядаючи дану розробку, можна відзначити, що її актуальність полягає у забезпеченні кожного користувача персональною системою вимірювання біологічних показників (біопроцесорного таймера–годинника). У порівнянні з іншими розробками ГІЕМ, дана система орієнтована не стільки на інформаційно-енергетичний обмін, а скільки саме на біомедичне її застосування, що обумовлює визначену мету її застосування, що обмежує коло виконуваних задач зменшуючи інші функціональні можливості (порівняно з іншими, спостерігається менша кількість забезпечуваних системою сервісів).. До недоліків також слід віднести жорстку архітектуру такої мережі, що мало передбачає можливість масштабування і її ефективного розширення, шляхом підключення нових вузлів. Так, наприклад, при необхідності збільшення обчислювальних потужностей WEB-сервера (проблема виникає при зростанні

числа користувачів Інтернет – сервісом мережі), додатковий WEB-сервер встановити буде вже неможливо, без зміни архітектури такої ГІЕМ. Також недоліки, які мали місце у попередніх описаних розробках ГІЕС поширюються і на дану оптоелектронну інформаційно-енергетичну мережу.

Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система керування транспортними потоками і освітленням транспортних магістралей”, яка описана в [9] являється архітектурою ГІЕМ, яка орієнтована на три основні задачі: 1) керування потоками транспорту будь-якого числа і типу магістралей; 2) Енергоефективне забезпечення і керування освітленням транспортних магістралей; 3)забезпечення інформаційно-енергетичним обміном між користувачами системи. Енергозбереження даної ГІЕС забезпечується шляхом використання нового типу освітлювачів і світлофорів на основі над’яскравих кольорів світіння. Архітектура цієї ГІЕМ включає в себе аналогічні архітектурі інших ГІЕС елементи обробки/зберігання інформації: всі сервери системи, центр керування, та інформаційно-енергетичні канали на основі бінарних провідників.

У розробці ГІЕС керування транспортом і освітлення магістралей по суті передбачена інтеграція трьох різних сервісів: керування транспортом, забезпечення енергозберігаючим освітленням та реалізація інформаційно-енергетичного обміну. До недоліків слід віднести, як у інших розробках ГІЕС, важку масу і габарити бінарних провідників металеві структури.

Розглядаючи останні розробки в області ГІЕМ та ГІЕС, можна помітити, що за повнотою свого поширення, ГІЕМ глобального рівня, можна розглядати як суму окремих сегментів ГІЕМ зонного рівня, причому кожна ГІЕМ зонного рівня, як правило складається із сукупності локальних ГІЕМ, кожна з яких розташована за своєю внутрішньою ієрархією. Тобто, для рівномірно-розподіленої ієрархії ГІЕМ, ГІЕС, можна записати:

$$N_{sumGl} = \sum_{i=1}^n N_{iZON},$$

$$N_{REG} = \sum_{j=1}^m N_{jLOC}$$
(1)

де N_{sumGl} - сумарна кількість ГІЕМ регіонального рівня в складі ГІЕМ глобального; N_{ZON} - сумарна кількість ГІЕМ локального рівня в складі ГІЕМ регіонального ; N_{LOC} - кількість одиничних мереж в складі ГІЕМ локального рівня; n - число внутрішніх мереж у глобальній ГІЕМ; m - число внутрішніх мереж у регіональній ГІЕМ.

Всі вищезазначені розробки базуються на одному єдиному принципі роботи, що полягає у структуризації інформаційних даних на локально – розташованих географічно (просторово) – рознесених інформаційних ресурсах та забезпечення єдиним, інформаційно-енергетичним обміном (по бінарних інформаційно-енергетичних провідниках) між окремими складовими, що знаходяться в середині системи [8]. Відмінність у організації таких ГІЕМ і ГІЕС полягає в основному у масштабах використання, цільового призначенні і можливості нарощення таких систем.

У попередніх інформаційних мережах існувала проблема: навіть з найшвидшими системами передачі і обробки інформації, в зв’язку з неструктурованістю розміщення даних, ці системи і мережі не могли досягнути потрібного рівня ефективності [8]. Особливо, коли такі мережі використовуються для складних інформаційних задач, пов’язаних з оперативними обробкою і обміном великих об’ємів даних. Використання принципу структуровано-розміщеної інформації дало змогу вирішити проблему підвищення швидкодії у вузлах, де зберігається інформація. Так як, саме її пошук та виведення для подальшої передачі і обробки і було тим самим „вразливим місцем” навіть найшвидших магістральних мереж. Завдяки використанню структуровано-збереженої інформації (відео знаходиться на сервері відеоінформації, навчальна на навчальному сервері і т.ін.) зменшується як час пошуку даних, так і забезпечується оптимізація управління мережею.

Аналізуючи відомі розробки ГІЕС та ГІЕМ, можна помітити певну схожість в їх структурній організації(кількість, тип зв’язків між внутрішніми вузлами, топологію). Основні параметри відомих ГІЕМ наведено в табл.1.

Таблиця 1.
Основні параметри відомих ГІЕС

Назва геоінформаційно-енергетичної системи	Кількість сервісів, які забезпечуються системою, $N_{серв}$	Кількість інформаційно-енергетичних зв'язків між структурними блоками $N_{i/e зв}$	Кількість потенційно-можливих підключень користувачів $N_{корист.}$	Тип топології	Тип інформаційно-енергетичних каналів
1. ГІЕМ тотального тестування і оптимального управління науково-освітніми і бібліотечними ресурсами	9	$N_{i/e} \approx N_{серв} \cdot (N_{кор.} + N_{присл.}) + N_{резерв} + (N_{комут} + I)^*$	N	Змішана (шина+дерево)	Бінарний провідник
2. ГІЕМ управління інфраструктурою регіону	7	$N_{i/e} \approx N_{серв} \cdot (N_{кор.} + N_{ини присл.}) + N_{резерв} + (N_{комут} + I)^*$	–	Змішана (шина+зірка)	–
3. ГІЕМ біомедичного призначення	9	--	$N + N_{моб. зв.}^*$	Змішана (шина+зірка+дерево)	–
4. ГІЕМ керування транспортними потоками і освітленням транспортних магістралей	10	–	$N \cdot N_{рез. мер}^*$	Дерево	–

* $N_{кор}$ – кількість користувачів системи; $N_{ини присл.}$ – кількість пристроїв, що підключаються до системи, окрім користувачів; $N_{рез. мер}$ – кількість регіональних мереж, що входять до складу системи, або можуть бути підключені; $N_{резерв}$ – кількість зарезервованих підключень для користувачів та інших пристроїв; $N_{комут}$ – кількість комутаторів у всій системі; $N_{моб. зв.}$ – кількість абонентів мобільного зв'язку, які підключені до системи.

Кількість інформаційно-енергетичних зв'язків системи, не враховуючі суто інформаційні або енергетичні зв'язки визначається кількістю магістральних елементів системи (сервери, комутатори), користувачів та інших периферійних пристроїв, які забезпечують ввеження/виведення (таких, як відеокамери, пристрої відео спостереження та ін.). Основну кількість ІЕ зв'язків для кожної з ГІЕМ, що аналізувались можна наближено визначити через рівності наведені в табл.1. Для точного визначення необхідно чітко враховувати всі підключення до системи, включаючи додаткові і зарезервовані.

Усі відомі розробки ГІЕС мають визначене число функцій, які вони виконують. Наприклад, обробка і зберігання відеоінформації, документообіг. Деякі з даного числа функцій є основними і присутні у всіх відомих ГІЕС, інші притаманні лише конкретним системам, і визначають їх цільове призначення. Більшість виконуваних основних функцій наближено можна визначити по кількості серверів у системі, тобто кількість серверів наближено дорівнює кількості функцій, що виконується. Це обумовлено структурованістю при розміщенні даних у ГІЕМ (що є основним принципом при організації будь-якої ГІЕС, ГІЕМ). Кількість функцій, які виконуються відомими ГІЕМ та ГІЕС можна представити у табл.2.

Таблиця 2.

Кількість функцій, які виконуються відомими ГІЕС

1. Назва геоінформаційно-енергетичної системи	ГІЕМ тотального тестування і оптимального управління науково – освітянськими і бібліотечними ресурсами	ГІЕМ управління інфраструктурою регіону	ГІЕМ біомедичного призначення	ГІЕМ керування транспортними потоками і освітленням транспортних магістралей
2. Функції, ГІЕС				
Робота з бібліотечними ресурсами	+			
Обробка і зберігання відеоінформації	+	+	+	+
Забезпечення доступу до WEB-ресурсів		+	+	+
Пошук інформації	+	+	+	+
Обмін інформацією	+	+	+	+
Керування дистанційним Навчанням	+			
Документообіг	+	+	+	
Тестування	+			
Зберігання інформації	+	+	+	+
Обробка інформації від пристроїв введення/виведення		+	+	+
Обробка і зберігання біомедичної інформації			+	
Керування трансп. поток. і освітленням				+
Магістральний зв'язок із зовнішніми мережами	+	+	+	+
Зв'язок з мережами мобільного зв'язку			+	
Моніторинг і координація				+
Робота з спеціалізованими даними	+		+	+

Слід також відзначити, що якщо інформаційні функції відрізняються, в залежності від призначення ГІЕС, то функції забезпечення і перерозподілу енергії (енергетичні функції) у всіх розробках ГІЕМ однакові і реалізуються в основному через забезпечення всіх структурних елементів систем електроенергією та її перерозподілом.

Аналізуючи всі відомі розробки ГІЕС, можна помітити спільну архітектурну частину, яка їм присутня. Основними блоками, що до неї входять є енергостанція, комутатори та центр керування. Дану спільну архітектурну частину можна зобразити на рис. 3.

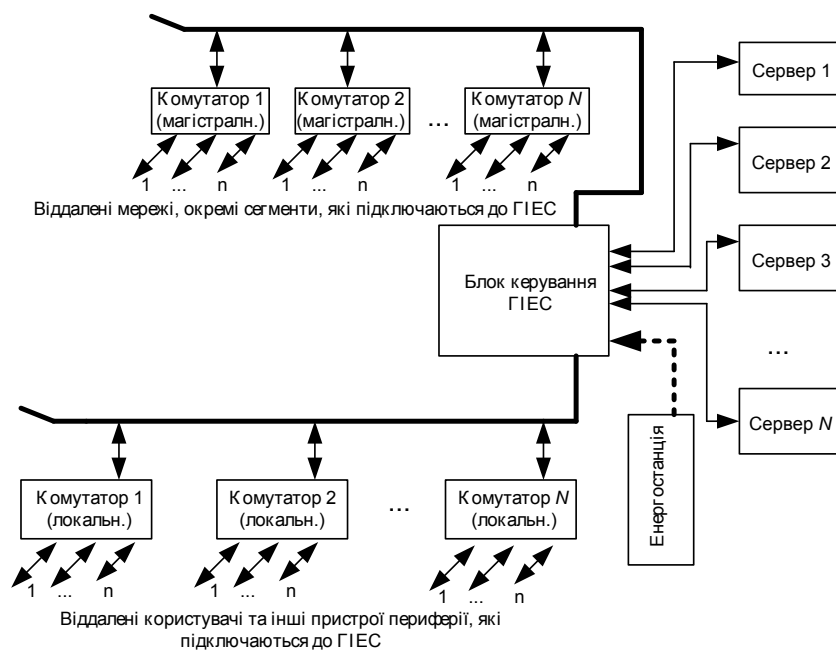


Рис.3. Спільна архітектурна частина, яка присутня відомим розробкам ГІЕС

Дану спільну архітектурну частину можна розглядати, як абстрактну узагальнену модель архітектур відомих ГІЕС, які у загальному випадку мають $1..n$ – зовнішніх взаємозв'язків, $1..N$ – серверів, які призначені для виконання визначеного ряду функцій конкретної ГІЕС, кількість яких може нарощуватись при розширенні функціональних можливостей, або обчислювальних потужностей ГІЕС. Енергостанція по бінарним провідникам забезпечує всі структурні елементи енергоживленням, тим самим роблячи архітектури ГІЕС автономними і універсальними. У всіх вищеописаних розробках в якості каналів передачі інформації та енергії живлення використовуються бінарні інформаційно-енергетичні провідники.

На основі приведених в роботах [1-9] технологій реалізації каналів ГІЕС, ГІЕС на основі бінарних провідників доцільним буде зробити класифікацію цих провідників по цільовому застосуванні. Класифікація спеціалізованих бінарних провідників (інформаційно-енергетичних) (Рис.4) особливо не відрізняється від класифікації відомих волоконно-оптичних кабелів, відмінним тут є врахування умов при сполученому використанні оптичного волокна і металевих провідників.



Рис.4. Класифікація інформаційно-енергетичних кабелів по цільовому призначенню

Інформаційно-енергетичні кабелі міжміського сполучення призначені для зв'язку між різними ГІЕС або їх окремими компонентами за межами міста, на рівні декількох міст чи країни. Вони повинні мати малий відсоток як оптичних так і електроенергетичних втрат, так як орієнтовані на дальній зв'язок. До кабелів міського сполучення пред'являються менш критичні вимоги, оскільки їх дальність зв'язку відбувається в межах міста.

Об'єктові інформаційно-енергетичні кабелі, орієнтовані на організацію інформаційного та енергетичного зв'язку в межах визначеного об'єкта (споруди, корабля, літака).

Монтажні кабелі розраховані на використання установки всередину обладнання. Хоча в принципі, як окремий клас дані кабелі існувати не можуть, так як в межах коротких відстаней немає необхідності реалізовувати об'єднану передачу інформації та електроенергії.

Підводні і спеціалізовані кабелі представляють окремий клас інформаційно-енергетичних кабелів. Підводні орієнтовані на прокладання під водою, на великі відстані, спеціалізовані призначені для використання у спеціальних умовах. До таких кабелів пред'являються значно підвищені вимоги по надійності, втратам та механічній міцності.

Той чи інший клас кабелю вибирається в залежності від умов експлуатації та величин інформаційної та енергетичної пропускної спроможності. Такі конструкції матимуть вищу вагу, у порівнянні з окремими ВОЛЗ, за рахунок великої кількості металевих провідників. Рациональним тут є зменшення товщини повиву струмонесучої металевої оболонки, але в залежності від величини струму, на який розрахований даний кабель.

КЛАСИФІКАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ

У літературі [14] автором було розроблено першу відому класифікацію геоінформаційно-енергетичних систем. Аналізуючи вищезазначену класифікацію, автори цієї статті вважають необхідним привести більш досконалу і спрощену класифікацію ГІЕМ, що є вдосконаленням класифікації, приведеної у [14]. Класифікація ГІЕС та ГІЕМ може визначатися згідно ряду ознак.

Геоінформаційно-енергетичні системи за доступністю можна поділити на: відкриті ГІЕМ, закриті ГІЕМ. У відкритих ГІЕМ передбачено забезпечення масового доступу кінцевих користувачів інформаційними та енергетичними сервісами, а у закритих ГІЕМ забезпечення сервісами виконується для визначеного числа користувачів, аналогічно як у інформаційних корпоративних мережах.

За територіальним обхватом більш коректнішим ГІЕМ можна поділити на: глобальні і зонні. Відповідно до зонних входять локальні ГІЕМ, регіональні ГІЕМ, ГІЕМ міста та району. Глобальні ГІЕМ мають охоплювати дуже значні за обсягом географічні території: країну, материк, декілька країн. До зонних можна віднести: міські (муніципальні), регіональні та локальні. Хоча локальні ГІЕС можуть входити у регіональні чи міські в якості складових.

За типом топології ГІЕМ можна поділити на : ГІЕМ гнучкої топології (масштабовані), ГІЕМ жорсткої топології (визначеної топології).

Аналогічно, можна класифікувати ГІЕС за типом архітектури: ГІЕС гнучкої внутрішньої архітектури (з можливістю зміни), ГІЕС жорсткої внутрішньої архітектури. Гнучкість топології чи архітектури визначає можливість розширення ГІЕС, як по кількості підключень нових вузлів, користувачів чи інших мереж (у випадку ГІЕС-гнучкої топології), так і по кількості нових функціональних можливостей (у випадку ГІЕС- гнучкої архітектури). Наприклад, гнучкість архітектури дозволить інтеграцію нових обчислювальних структур (файлових –серверів), в залежності від рівня зростаючих вимог по обчислювальній потужності ГІЕМ. У ГІЕМ з жорсткими топологіями виключається можливість розширення, чи зміни внутрішніх складових.

Згідно цільового використання ГІЕС можна поділити на: багатоцільові, вузькоорієнтовані (визначеної цілі). Багатоцільові ГІЕМ орієнтовані на виконання деякого числа задач (наприклад, моніторингу транспортних потоків у поєднанні з керуванням освітленням транспортних магістралей та водночас передачею інформації [9]). Вузькоорієнтовані ГІЕМ призначені для виконання однієї, або декількох (невеликого числа) задач (наприклад, навігаційні ГІЕМ).

За функціональною (проблемно-тематичною) орієнтацією ГІЕМ можна поділити на: інформаційного та енергетичного транспорту, моніторингу, навігації, обробки, кадастру, керування та ін. Хоча, дані признаки скоріше відповідають конкретним функціям, які виконують визначені ГІЕМ, а не самої функціональної орієнтації ГІЕМ. Відповідно функції, що виконуються такими ГІЕС, ГІЕМ : керування, обробка, зберігання, обмін, енергозабезпечення, перерозподіл енергії. Основні функції які виконують ГІЕМ також можуть бути класифіковані: а) інформаційні функції: обробка, зберігання, обмін; б) енергетичні функції: а) забезпечення енергією; б) перерозподіл енергії, в) керування енергетичними потоками. Цей набір функцій є базовим і необхідним для будь-якої ГІЕМ.

По фізичній природі носіїв, ГІЕМ можна класифікувати на: електронні, оптичні та оптико-електронні. Слід зазначити, що обчислювальні апаратні структури ГІЕС також підпадають під дану ознаку класифікації: оптичні, оптоелектронні, електронні.

Важливою визначальною ознакою ГІЕМ є їх класифікація за типом інформаційно-енергетичних каналів. На сьогоднішній день можлива реалізація 3-х типів каналів для ГІЕМ: відкриті оптичні (атмосферні); волоконно-оптичні, металеві струмонесучі. Комплексне об'єднання цих типів каналів і реалізація їх у одній ГІЕМ дозволить перейти до повністю-оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж [15-17, 18, 19], які стануть майбутнім, новим поколінням існуючих ГІЕМ. В таких ГІЕМ обробка і передача інформації забезпечуються оптичними □ад швидкодіючими засобам. До того

ж, передача енергії можлива також оптичним способом, через спеціалізовані оптичні волокна. Щодо інформаційних каналів, то як зазначено у роботах [1-7] вони пріоритетно виконуються на основі волоконно-оптичних ліній, для забезпечення високої смуги пропускання інформаційних потоків.

Повністю оптичні ГІЕМ, як і інші оптоелектронні системи можуть бути класифіковані згідно джерел і приймачів випромінювання. За джерелами, які можуть бути використані як для інформаційної передачі, так і для енергетичної: лазерні, світлодіодні та альтернативні [8] (наприклад, на основі пристроїв, які фокусують випромінювання від ксенонових ламп [8]) джерела. Також можлива класифікація ГІЕМ за приймачами випромінювання. Енергетичні фотоприймачі можуть бути поділені на багат шарові (на основі багат шарових плівок фотоелементів [15, 16]) та фотоприймачів на основі технології сонячних батарей [16]. В якості інформаційних фотоелементів у ГІЕМ, як і в більшості інших оптичних мереж передачі інформації використовуються відомі технології р-і-п, APD (лавини) – фотоприймачів, які забезпечують належну швидкість, і зарекомендували свою надійність та стабільність протягом тривалого періоду часу.

На основі приведеного вище, можна представити нову, запропоновану класифікацію ГІЕМ (рис. 5).

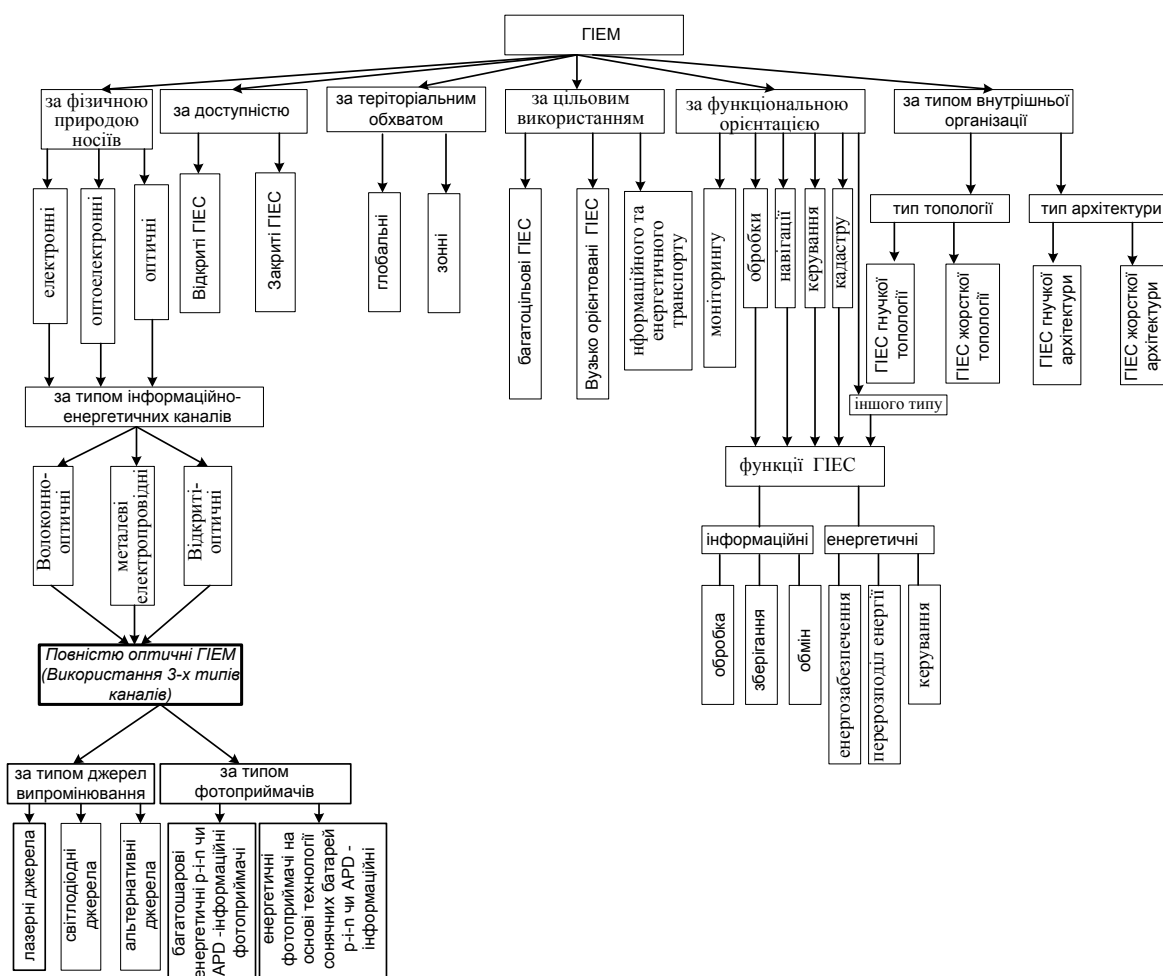


Рис.5. Запропонована класифікація ГІЕС, ГІЕМ

Розглядаючи геоінформаційно-енергетичну систему визначеної архітектури можна помітити, що вона відповідає відразу декільком ознакам наведеної класифікації, так як є результатом комплексного поєднання різних за принципами побудови і складних підсистем. При використанні електронних засобів обробки інформації у якійсь визначеній ГІЕС (ГІЕМ) можуть використовуватись оптичні засоби передачі, і навпаки. Наприклад, у випадку побудови глобальної ГІЕМ, яка буде складатись з N -кількості систем зонного типу, частина яких буде побудована закритими за ознакою доступності а інша частина відкритою, то вся глобальна ГІЕМ не може бути чітко віднесена до класу відкритих або закритих геоінформаційно-енергетичних мереж.

ПРОБЛЕМИ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ НА ШЛЯХУ РОЗВИТКУ ВІДОМИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ

На основі проведеного аналізу відомих технологій у сфері геоінформаційно-енергетичних систем можна сказати, що основними проблемами, які виникають у геоінформаційно-енергетичних системах є наступні:

- 1) висока вартість впровадження інформаційно-енергетичного устаткування, яка обумовлена необхідністю заміни старих засобів окремо існуючого інформаційного та енергетичного устаткувань;
- 2) велике нагромадження апаратних засобів;
- 3) проблема змішаного типу з'єднання (волоконного та електричного з'єднань), обумовлена необхідністю поєднання енергетичного і інформаційного устаткування в єдині блоки інформаційно-енергетичних мереж;
- 4) значне збільшення ваги і габаритних розмірів існуючих оптичних кабелів, завдяки використанню металевих провідників у електроенергетичних лініях, що відповідно ускладнює як монтаж, так і обслуговування таких мереж.
- 5) для ефективного застосування передачі електричної енергії по металевим провідникам на великі відстані, необхідне підсилення напруги до високих і надвисоких величин (від 10 кВ до 750 кВ) [17], що призводить до значного нагромадження апаратних засобів;
- 6) необхідність встановлення додаткових апаратних засобів для забезпечення оптичного накачування активних тіл ретранслюючи оптичних підсилювачів волоконно-оптичних ліній(необхідність перетворення з електричної енергії у оптичний світловий потік накачки легованих ербієм волокон);
- 7) навіть з найшвидшими оптичними системами передачі інформації, при використанні послідовних електронних засобів обробки (стандартних архітектур комп'ютерів, наприклад, архітектури Фон-Неймана) ефективність роботи геоінформаційно-енергетичних систем в яких вони застосовуються буде не достатньою для забезпечення сучасним потребам у інформаційному обміні.

Висока вартість устаткування мабуть є основним критерієм, що обмежує використання волоконно-оптичних, а тим більш інформаційно-енергетичних ліній зв'язку. Вирішення даної проблеми можливе шляхом збільшення обсягів серійного виготовлення компонентів волоконної оптики та інших елементів ГЕМ, що вцілому зменшує їх собівартість.

Проблему нагромадження апаратних засобів та поєднання інформаційного та енергетичного устаткування можна вирішити шляхом розробки компактних блоків приймальних, передавальних та ретранслюючи станцій. Для проміжних вузлів (регенератори, EDFA – підсилювачі, активні комутатори) необхідно передбачити внутрішні блоки живлення, які живляться від самого енергетичного каналу мережі. Таким чином структурно звести активні компоненти мереж до формально пасивних, забезпечуючи повністю автономне живлення їх.

Для узгодження блоків систем та інформаційно-енергетичних провідників необхідна розробка спеціалізованих роз'ємів, в залежності від конструкції кабелю. Для цього інформаційні та енергетичні канали в роз'ємі необхідно просторово розділяти з дотриманням необхідних умов експлуатації (електричний опір ізоляції, діаметри контактних з'єднань ВОЛЗ, і т. п.), що створює додаткові технологічні труднощі.

Якщо є можливість вирішити проблеми 1)-3) шляхом застосування технологічних і інженерних підходів, то інша переважна більшість вищеписаних проблем (4)-7)) потребує принципово нових підходів для вирішення. Для цього необхідним є дослідження компактного і ефективного способу енергетичної передачі із максимально ефективним енергозбереженням та максимальним зменшення апаратного нагромадження, а також поєднання цього способу з добре відомими та швидкісними способами передачі інформації, такими як волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ). Крім того останню проблему, пов'язану з недостатніми обчислювальними потужностями існуючих і розповсюджених на сьогоднішній день електронних послідовних обчислювальних структур (комп'ютерів, серверів та ін. обчислювальних середовищ) можна вирішити тільки за допомогою застосування оптичних або опто-електронних паралельних архітектур, які здатні забезпечити високу швидкість обробки ($\approx 2 \cdot 10^{12}$ Mps).

Як варіант ефективного розв'язання всіх вказаних проблем авторами була запропонована повністю оптична реалізація геоінформаційно-енергетичних систем [15], яка полягає у використанні оптичного волокна, як у якості інформаційно-несучого, так і в якості енергетично-несучого середовища та обумовлює використання оптичних та опто-електронних апаратних засобів контролю, керування та обробки інформаційних потоків в цих системах.

ПЕРЕДУМОВИ ПЕРЕХОДУ ДО ОПТИЧНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДЛЯ ЇХ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптичні системи обробки в передачі інформації вже тривалий час виправдовують переваги від їх використання, завдяки швидкодії, компактності та ефективності у порівнянні з електронними. Як волоконно-оптичні системи передачі на основі ВОЛЗ, так і оптичні комп'ютери вже тривалий час є перспективними науковими напрямками досліджень у всьому світі. Тому сумнівів щодо актуальності використання оптичних апаратних засобів вже не виникає, і функціональні можливості таких систем набагато перевищують можливості розповсюджених електронних.

Так як геоінформаційно-енергетичні системи є універсальними середовищами передачі і обробки інформації а також передачі і керування енергією то застосування оптичних технологій представляється актуальним і перспективним, оскільки дозволяє значно підвищити основні характеристики таких систем, а саме здійснювати високошвидкісний інформаційний обмін і обробку.

Оптичні геоінформаційно-енергетичні системи – системи обробки і передачі інформації, структурні складові яких знаходяться на просторово рознесеному географічному просторі і зв'язані між собою за допомогою оптичних ліній зв'язку.

Запропоновані авторами цієї статті повністю оптичні ПЕМ (ПЕС) [15-19] – це системи обробки і передачі, всі елементи у яких (включаючи енергетично-передаючі канали) при функціонуванні використовують оптичний світловий потік (оптичний носій), тобто використовують оптичні технології інформаційно-енергетичного обміну і обробки. Так, обчислювальні структури в таких ПЕС виконані на базі паралельних оптичних комп'ютерів, а канали передачі як інформації так і енергії на основі оптичних каналів(волоконно-оптичних або відкритих оптичних) причому не тільки для обміном інформації але й для обміном енергією живлення усіх компонентів такої ПЕС [15]. Оптичний спосіб передачі енергії у оптичних каналах ПЕМ базується на передачі енергії світловими протоками високої густини потужності в оптичному волокні [15].

Оскільки технології застосування як волоконно-оптичних інформаційних каналів, так і оптичних комп'ютерів (образних комп'ютерів) є достатньо дослідженими, великий науковий інтерес представляє дослідження оптичного способу передачі енергії і поєднання його з інформаційним, а також дослідження комплексних рішень і технологій ПЕС побудованих за таким принципом. Роботи, спрямовані на поглиблення досліджень в даній області ведуться авторами даної статті.

ВИСНОВКИ

В статті проаналізовано основні сучасні досягнення вчених в області геоінформаційно-енергетичних технологій. Було зроблено як аналіз окремих випадків реалізації інформаційно-енергетичного обміну, так і їх комплексних рішень, у якості яких виступають складні за архітектурою геоінформаційно-енергетичні системи і мережі. Класифікація, яка представлена в даній роботі є більш зручною для сприйняття при аналізі і розробці ПЕС, ПЕМ.

Саме комплексний підхід до побудови ПЕС, який передбачає використання як повністю оптичних архітектур ПЕС так і стандартних та їх об'єднання, є необхідною передумовою створення ефективно функціонуючих геоінформаційно-енергетичних систем і мереж, орієнтованих на задоволення постійно зростаючих сучасних вимог по швидкодії, оперативності, надійності та оптимальності забезпечення інформацією та енергією. Розробка і практична реалізація ПЕМ та ПЕС, в тому числі повністю оптичних є актуальними задачами сучасних інформаційних технологій, які потребують як найшвидшого вирішення для задоволення невпинно зростаючих потреб процесу інформатизації суспільства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.П.Кожем'яко, О.Г. Домбровський, І.Д. Івасюк, О.В. Шевченко, С.В. Дусанюк, С.С. Білан, А.В. Кожем'яко. Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітняськими і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.-2006.-№1(9), С. 5-11.
2. В. П. Кожем'яко, С.В.Дусанюк, Л.О. Волонтир,О.А.Бойко. Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система управління інфраструктурою регіону. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- 2004.-№2(8), С. 9 - 15.
3. Шевченко О.В., Дусанюк С.В., Кожем'яко А.В. КобзаренкоР.Л. . Принципи організації та структурна організація оптико-електронних геоінформаційно-енергетичних систем. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- 2007.-№2(14), С. 109-116.

4. Патент на винахід (UA) Оптикоелектронна інформаційно-енергетична мережа.- заявка №2001075383 від 27.07.2001, МПК 7Н04В10/12, Н04N7/173, / Кожем'яко В. П., Білан С. М., Кожем'яко О. В., Білан С. С., Льницький В. А., / відносно винаходів RU 2127489 С1, 10.03.1999, WO 9935845, 15.07.1999.
5. Патент на корисну модель №18683 (UA) Універсальна геоінформаційно-енергетична система.- заявка №200605670 від 23.05.2006, МПК (2006) Н04N7/00, / Кожем'яко В. П., Осінський В.І., Салюта В.Г., Онищенко В.К., Васильченко В.Г., Ходяков Є.О., Дорощенко Г.Д., Шевченко О.В., Дусанюк С.В., Кожем'яко А. В., Кожем'яко К. В.
6. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Шевченко О.В., Дмитрук В.В. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №2(12). – С. 192-196.
7. Патент України 18684U МПК Н04N7/173. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система з біопроекторним таймером-годинником // Кожем'яко В.П., Прудивус П.Г., Шевченко О.В., Шевченко С.А., Кожем'яко А.В., Кожем'яко К.В., Дмитрук В.В. Заявлено 23.05.2006; опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11, 2006 р.
8. Кожем'яко В. П., Маліновський В.І., Кобзаренко Р.Л. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні системи із застосуванням альтернативних джерел світлового випромінювання // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2006. - №1(11) – С.228-233.
9. Патент на винахід (UA).Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система керування транспортними потоками і освітленням транспортних магістралей. – заявка № U200806971 від 20.05.2008, МПК Н04N7/173, Н04В10/12, / Кожем'яко В.П., Івасюк І.Д., Кожем'яко В.П., Кожемяко А,В, Маліновський В.І., / відносно винаходів.
10. Федосеев В.И. Технология HomePNA 1.0 и 2.0.-Информационные технологии iXBT / Статьи, www.ixbt.com/states/HomePNA/aspick.html
11. Савин А.Ф. PLC – уже не экзотика // Вестник связи.-2004-№9, С.14-16.
12. Коноплянский Д.К. PLC - передача данных по электрическим сетям. Последняя миля // Вестник связи.- 2004- № 5, С. 5-7.
13. Система передачи телеметрических данных по линиям электропередач: <http://datapowersystem.com/>.
14. Шевченко О.В. Дисертація канд. техн. наук. Паралельно-ієрархічні методи передачі та обробки інформації у автоматизованій геоінформаційно-енергетичній системі.
15. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №2. – С. 42-44.
16. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Організація каналів в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – №2(12). – С. 19-25.
17. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж. // Вісник вінницького політехнічного університету . – 2008. – №10. – С. 42-44.
18. Патент України (UA) № 33184, МПК Н04N7/00. Повністю оптична геоінформаційно-енергетична система // Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Заявлено 18.02.2008; опубл. 10.06.2008. Бюл. № 11, 2008 р.
19. Патент України (UA) № 33189, МПК Н04N7/00. Оптична геоінформаційно-енергетична мережа на основі шинної топології // Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Заявлено 18.02.2008; опубл. 10.06.2008. Бюл. № 11, 2008 р.

Надійшла до редакції 24.09.2008р.

КОЖЕМ'ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ – заслужений діяч науки і техніки України, академік АНУ, д.т.н., професор, завідувач кафедри лазерної і оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна..

МАЛІНОВСЬКИЙ ВАДИМ ІГОРЕВИЧ – аспірант, інженер кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.