

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-23>

УДК 621.311.21

Пітух Ігор Романович¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3329-4901>

Сидор Андрій Іванович², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4911-7034>

Круліковський Борис Борисович², к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-7500-336X>

¹Західноукраїнський національний університет, м Тернопіль, Україна

²Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕСИЛАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖЕВИХ АРХІТЕКТУРАХ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Пітух І.Р., Сидор А.І., Круліковський Б.Б. Дослідження характеристик пересилання електроенергії у високовольтних мережових архітектурах в умовах динамічних впливів зовнішніх факторів. В роботі класифіковано та досліджено системні характеристики інформаційних інтерактивних систем на основі критерію емерджентності. Запропоновано метод удосконалення алгоритму застосування образно-кластерних моделей в умовах катастрофічних впливів на електромережу

Ключові слова: енергосистеми, критерій емерджентності, електропідстанція, Хеммінгова відстань, Евклідова відстань.

Pituh I., Sydor A., Krulikovskiy B. Study of the characteristics of electricity transmission in high-voltage network architectures under the conditions of dynamic influences of external factors. The work classified and investigated the system characteristics of interactive information systems based on the criterion of emergency. A method of improving the algorithm for the use of image-cluster models in the conditions of catastrophic effects on the power grid is proposed

Keywords: power systems, emergency criterion, electric substation, Hamming distance, Euclidean distance.

Постановка наукової проблеми. У наш час в умовах військової ситуації на території України спостерігаються різкі зміни логістики у структурі високовольтних та промислових електромережах, які обумовлені атмосферно-природними та військовими впливами.

Очевидно, що такі динамічні впливи на магістральну архітектуру високовольтних електромереж та центри розподілу потужностей електроенергії можуть бути адекватно подібні до відповідних динамічних змін у структурах інтерактивних матричних моделях руху даних (ІММРД) [1,2].

Аналіз досліджень. Аналіз процесів пересилання та комунікації потужностей у мережових архітектурах високовольтної та промислової електроенергетики однозначно може моделюватися та досліджуватися згідно розроблених теоретичних, методологічних та техніко-інформаційних положень ІММРД.

При цьому, поряд з існуючою проблемою діагностування станів локального контролю відхилень, відхилень станів енергосистем (ЕС) від норми, шляхом регулювання відповідних характеристик відхилень їх станів по амплітуді, динаміці (частоті), фазі та їх взаємкореляції в умовах значного зростання ймовірностей відмов обладнання магістральної логістики, центрів розподільчих та трансформуючих комунікацій пріоритетно актуальною проблемою є дослідження та розробка відповідної теорії, методології та техніки по оцінці ступеня деградації характеристики системи.

На основі теоретичних положень матрично-взаємкореляційної логіко-статистичної інформаційної моделі (ЛСІМ-5) [3], яка базується на розрахунках матричної взаємкореляційної моделі на основі теорії мультиплікативних та Хемінгово-модульних нормованих коефіцієнтів типу:

$$\rho_{ij} = f(G_{ij}), \text{ де } \rho_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sqrt{D_i + D_j}},$$

$$Z_{ij} = \sum |Z_i - Z_j|, \text{ де } Z_1 = \sum_{i=1}^m Z_{i1}, Z_2 = \sum_{i=1}^m Z_{i2} \dots Z_m = \sum_{i=1}^m Z_{im}$$

у комунікаційних та розподільчих центрах комунікації та розподілення електроенергії рис.1 [3].

У той же час, суттєвим недоліком такої архітектури є відсутність взаємозамінних логістичних комунікацій та резервування процесів пересилання електроенергії.

Архітектура ЕС з наявною комутацією поставок електроенергії в умовах її дефіциту показана на рис.3.

2) архітектура з комутацією каналів;

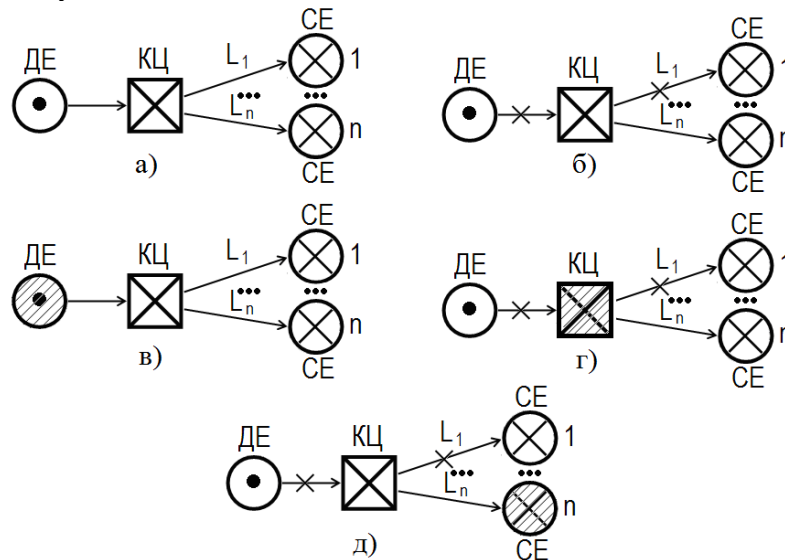


Рис. 3 – Архітектура ЕС з комутацією поставок електроенергії в умовах її дефіциту за умови: а) штатного стану електромережі; б) відмови однієї з ЛЕП; в) відмови ДЕ; г) відмови комунікаційного центру; д) відмови одного або багатьох споживачів.

КЦ – комунікаційний центр (електропідстанція, ЛЕП).

Перевагою такої неінтерактивної архітектури є більш високий рівень емерджентності та надійності, який визначається відношенням кількості мережевих однонаправлених зв'язків між ДЕ, ЕП та СЕЕ.

В високовольтних електромережах при відповідних комутаціях між ДЕ та КЦ реалізується можливість інтерактивного двонаправленого пересилання ЕЕ рис.4.

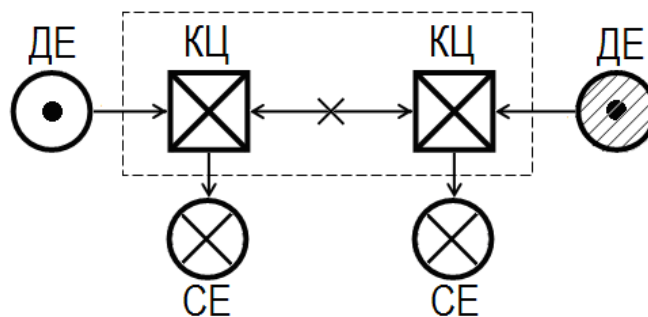


Рис.4 – Приклад інтерактивного пересилання електроенергії між КЦ

Аналіз оцінки емерджентності такої архітектури, при відмовах компонентів електромережі, класифікується наступними випадками:

1) лінія ЛЕП між комунікаційними центрами розірвана, що відповідає монопольній архітектурі, яку ми розглянули, і відповідає оцінці емерджентності у монопольній архітектурі;

2) при відмові одного з ДЕ і з'єднання ЛЕП між КЦ, оцінка емерджентності розраховується згідно характеристик магістральної архітектури, при цьому ЛЕП здійснює двонаправлене пересилання електроенергії.

Принциповим недоліком такої архітектури високовольтної ЛЕП є низький рівень надійності та втрати емерджентності при втраті комунікації рис. 3 (а,б,в,г,д). У першому випадку зниження

надійності та відповідної емерджентності розраховуємо згідно виразу:
$$K_e = \frac{1 + \sum_{i=1}^m i}{1 + n + n}$$
, у випадку

відмов у розпаралелених ділянках електромережі, відповідно у випадку відмов послідовно

з'єднаних компонентів електромереж оцінка емерджентності розраховується згідно виразу:

$$K_e = \frac{1 \cdot \sum_{i=1}^m i}{1+n+m}, \text{ де } 1 - \text{це ДЕ}; n - \text{кількість СЕ}; m - \text{кількість пошкоджених ліній комутації } i = \overline{1, m}.$$

Недоліком 2-ї архітектури електромережі (ЕМ) є наявність різної значимості відмов обладнання на зміну емерджентності K_e , тобто:

1) відмові ДЕ $DE=0, K_e = \frac{0}{\dots} = 0$;

2) відмові однієї або m з n наявних ЛЕП відповідна зміна K_e згідно виразів: $K_e = \frac{1 \cdot m}{1+n+m}$

, якщо $m = n$ то $K_e = \frac{1 \cdot 0}{1+n+m} = 0$, в іншому випадку $K_e = \frac{1 \cdot m}{1+m+n} = \frac{m}{1+n+m}$.

На рис. 5 приведена структура енергосистеми з магістральною архітектурою.

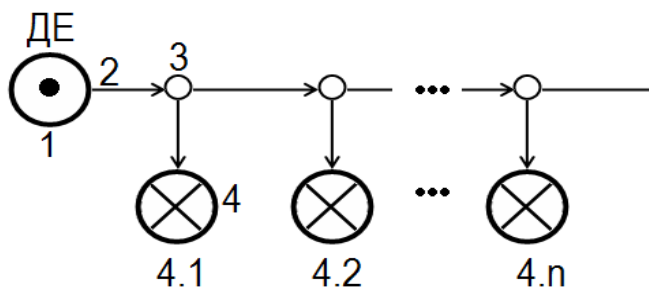


Рис. 5 – Архітектура ЕМ з магістральною архітектурою

Для розрахунку емерджентності такої архітектури введемо нумерацію компонентів такої мережі: 1- ДЕ; 2-ЛЕП; 3- приєднання (трансформаторні підстанції (ТП)); 4- СЕ.

Така архітектура високовольтної ЛЕП характеризується особливістю, оскільки у її структурі присутні ТП (приєднувачі) і відсутні розподільчі центри (електропідстанції).

Ця структура відповідає промисловим, будинковим або вуличним освітленням і є функціонально найпростіша. Надійність та емерджентність такої електромережі при відмовах ДЕ, ЛЕП, ТП та СЕ розраховується згідно виразу:

$$k_e = \frac{1 \cdot \sum 2}{1 + \sum 3 + \sum 4}; k_e = \frac{0 \cdot \sum 2}{1 + \sum 3 + \sum 4} = 0;$$

Цей аналітичний вираз показує, що при відмові будь якого компонента (1) такої неінтерактивної ЕМ $K_e = 0$. Також, при відмові певної ділянки ЛЕП тільки частина споживачів не буде обслуговуватись: згідно виразу $i + j$ ($i=1, j=0$), де $i + j$ - сумарна кількість споживачів, i та j відповідна кількість споживачів які обслуговуються та не обслуговуються поставкою електроенергії $i = 1, j = 0$.

При відключенні одного або кількох споживачів емерджентність ЕС буде зменшена і не повністю деградована, а у всіх i -х споживачів виникне надлишок потужності, що також є фактором деградації системи. Ці процеси можуть бути відповідно промодельовані та проілюстровані на основі ІММРД та діаграм змни K_e .

На рис. 6 приведений приклад ІММРД яка адекватно моделює стани ЕС з фактами відмов окремих компонентів.

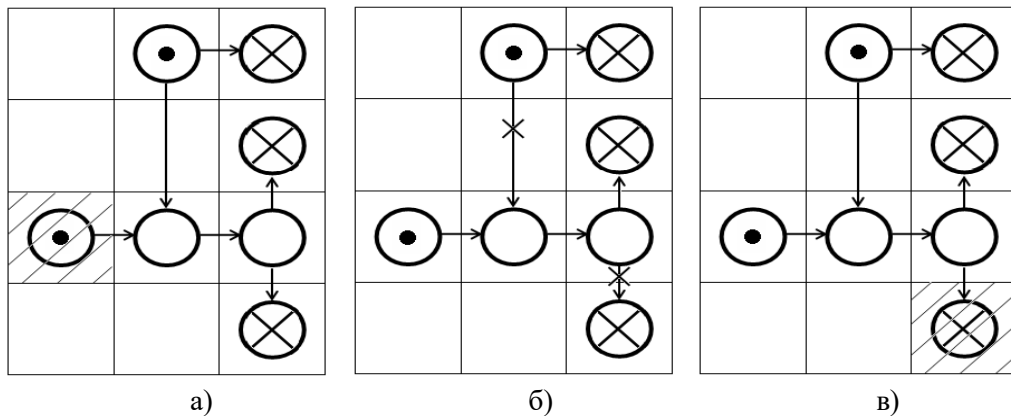


Рис. 6 – ІММРД з відмовою ДЕ (а), ЛЕП (б), СЕ (в).

Аналогічні дослідження, моделювання та оцінка переваг та недоліків зменшення надійності емерджентності різних архітектур ЕС можуть бути здійснені для інших більш складних архітектур. Наприклад, багаторівневих зірково-магістральних та кільцево-магістральних архітектур [6], що виходить за межі об'єму досліджень даної статті.

Можливості двонаправленого (дуплексного) пересилання електроенергії у високовольтних та промислових ЕМ однозначно відповідають ознакам інтерактивності і можуть успішно моделюватися на основі положень теорії інтерактивних, інформаційних, мережевих, комунікаційних та накопичувальних характеристик на основі банків даних та баз знань [7]. Також пріоритетною стає розв'язання проблеми дослідження та керування характеристиками надійності енергосистем в умовах їх раптових, під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів, динамічних переходів у квазістаціонарні стани та динамічних змін структурних параметрів у їх стаціонарних архітектурах.

Викладене дозволяє стверджувати, що розроблені теоретичні положення та запропоновані критерії інтерактивності у середовищі комунікацій інформаційних систем можуть бути доцільно та успішно застосовані для відповідно модельованого аналізу змін у станах високовольтних електромереж. При цьому також необхідно враховувати відмінні особливості характеристик емерджентності у порівнянні з інформаційними інтерактивними діалоговими системами, наприклад відсутності значного накопичення потужності енергоресурсів.

У наш час, у світі та Україні, ефективно розвивається відновлювальна енергетика на основі гідро, сонячної та вітрової електроенергетики. Такі енергогенеруючі системи характеризуються певною динамікою зміни генерованих потужностей. При цьому їх моделювання на основі теорії та методології ІММРД потребує враховувати часові зміни їх характеристик, як джерел електроенергії, згідно умов стаціонарності, квазістаціонарності, нестаціонарності та додаткових відмов під дією зовнішніх факторів. В першому випадку потужність джерела енергії має бінарну характеристику тобто 1 або 0 ($\mathcal{E} = const$). Джерела відновлювальної енергетики, при розрахунку оцінок емерджентності, коли вони є компонентами певної архітектури, характеризуються оцінкою $\mathcal{E} = var$, наприклад з кроком Δ ($\Delta_1, \Delta_2, \dots, 1$). Отже, така уточнена оцінка реальної емерджентності архітектури, при наявності відновлювальних джерел енергопостачання буде розраховуватись згідно виразу:
$$K_e = \frac{\sum^2}{\sum(1+3+4)} = \frac{\sum^2}{\sum 1 + \sum 3 + \sum 4}, 1 = var, 1(0 \div 1) (0.1, 0.2, \dots, 1).$$

Вказується відповідно зменшена оцінка реального стану відновлювального джерела, згідно неповної енергопотужності з кроком Δ , потужності від 0 до 1. У результаті емерджентність та енергонадійність модельованої архітектури, яка містить відновлювальні джерела електроенергії буде пропорційно зменшуватись.

У роботі [8] розроблене програмне забезпечення, на основі визначення характеристичного функціоналу стану об'єкта управління (ОУ), яке дозволяє побудувати динамічно-змінну образно-кластерну модель (ОКМ) при різних некритичних відхиленнях станів ОУ згідно різних ЛСІМ.

В умовах коли відбуваються раптові, особливо динамічні збурення енергосистеми, які приводять до розривів ЛЕП, пошкодження підстанцій, коротких замикань, раптових включень або відключень великої групи споживачів застосування такого програмного забезпечення і такого представлення ОКМ є неефективним. Тому при виникненні нештатних станів ЕС та переході її в квазістаціонарні стани зі зміною логістики та робоздатності компонентів запропоновано

удосконалення характеристик структур ОКМ, які відображають три стани "норма", "розвиток аварії", "аварія" рис.7.



Рис. 7 - Кластерні моделі станів обладнання енергосистеми при раптових критичних їх відмовах.

За умови виникнення квазістаціонарних переходів під впливом зовнішніх факторів, типу функцій Дірака, необхідно щоб система з максимальною швидкістю без розрахунків характеристичного функціоналу на багатосекторному моніторі, де відображена архітектура відповідного рівня ЕМ, яку обслуговує оператор диспетчерського пункту, відображала поточний стан кожного об'єкта системи у вигляді трьох демонстраційних заставок "норма", "розвиток аварії", "аварія" рис. 8.

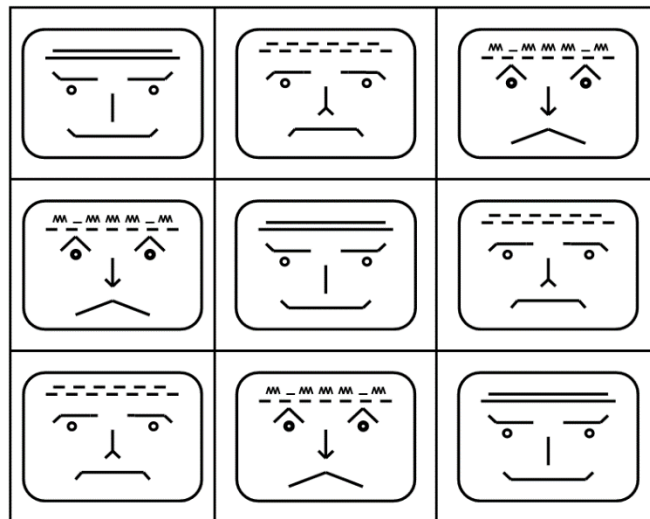


Рис. 8 – Багатосекторний монітор з відображеними поточними станами об'єктів системи

Запропонований метод удосконалення алгоритму застосування ОКМ в умовах катастрофічних впливів на ЕМ не потребує розробки складного програмного забезпечення, що підвищує надійність його застосування. Застосування ОКМ для моніторингу станів енергосистем в умовах катастрофічних відмов обладнання та компонентів, шляхом їх демонстрації на багатосекторному моніторі диспетчерського пункту, дозволяє збільшити швидкість реакції оператора на виникнення нештатних станів ЕС. Покращити можливості ідентифікації та попередження небезпечних передаварійних, аварійних ситуацій, попередити виникнення вибухо та екологічно небезпечних аварій на об'єктах.

Висновки. Зроблений підхід до застосування теорії, методології та оцінки емерджентності різних архітектур енергосистем на основі ІММРД та оцінки коефіцієнта емерджентності. Показано, що для визначення рівня деградації ЕС доцільно застосовувати ЛСІМ-5 на основі розрахунку матриці кореляційно-Хеммінгових та Евклідових відстаней між технологічними та структурними параметрами високовольтних мереж в умовах динаміки відмов обладнання.

Список бібліографічного опису

1. Пітух І.Р. Теорія та технологія побудови спеціалізованих інтерактивних систем // Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці / за загальною редакцією Я.М.Николайчука / І.Р. Пітух – Тернопіль: "Бескиди", 2017.- С 665-694.
2. Система автоматизованого проектування інтерактивного зв'язку оператора автоматизованого керування багатопараметричним об'єктом на основі моделі кластера образ / Ігор Пітух, Галина. Процюк, Василь. Процюк, Любов. Миколайчук // Матеріали XIII міжнародної конференції «Перспективні технології та методи проектування MEMS»: MEMSTECH'2017.- С.18-21.

3. Пат.150887 Україна МПК (2022.01) H04B 10/00 H04B 10/112 (2013.01), Багатоканальний пристрій визначення хеммінгової віддалі сигналу між собою / Николайчук Я. М., Пітух І.Р., Грига В.М., Гринчишин Т.М., Угорчук В.В., Сидор А.І. № у 2021 05962; заявл. 23.10.2021; опубл. 05.05.2022 Бюл.№ 18.
4. Пітух І.Р. Метод та критерії оцінки емерджентності та характеристики архітектури інтерактивних розподілених комп'ютерних та кіберфізичних систем / Пітух І.Р. // Науковий збірник «Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології», (33), 2021.- С. 115-121.
5. Методологія статистичного опрацювання даних спостережувальних об'єктів заповідних територій / Пітух І.Р., Николайчук Я.М., Петрашук Я.В. // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, моделювання та управління» (ISCM– 2022).-Надвірна, 2022р. – С.130-142.
6. Пітух І.Р. Матричні моделі розподілених архітектурних комп'ютерних систем та методологія побудови алгоритму діагностики руху даних центральним сервером // Научно-теоретический журнал "Искусственный интеллект".- Донецьк: НАН України, 2009.- №1.-С. 286-292.
7. Реймонда Ельмасрі та Шамканта Навітьхе Основи систем баз даних // Pearson Education, Inc. », 2021.- №1.-С. 1272.
8. Пат. 107039 Україна МПК G05B 23/00 (2016.01),G06F 11/277 (2006.01) Спосіб контролю параметрів технологічного процесу / Пітух І.Р., Возна Н.Я., Процюк Г.Я., Николайчук Я.М. №u201507057; заявл.15.04.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. №10/2016.

References

1. Pitukh I.R. Theory and technology of building specialized interactive systems // Specialized computer technologies in informatics / edited by Y.M. Nikolaychuk / I.R. Pitukh - Ternopil: "Beskydy", 2017. - P 665-694.
2. Computer-Aided Design System of the Interactive Communication of the Operator of Computer-Aided Control of Multiparameter Object Based on the Image-Cluster Model / Igor Pituh, Halyna. Protsiuk, Vasyl. Protsiuk, Lubov Nykolaychuk // Proceedings of the XIIIth International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: MEMSTECH'2017.- PP.18-21
3. Pat. 150887 Ukraine IPC (2022.01) H04B 10/00 H04B 10/112 (2013.01), Multi-channel device for determining the Hamming distance between signals / Nikolaychuk Y. M., Pitukh I. R., Griga V. M., Grynychshyn T .M., Uhorchuk V.V., Sydor A.I. No. u 2021 05962; statement 23.10.2021; published 05/05/2022 Bull. No. 18.
4. Pitukh I.R. Method and criteria for assessing the emergentity and characteristics of the architectures of interactive distributed computer and cyber-physical systems / I.R. Pitukh. // Scientific collection "Physico-mathematical modeling and information technologies", (33), 2021. - P. 115-121.
5. Methodology of statistical data processing of observation objects of protected areas / Pitukh I.R., Nikolaychuk Y.M., Petraschuk Y.V. // Collection of materials of the problem-scientific interdisciplinary conference "Information problems of computer systems, jurisprudence, energy, modeling and management" (ISCM- 2022).-Nadvirna, 2022. - P.130-142.
6. Pitukh I.R. Matrix models of architectures of distributed computer systems and the methodology of building an algorithm for diagnosing the movement of data by a central server // Scientific-theoretical magazine "Iskustvennyj Intelekt". - Donetsk: National Academy of Sciences of Ukraine, 2009. - №1.-S. 286-292.
7. Raymond Elmasri and Shamkant Navathe Fundamentals of Database Systems // Pearson Education, Inc. ", 2021.- No. 1.-S. 1272.
8. Pat. 107039 Ukraine IPC G05B 23/00 (2016.01), G06F 11/277 (2006.01) Method of control of technological process parameters / Pitukh I.R., Vozna N.Ya., Protsyuk G.Ya., Nikolaychuk Y.M. #u201507057; application 15.04.2015; published 05/25/2016, Bul. No. 10/2016.