

СТАСЮК О.І., д.т.н., професор,
ГОНЧАРОВА Л.Л., к.т.н., доцент (ДЕТУТ)

Методи комп'ютерної інтелектуалізації процесів обробки інформації аномальних режимів систем електропостачання залізниць

Наведено результати аналізу існуючих комп'ютерних мереж з інтелектуальними властивостями для керування електропостачанням. Запропоновано математичні моделі визначення інформативності первинних даних. Розроблено методи організації, у галузі диференційних зображень, інтелектуальних обчислювальних процесів, поданих у вигляді направленої графа. Наведено ряд диференційних математичних моделей для проведення, у сфері зображень, спектрального аналізу окремих гармонічних складових аномальних процесів і спектральної щільності.

Ключові слова: диференційні перетворення, комп'ютерні мережі, математичні моделі, інтелектуалізація, електропостачання, інформаційне середовище, оптимізація.

Постановка проблеми

Розв'язання проблеми оптимізації ефективності електроспоживання на тягу тісно пов'язано з необхідністю проведення комплексу наукових досліджень у сфері інтелектуалізації процедур керування швидкоплинними процесами електропостачання [1 - 4]. Поява нового напрямку організації «розумної ефективності енергоспоживання» створила широкі можливості синтезу інтелектуальних мереж електропостачання завдяки тому, що в ньому найшла відображення інтелектуальна взаємодія спільних властивостей ціноутворення, особливостей протікання технологічних процесів, ефективності використання енергоресурсів та спектру послуг між суб'єктами ринку [4, 6]. Проведений комплекс досліджень в цьому напрямку показав, що загальноновизначеними у світі є SMART Grid – технології, реалізація яких передбачає інтелектуалізацію електричних мереж на основі нових принципів самовідновлення і саморегуляції [1, 8]. А оптимізація електроспоживання можлива завдяки синтезу комп'ютерно – орієнтованих методів інтелектуалізації процедур аналізу аварійної інформації, отриманої в процесі функціонування мережі електропостачання в аномальному режимі, як теоретичної основи формування нових знань [2 - 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій,

пов'язаних з інтелектуалізацією процедур оптимізації електроспоживання як основи формування комп'ютерно-орієнтованих енергозберігаючих технологій, покращення рівня надійності і безпеки перевезень, показав, що домінуючою є необхідність

розроблення підходів і методів формування та накопичення нових знань, які адекватно відображають режими функціонування складних енергетичних об'єктів і систем електропостачання [1, 3]. Досвід експлуатації комп'ютерних мереж керування електропостачанням показав, що на сьогоднішньому етапі дуже важливою проблемою є визначення повної інформативності зареєстрованих первинних даних, які відображають аномальні режими електричних мереж [3, 7]. Неповнота отриманої первинної інформації проявляється в суттєвому негативному впливі на економічність режимів функціонування, збільшенні втрат електроенергії та погіршенні надійності роботи, що також обумовлено і особливостями мереж електропостачання залізниць. Природно, головним стало питання комп'ютерної інтелектуалізації процедур електропостачання на основі визначення повної інформативності первинної інформації аномальних режимів як базису визначення і накопичення нових знань.

Відокремлення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми.

Застосування сучасних комп'ютерних мереж керування електропостачанням з інтелектуальними властивостями дозволило реєструвати великі об'єми багатогранної первинної інформації, що відображає стан силового електричного обладнання і режими функціонування систем електропостачання. Дуже важливим для обробки первинних інформаційних даних є використання інтелектуальних математичних методів і алгоритмів, орієнтованих на виявлення і накопичення нових знань для створення енергозберігаючих технологій та покращення рівня безпеки руху [1 - 4]. Проведений авторами комплекс

наукових досліджень у предметній галузі інтелектуалізації процедур і технологій керування електропостачанням дозволив зробити висновок, що питання реєстрації первинної інформації з можливістю синхронізації вимірів у різних сегментах енергосистеми в науковій літературі розглянуті на високому теоретичному і прикладному рівнях. В той же час, завданням визначення повної інформативності багатоаспектної первинної інформації приділено дуже мало уваги, а при комп'ютерній інтелектуалізації процесів обробки інформації аномальних режимів енергосистем домінуючою проблемою є визначення повної інформативності первинних даних, як теоретична основа формування нових знань [2, 3].

Мета роботи

Розробка математичних моделей комп'ютерної інтелектуалізації процесів обробки інформації аномальних режимів мереж електропостачання залізниць на основі синтезу методів визначення повної інформативності багатоаспектних первинних даних, що відображають аномальні режими електромереж, як теоретичної бази формування адекватних нових знань.

Основний матеріал дослідження

Дослідження проблеми інтелектуалізації процедур керування швидкоплинними технологічними процесами в залізничній енергетиці показали, що в процесі її розв'язання дуже мало уваги було приділено створенню математичних моделей і комп'ютерно-орієнтованих методів визначення повної інформативності багатоаспектних первинних даних, сформованих шляхом синхронної реєстрації аномальних та стаціонарних режимів систем електропостачання. Використання такого класу математичних моделей відкриває можливість реалізувати синтез нових знань про природу процесів, що протікають в електричних системах, як теоретичну основу створення принципово нових критеріїв і параметрів оптимізації електроспоживання та інноваційно-інвестиційного реформування електричного господарства залізниць. Крім того, визначення повної інформативності багатоаспектних первинних даних ставить задачу синтезу принципово нових математичних моделей для обробки інформаційних даних. Режими електромереж, в процесі електропостачання, відображаються сукупністю аналогових, цифрових, дискретних і інших сигналів у вигляді $\{x_j(t_i)\} \in G_j^{t_i} \neq \emptyset$, ($j=1,2,..m$), ($t = 0,1,2,..n$), сформованих існуючою

системою синхронної реєстрації первинної інформації при проведенні ковзного моніторингу. В процесі моніторингу реалізується синхронна реєстрація миттєвих значень кожного $j^{\text{го}}$ параметра $x_j(t_i)$

електромережі в моменти часу t_i в різних точках топології електромережі. Сукупність параметрів первинних багатоаспектних даних можна подати у вигляді набору векторів

$$\begin{aligned} X_1^i &= (x_1(t_i), \tau_1^i, z_r^i)^t, \\ X_2^i &= (x_2(t_i), \tau_2^i, z_r^i)^t, \\ X_m^i &= (x_m(t_i), \tau_m^i, z_r^i)^t, \quad (i = 0,1,2,..n), \quad (r=1,2,..s) \end{aligned} \quad (1)$$

де $x_j(t_i)$ – миттєве значення параметра в моменти часу t_i ; τ_j^i – величина, що характеризує синхронність вимірів параметрів $x_j(t_i)$ в різних сегментах мережі; z_r – значення $r^{\text{го}}$ сегменту топології мережі електропостачання.

Сукупність первинних інформаційних даних, що відображають аномальні і штатні режими, поданих у вигляді (1), відкриває можливість формувати зареєстровану первинну інформацію у вигляді єдиного інформаційного простору з загальносистемних позицій

$$\{X_j^i\} \in G_j^i \neq \emptyset, \quad G^\Theta = \bigcup_{j=1}^m G_j^i \neq \emptyset. \quad (2)$$

Математичний вираз (2) будемо вважати базовим для організації обчислювальних процесів з метою визначення їх повної інформативності. Для спрощення аналізу використаємо, в зареєстрованій сукупності (1), (2), один із домінуючих параметрів, наприклад, значення напруги $u(t)$, подане у вигляді n миттєвих значень $u_j(t_0), u_j(t_1), u_j(t_2), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_n)$ на всьому інтервалі T аномального режиму.

Моделі визначення інформативності. Первинну інформацію, організовану у вигляді єдиного інформаційного простору $G^\Theta = \bigcup_{j=1}^m G_j^i$, використаємо для синтезу математичних моделей визначення її повної інформативності. Для цього використаємо теорію диференційних перетворень Пухова [5], фундаментальним положенням якої є поняття диференційних перетворень вигляду

$$U_j^i(k) = \frac{t^k}{k!} \left[\frac{d^k u_j(t_i)}{dt^k} \right]_{t_i} = u_j(t_i) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k U_j^i(k), \quad (3)$$

де $u_j(t_i)$ - первісна функція аргументу t , яку можна f - раз диференціювати і яка має ряд відповідних обмежень, включаючи свої похідні; $U_j^i(k)$ – диференційне T -зображення первісної функції $u_j(t_i)$; H – масштабний коефіцієнт, розмірність якого збігається з розмірністю аргументу t , як правило, вибирається на умовах $0 \leq t \leq H$ на всьому діапазоні функції – оригіналу $u_j(t_i)$; $\overline{\&}$ – символ відповідності між функцією - оригіналом $u_j(t_i)$ і його диференційним T - зображенням $u_j^i(k)$. Завдяки прямому диференційному перетворенню, що знаходиться ліворуч від символу $\overline{\&}$, формується диференційне T -зображення функції - оригіналу $u_j(t_i)$ у вигляді дискретної функції $U_j^i(k)$ цілочислового аргументу $k=0,1,2,\dots$.

$$\begin{aligned} \frac{t_1}{H} U_j^i(1) + \left(\frac{t_1}{H}\right)^2 U_j^i(2) + \left(\frac{t_1}{H}\right)^3 U_j^i(3) + \dots + \left(\frac{t_1}{H}\right)^n U_j^i(f) &= u_j(t_{i+1}) - U_j^i(0) \\ \frac{t_2}{H} U_j^i(1) + \left(\frac{t_2}{H}\right)^2 U_j^i(2) + \left(\frac{t_2}{H}\right)^3 U_j^i(3) + \dots + \left(\frac{t_2}{H}\right)^n U_j^i(f) &= u_j(t_{i+2}) - U_j^i(0) \\ \frac{t_n}{H} U_j^i(1) + \left(\frac{t_n}{H}\right)^2 U_j^i(2) + \left(\frac{t_n}{H}\right)^3 U_j^i(3) + \dots + \left(\frac{t_n}{H}\right)^n U_j^i(f) &= u_j(t_{i+f}) - U_j^i(0). \end{aligned} \quad (4)$$

$$(j=1,2,\dots,m), \quad (i = 0,1,2,\dots,n - f),$$

В результаті розв'язання системи рівнянь (4) отримаємо для кожного миттєвого значення t_i , відповідно $j^{\text{о}}$ параметра $u_j(t_i)$, сукупність T -дискрет $u_j(t_i) = U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$ функції $U_j^i(k)$ цілочислового аргументу $k=0,1,2,\dots,n$. Провівши аналіз отриманих результатів $U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$, можна зробити висновок, що кожна $k^{\text{а}}$ T -дискрета $U_j^i(k), (k = 1,2,\dots,f)$ еквівалентна $k^{\text{и}}$ похідній функції $u_j(t_i)$ в точці t_i . Таким чином, в результаті проведення обчислень, згідно з (4), значення $j^{\text{о}}$ параметра $u_j(t_i)$ в кожній точці t_i ($i = 0,1,2,\dots,f$), подається як зареєстроване його значення

$$\begin{aligned} U_1^i &= (U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f), \tau_1^i, z_r)^t, \\ U_2^i &= (U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f), \tau_2^i, z_r)^t, \\ U_m^i &= (U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f), \tau_m^i, z_r)^t. \end{aligned} \quad (5)$$

$$(j=1,2,\dots,m), \quad (i = 0,1,2,\dots,n - f), \quad (r = 1,2,\dots,s).$$

Необхідно відмітити, що при $k=0$ для будь-якого миттєвого значення t_i кожного $j^{\text{о}}$ параметра $u_j(t_i)$ виконується рівність $u_j(t_i) = U_j^i(0)$ [5]. Для формування повної інформативності зареєстрованих первинних даних єдиного інформаційного простору $G^{\Theta} = U_{j=1}^m G_j^i$, як правило, аномальних режимів, застосуємо диференційне перетворення, яке подане в лівій частині виразу (3) $U_j^i(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k u_j(t_i)}{dt^k} \right]_{t_i}$ для миттєвих значень $u_j(t_0), u_j(t_1), u_j(t_2), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_n)$ напруги живлення залізниць, та сформуємо систему рівнянь $f^{\text{о}}$ порядку при будь-якому i , що з урахуванням відповідної рівності $u_j(t_i) = U_j^i(0)$, можна записати у вигляді

$u_j(t_0), u_j(t_1), u_j(t_2), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_n)$, так і як сукупність похідних $U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$. Звернемо увагу на той факт, що сукупністю похідних $U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$ обчислена аналітичним шляхом згідно з виразом (4).

Таким чином, завдяки проведенню ряду обчислювальних процедур за математичними моделями (3), (4), сукупність багатогранних первинних даних, наведених виразом (1), може бути подана з урахуванням обчисленої сукупності T -дискрет $u_j(t_i) = U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$, у вигляді нового класу векторів U_j^i вигляду

Як видно з виразу (4), розмірність векторів U_j^i збільшилась на f компонент. Завдяки такій організації в кожний момент часу t_i параметри $u_j(t_i)$ подаються їх миттєвим значенням $u_j(t_i) = U_j^i(0)$ і набором із f похідних $U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$, що і визначає повну інформативність зареєстрованих багатоаспектних первинних даних у вигляді $u_j(t_0), u_j(t_1), u_j(t_2), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_n)$. Використавши вираз (5), можна організувати єдине інформаційне середовище багатоаспектної первинної інформації з властивостями повної інформативності у вигляді $\{U_j^i\} \in G_{jp}^i \neq \emptyset, G_{jp}^i = \bigcup_{j=1}^m G_{jp}^i \neq \emptyset$. Компоненти z_i кожного $j^{\text{го}}$ вектора U_j^i , як і у виразі (1), задаються згідно з топологією мережі електропостачання на тягу. Значення, що характеризують синхронність вимірів t_j^i параметрів $u_j(t_i)$, поданих в ролі компонент векторів U_j^i , можна визначити за аналогією до вищеописаного, завдяки диференційним перетворенням (3). Для цього необхідно використати сигнали точного часу U_{GPS} [9]. Метод визначення t_j^i полягає в наступному. З моменту t_0^i появи сигналу U_{GPS} точного часу до моменту переходу через нуль основної гармоніки синусоїди напруги $u_j(t_i)$, реєструється p миттєвих значень $u_j(t_0^i), u_j(t_1^i), u_j(t_2^i), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_p^i)$ напруги $u_j(t_i)$ електропостачання на тягу. Отримавши миттєві значення $u_j(t_0^i), u_j(t_1^i), u_j(t_2^i), \dots, u_j(t_i), \dots, u_j(t_p^i)$ і враховуючи, що $u_j(t_0^i) = U_j^i(0)$, синтезуємо, за аналогією з (4), систему алгебраїчних рівнянь $p^{\text{го}}$ порядку, невідомими якої є Т-спектр $U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(p)$. Розв'язавши одним із відомих методів систему алгебраїчних рівнянь, отримаємо набір дискрет $U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(p)$, на основі яких, використавши диференційні перетворення (3), подані у вигляді

$$u_j(t_p^0) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t_p^i}{H}\right)^k U_j^i(k) = 0, \quad (6)$$

де t_p^0 - момент переходу основної гармоніки напруги $u_j(t_i)$ через нуль, отримаємо проміжок часу t_j^i і, після відповідних перетворень, кут δ фази напруги $u_j(t_i)$. Результати обчислень $u_j(t_i), \delta$, можуть бути також використані для визначення стійкості S системи електропостачання, згідно з $S = \frac{dp}{d\delta} > 0$, де p – потужність, що передається споживачам.

Математичні моделі інтелектуалізації обробки інформації аномальних режимів. Реалізавши, в галузі диференційних зображень моделювання математичного виразу (4), отримаємо сукупність Т-дискрет $U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$, що є основою формування інтелектуального обчислювального процесу аварійних режимів мереж електропостачання. Використовуючи Т-дискрети $U_j^i(k)$, можна запропонувати декілька математичних моделей інтелектуалізації процедур обробки інформації аномальних і штатних режимів електромереж. В першому випадку, отримавши в результаті розв'язання алгебраїчних залежностей (4) спектр, поданий у вигляді $U_j^i(0), U_j^i(1), U_j^i(2), U_j^i(3), \dots, U_j^i(k), \dots, U_j^i(f)$, та реалізавши відповідні математичні перетворення над Т-дискретами, спрямовані на виявлення нових знань про природу функціонування енергосистеми, і використавши зворотне диференційне перетворення (3), отримаємо необхідне розв'язання у сфері оригіналу $\varphi_1(U_j(k), \tau_{mv}^i, z_T) = u_j(t_i)$. Більш цікавою уявляється організація обчислювального процесу, поданого у вигляді графа на рисунку. При такій організації обчислювального процесу на першому етапі за допомогою оператора φ_1 первинна інформація $u_j(t_i), i_j(t), x_s(t)$ подається у сфері диференційних зображень у вигляді $\varphi_1(u_j(t_i)) = U_j(k), \varphi_1(i_j(t)) = I_j(k), \varphi_1(x_s(t)) = X_s(k)$. Далі, на основі отриманих Т-спектрів $U_j(k), I_j(k), X_s(k)$, реалізується обчислювальний процес у сфері диференційних зображень, згідно з математичними Т-моделями вигляду

$$\begin{aligned} \varphi_2(U_j(k), I_j(k), X_s(k)) &= G_1(k), & \varphi_3(U_j(k), X_s(k), G_1(k)) &= G_2(k) \\ \varphi_4(G_1(k), I_j(k), G_2(k)) &= G_3(k), & \varphi_5(G_1(k), X_s(k)) &= G_4(k). \end{aligned} \quad (7)$$

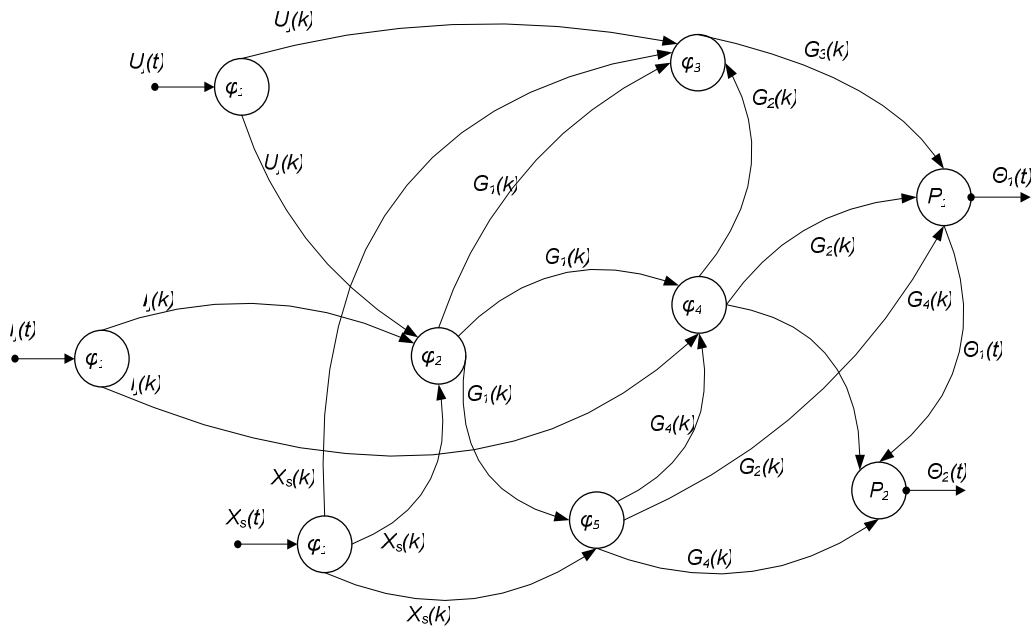


Рис. 1. Граф інтелектуальної обробки інформації в сфері диференційних зображень

В результаті обчислень згідно з (7), формуються Т-спектри $G_1(k)$, $G_2(k)$, $G_3(k)$, $G_4(k)$, які можуть бути використані у вигляді входних змінних для подальшого обчислювального процесу у сфері Т-зображень. У випадку, коли на деякому етапі обчислювального процесу необхідно формувати керуючі впливи або подавати інформаційні дані для прийняття оперативних рішень, застосувавши обернене диференційне перетворення за виразом (3), отримаємо розв'язок у сфері оригіналу у вигляді

$$\begin{aligned} P_1(G_3(k), G_2(k), G_4(k)) &= \theta_1(t), \\ P_2(G_2(k), \theta_1(t), G_4(k)) &= \theta_2(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Отримані, в результаті обчислень згідно з (8), інформаційні дані $\theta_1(t)$, $\theta_2(t)$ використовуються в першу чергу для формування експрес-інформації для оперативної передачі її на всі рівні керування електропостачанням. Крім того, формується повний інформаційний файл для детального аналізу аномальних режимів електромереж і формування нових знань особливостей режимів функціонування систем електропостачання з метою оптимізації електроспоживання і формування нових енергозберігаючих технологій.

На основі вищезгаданого наведемо декілька прикладів застосування математичного апарату диференційних перетворень для організації інтелектуальних обчислень, згідно з (7), в процесі розв'язання конкретних прикладних задач у сфері

електроенергетики. Для аналізу перехідних режимів енергосистем широкого застосування набули інтегральні перетворення Фур'є, що мають кінцеві і безкінечні границі [5]. У зв'язку з особливостями залізничних систем електропостачання, такими як велике «рухоме» навантаження між фазами $u_2(t)$ - $u_c(t)$ або $u_3(t)$ - $u_c(t)$, порушується симетрія фаз, що приводить до погіршення якості напруги $u(t)$ електроенергії. При такому режимі споживання електроенергії з'являється набір гармонічних складових, кратних основній гармоніці живлення, що негативно і суттєво впливає на роботу систем залізничної автоматики та функціонування рейсових кіл, особливо третя, п'ята і сьома гармоніки. Режими систем електропостачання, при яких з'являється спектр гармонічних складових, також суттєво впливають на безпеку руху залізничного транспорту і приводять до додаткових втрат електроенергії. Тому аналіз домінуючих гармонічних складових і визначення їх з підвищеною точністю є дуже важливою процедурою в процесі визначення критеріїв оптимального режиму електромережі і організації технологій енергозбереження.

При проведенні фундаментального аналізу складних технічних систем дуже часто використовують інтегральні перетворення. Для реалізації спектрального аналізу окремих гармонічних складових, на основі отриманої первинної інформації, поданої у сфері диференційних зображень (5), використаємо інтегральні перетворення Фур'є на кінцевому проміжку $(0, T)$

$$U_{\gamma l} = \frac{T^2}{T} \int_0^T e^{-j\gamma\omega t} u_l(t_i) dt, j^2 = -1, l=1,2...m \quad (9)$$

де $U_{\gamma l}$ — комплексна амплітуда γ -ї гармоніки

напруги $u_l(t_i)$, причому $U_{\gamma l} = U_{\gamma l} e^{j\gamma\omega t}$; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ —

частота основної гармоніки.

При організації інтелектуального обчислювального процесу, на основі отриманих згідно з (5) T -дискрет $U_l^i(k)$, проведемо наступні перетворення.

Використаємо обернені диференційні перетворення (3)

у вигляді $u_l(t_i) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^k U_l^i(k)$ і підставивши

значення $u_l(t_i)$ в інтегральне перетворення (8),

отримаємо математичний вираз вигляду

$$U_{\gamma l} = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{U_l^i(k)}{H^k} \left(\frac{j^2}{T} \int_0^T t^k e^{-j\gamma\omega t} dt \right). \quad (10)$$

В моделі (10) значення інтегралу може бути визначено таким чином [5, 6]:

$$\int_0^T t^k e^{-j\gamma\omega t} dt = \frac{k!(-1)^k}{(-j\gamma\omega)^{k+1}} \left(1 - \sum_{m=0}^{m=k} \frac{(-j\gamma\omega t)^m}{m!} \right). \quad (11)$$

Підставивши значення інтегралу (11) в математичну залежність (10), сформуємо модель, що дозволяє використовувати значення T -дискрет $U_l^i(k)$, сформованих у вигляді єдиного інформаційного простору (5), для визначення, з підвищеною точністю, окремих гармонічних складових $U_{\gamma l}$

$$U_{\gamma l} = \frac{1}{\pi\gamma} \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{k!}{(j\gamma\omega H)^k} \left[\sum_{m=0}^{m=k} \left(\frac{T}{H}\right)^m \frac{(-j\gamma\omega t)^m}{m!} - 1 \right] U_l^i(k). \quad (12)$$

Математичний вираз є основоположним для аналізу аномальних режимів функціонування мереж електропостачання завдяки тому, що на його основі відкривається можливість визначити величину впливу на системи захисту і залізничної автоматики кожної гармоніки $U_{\gamma l}$ окремо. Такий підхід відкриває широкі можливості проводити аналіз з урахуванням особливостей залізничної системи електропостачання на тягу, а також формувати нові методи і способи

керування швидкоплинними технологічними процесами електропостачання з метою мінімізації втрат та проводити, в реальному часі, діагностику і прогноз технічного стану електромереж і системи релейного і мікропроцесорного захисту.

У випадку, коли аналіз складних розподілених систем електропостачання проводиться за допомогою інтегральних перетворень Фур'є, з безкінечними границями [5],

$$u(j\omega) = \int_0^{\infty} e^{-j\omega t} u(t) dt$$

$$u(t) = \int_{-j\infty}^{j\infty} e^{j\omega t} u(j\omega) dj\omega, \quad (13)$$

при відповідних умовах $u(t) = 0$ при $t < 0$, виконавши ряд математичних перетворень, за аналогією з (10)-(12), реалізуємо синтез математичної моделі для визначення спектральної щільності

$$u_l(j\omega) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{k!}{(j\gamma\omega H)^k} \frac{U_l^i(k)}{j\omega},$$

$$U_l^i(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(j\gamma\omega H)^k}{k!} u_l(j\omega) d\omega. \quad (14)$$

Оскільки обчислення спектральної щільності аномального чи аварійного режиму реалізується з високою точністю, завдяки використанню повних інформативних даних багатоаспектної первинної інформації, поданої у сфері T -зображень у вигляді (5), то відкривається можливість аналізувати динаміку системних змін функціонування електромереж, прогнозувати запас надійності, формувати нові знання про природу функціонування розподілених систем електропостачання і на їх базі розробляти нові критерії та методи оптимізації електроспоживання, енергозбереження та безпеки руху.

Висновки

1. Аналіз сучасних комп'ютерних мереж керування електропостачанням з інтелектуальними властивостями показав, що розв'язання проблеми оптимізації електроспоживання і створення енергозберігаючих технологій тісно пов'язано з необхідністю проведення комплексу наукових досліджень у сфері інтелектуалізації процедур визначення повної інформативності багатоаспектних первинних даних, що відображають штатні, аномальні і аварійні режими функціонування електромереж, як теоретичної бази формування адекватних нових знань.

2. На основі теорії диференційних перетворень запропоновано математичні моделі і комп'ютерно-орієнтовані методи визначення повної інформативності багатоаспектних первинних даних, розроблено способи подання первинної інформації, у

сфері зображень, у вигляді сукупності векторів та наведені шляхи організації на їх базі єдиного інформаційного середовища багатоаспектної первинної інформації з властивостями повної інформативності.

3. Запропоновано математичні моделі інтелектуалізації процедур обробки інформації аномальних і штатних режимів мереж електропостачання у сфері диференційних зображень, поданих у вигляді направлено графа, показано ряд способів організації математичних перетворень над Т-дискретними, направлених на виявлення і накопичення нових знань.

4. Розроблено диференційні математичні моделі для проведення спектрального аналізу окремих гармонічних складових багатоаспектної первинної інформації, поданої у вигляді єдиного інформаційного середовища з властивостями повної інформативності. Запропоновано диференційні моделі визначення, з високою точністю, спектральної щільності аномальних та аварійних режимів, що відкриває можливість аналізувати динаміку системних змін функціонування електромереж, прогнозувати запас надійності, а також формувати нові знання про природу функціонування розподілених систем електропостачання.

Література

1. Стасюк, О.І. Методи організації інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі концепції SMART Grid [Текст] / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова, В.Ф. Максимчук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – № 2. – С. 29-37.
2. Стасюк, О.І. Математичні моделі і методи організації інтелектуальних мереж постачання електроенергії на тягу залізничному транспорту [Текст] / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 3. – С. 25-31.
3. Стасюк, О.І. Математичні моделі і методи організації інноваційних систем комп'ютерного моніторингу мереж електропостачання залізниць [Текст] / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – № 1. – С. 3-10.
4. Буткевич, О.Ф. Підвищення надійності моніторингу допустимості завантажень контрольованих перетинів енергосистем [Текст] / О.Ф. Буткевич, А.В. Левконюк, О.І. Стасюк // Технічна електродинаміка. – 2014. – №2. – С. 56-67.
5. Пухов, Г.Е. Преобразования Тейлора и их применение в электротехнике и электронике [Текст] / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1978. – 259 с.
6. Carter A. M, et. al. “The Application of Wide Area Monitoring to the GB Transmission System to Facilitate Large-scale Integration of Renewable Generation”, Cigre C2-112, Paris 2010.
7. Arango O. J. et. al. “Low Frequency Oscillations in the Colombian Power System – Identification and Remedial Actions”, Cigre C2-105, Paris 2010.
8. Smart Grid- European Technology Platform for Electricity Networks of the Future- European Commission, 2012. [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>.
9. Системи синхронізації функціонування засобів вимірювання та автоматизації в енергетиці [Текст]: пат. № 73434 G06F 9/00 / Стогній Б.С., Сопель М.Ф., Стасюк О.І., Тутик В.Л.; заявитель и патентодержатель Державний економіко-технологічний університет транспорту; опубл. 25.09.2012, Бюл. № 18. – 8 с.

Стасюк А. И., Гончарова Л. Л. Методы компьютерной интеллектуализации процессов обработки информации аномальных режимов систем электроснабжения железных дорог. Приведены результаты анализа существующих компьютерных сетей с интеллектуальными свойствами для управления электроснабжением. Предложены математические модели определения информативности первичных данных. Разработаны методы организации, в области дифференциальных изображений, интеллектуальных вычислительных процессов, представленных в виде направленного графа. Представлен ряд дифференциальных математических моделей для проведения, в сфере изображений, спектрального анализа отдельных гармонических составляющих аномальных процессов и спектральной плотности.

Ключевые слова: дифференциальные преобразования, компьютерные сети, математические модели, интеллектуализация, электроснабжение, информационная среда, оптимизация.

Stasuk A., Goncharova L. Methods of computer intellectualization of information processing of abnormal modes of power supply systems of Railways. The results of the analysis of existing computer networks with intellectual property management supply. Substantiated scientific direction in the field of intellectualization of procedures of determining the total content, which displays abnormal and emergency modes of operation of power grids. Used the basic principles of the theory of differential transforms, and based on them, mathematical models for determining the information content of the primary data in the field of images and presenting them in the form of a single information

environment with the intellectual properties. The proposed methods of organization, in the field of differential images, intelligent computational processes are represented as a directed graph. Presents a series of differential mathematical models oriented, in the sphere of images, the spectral analysis of individual harmonic components of anomalous processes and spectral density, to determine the dynamics of the system changes operation of power grids, predict their reliability margin, as well as the formation of new knowledge about the nature of electricity.

Key words: differential transformation, computer networks, mathematical models, intellectualization, electricity, information medium, optimization.

Рецензент д.т.н., професор Тимченко Л.І.
(ДЕТУТ)

Надійшла 18.03.2016 р.

Stasiuk O. I. Doctor of engineering, professor, head of department "Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport" State Economic and Technological University of Transport, laureate of the State Prize of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Goncharova L. L., Ph.D., Assistant professor, department "Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport" State Economic and Technological University of Transport, Kyiv, Ukraine.

Стасюк Олександр Іонович, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна.

Гончарова Лідія Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна.