

УДК 621.311.001.18

**О.В. Данилюк, Н.Б. Дьяченко, В.Я. Рибак, С.М. Рильський**  
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

## **ФОРМУВАННЯ НЕЙРОМАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, НЕОГЛЯДНИХ ЗАСОБАМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ПРИНЦИПАМИ “ЧОРНОЇ” ТА “НАПІВПРОЗОРОЇ” СКРИНЬОК**

© Данилюк О.В., Дьяченко Н.Б., Рибак В.Я., Рильський С.М., 2007

**Наведено нейроматематичні моделі неоглядних засобами телеметрії електричних мереж за принципами “чорної” та “напівпрозорої” скриньок. Застосування таких моделей дозволяє забезпечити оперативне моделювання режимів електричних мереж з врахуванням впливу фрагментів електричних мереж, в яких відсутні засоби телеметрії.**

**The neuromathematical models of electric networks without remote control on foundations of “black” and “translucent” small boxes are represented in this article. Application of such models allows providing the operative design of the modes of electric networks that are taking into account influence of electric networks’ fragments without remote control.**

**Вступ.** В сучасних умовах для функціонування енергопостачальних компаній (ЕПК) пріоритетним є забезпечення ефективності розподілу та постачання електричної енергії, де основним критерієм є зменшення собівартості цього процесу за умови дотримання необхідних показників надійності та якості електричних мереж. Цього можна досягнути лише за умов ефективного оперативного керування режимами електричних мереж ЕПК. Очевидно, що оперативне керування ґрунтується на розв’язанні задач оперативного аналізу режимів електричних мереж, що є стартовою точкою для подальшого прийняття рішень. Своєю чергою розв’язання задач оперативного моделювання та аналізу режимів електричних мереж здійснюється за допомогою методів моделювання режимів, адаптованих до конкретних умов функціонування ЕПК, а також відповідної інформаційної інфраструктури.

Електричні мережі ЕПК є частково телемеханізованими, саме тому забезпечення вхідною оперативною інформацією для здійснення повномасштабного оперативного аналізу їх режимів є основною проблемою, оскільки математичні моделі застосовуються за наявності повної детермінованої вхідної інформації. Розв’язання цієї задачі досягається застосуванням технологій штучних нейронних мереж (ШНМ) для формування моделей у разі часткового інформаційного забезпечення [1, 2], де застосування математичних моделей є неможливим. Крім того, під час розв’язання задач оперативного моделювання та аналізу режимів енергопостачальних компаній за умов невизначеності математичний та нейроматематичний апарат, а також відповідні розроблені програмні засоби повинні функціонувати в реальному масштабі часу (на основі наявних телевимірювань). Процес формування та застосування моделей на основі технологій ШНМ, де навчання ШНМ здійснюється методами математичного моделювання називатимемо нейроматематичним моделюванням, а моделі – нейроматематичними моделями.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо принципи формування моделі електричної мережі, яка містить неоглядні засобами телеметрії фрагменти. На рис. 1 зображено структуру електричної мережі, яка найадекватніше відповідає реальному стану мереж ЕПК з погляду оперативної інформатизації режимів їх роботи.

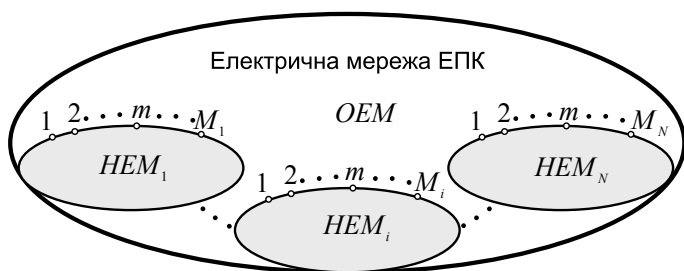


Рис. 1. Електрична мережа, складовими якої є оглядний (OEM) та неоглядні (HEM) засобами телеметрії фрагменти

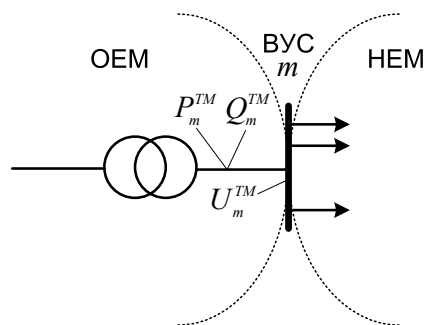


Рис. 2. Вузол умовного стику OEM і HEM

Частина підстанцій електричної мережі оснащена засобами телеметрії, а інша частина підстанцій є нетелемеханізованими. Залежно від розміщення телемеханізованих підстанцій по території ЕПК, кількість фрагментів HEM може бути різною.

Якщо розглядати множину HEM

$$N = \{HEM_i\}, \quad \forall i = \overline{1, N},$$

як складові електричної мережі ЕПК, то зрозуміло, що для графа схеми заміщення усієї мережі існують множини вершин

$$M = \{M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_i \cup \dots \cup M_N\}, \quad \forall i = \overline{1, N},$$

які являють собою вузли умовного стику OEM і всіх HEM

$$\exists M \in OEM;$$

$$\exists M_i \in (HEM_i \cap OEM) \quad i = \overline{1, N}; \quad M_i = \{1, 2, \dots, m, \dots, M_N\}. \quad (1)$$

Враховуючи (1), моделювання електричних мереж ЕПК здійснюється за допомогою математичних та нейроматематичних моделей, на основі наявної оперативної вхідної інформації

$$I_{EM}^{\pm} = I_{OEM} \cup I_{HEM \cap OEM} \rightarrow \mathfrak{Z}(MM \& HM), \quad (2)$$

де  $I_{OEM}$  – параметри режиму в OEM;  $I_{HEM \cap OEM}$  – параметри режиму в ВУС HEM і OEM.

Математична модель OEM відомої конфігурації формується на основі методу балансу потужностей за даними телеметрії, де параметрами режиму є:

- для повністю телемеханізованих фрагментів електричної мережі – значення активних  $P_{\downarrow}$  та реактивних  $Q_{\downarrow}$  потужностей у вузлах схеми заміщення мережі, одержаних внаслідок розв'язання задачі оцінювання стану режиму;
- для частково телемеханізованих фрагментів електричної мережі – розрахункові значення активних  $P^{ПВ}$  та реактивних  $Q^{ПВ}$  потужностей у вузлах схеми заміщення мережі, одержаних внаслідок дорахунку псевдовимірів на основі методу узагальнених незалежних змінних [4,5];
- для вузлів примикання HEM  $M = \{m\}$ , тобто ВУС, значення активних  $P^{TM} = \{P_m^{TM}\}$  та реактивних  $Q^{TM} = \{Q_m^{TM}\}$  потужностей (рис.2).

Нейроматематична модель НЕМ формується на основі попередньо навченої ШНМ, входами якої є параметрами режиму для вузлів примикання НЕМ  $M = \{m\}$ , тобто ВУС, значення активних  $\mathbf{P}^{TM} = \{P_m^{TM}\}$  та реактивних  $\mathbf{Q}^{TM} = \{Q_m^{TM}\}$  потужностей, а також значення модулів напруг  $\mathbf{U}^{TM} = \{U_m^{TM}\}$  на шинах (рис. 2).

Тоді вираз (2) набуває вигляду

$$\begin{aligned} I_{OEM} &: \langle \mathbf{P}_{\downarrow}, \mathbf{Q}_{\downarrow}, \mathbf{P}^{ПВ}, \mathbf{Q}^{ПВ}, \mathbf{P}^{TM}, \mathbf{Q}^{TM} \rangle \rightarrow \mathfrak{Z}(MM); \\ I_{HEM} &: \langle \mathbf{P}^{TM}, \mathbf{Q}^{TM}, \mathbf{U}^{TM} \rangle \rightarrow \mathfrak{Z}(HM); \\ I_{EM}^{\pm} &: \langle \mathbf{P}_{\downarrow}, \mathbf{Q}_{\downarrow}, \mathbf{P}^{ПВ}, \mathbf{Q}^{ПВ}, \mathbf{P}^{TM}, \mathbf{Q}^{TM}, \mathbf{U}^{TM} \rangle \rightarrow \mathfrak{Z}(MM \& HM). \end{aligned} \quad (3)$$

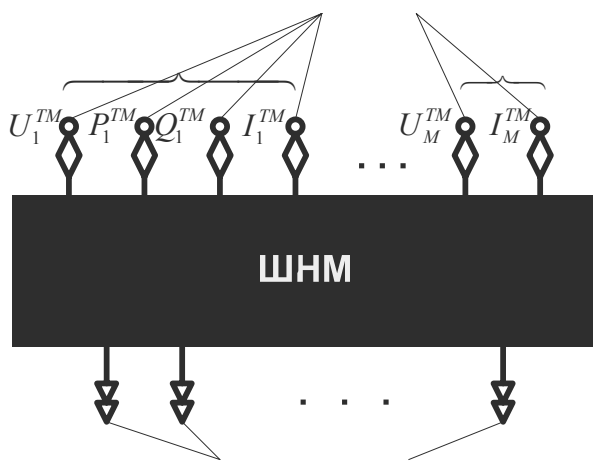


Рис. 3. Моделювання НЕМ у вигляді “чорної скриньки” надлишкова

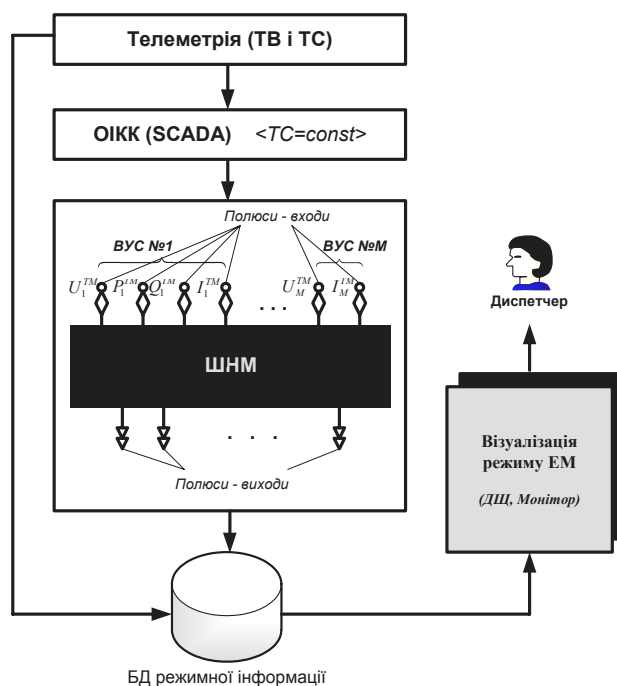


Рис. 4. Функціональна схема нейроматематичного моделювання НЕМ незмінної конфігурації

Розглянемо формування нейроматематичної моделі неоглядної електричної мережі. В нашому випадку розглядаємо НЕМ як окремий об’єкт, моделювання якого здійснюється за допомогою нейроматематичних моделей у вигляді “чорних скриньок”, тому що інструментарієм формування моделі виступають напереднавчені ШНМ.

Кожна з таких “чорних скриньок” має свої “полюси” (рис. 3), які формуються на основі телеметричних параметрів з підстанцій ВУС.

Сукупність полюсів ( $\Pi$ ), якими є телеметрія з однієї точки приєднання на підстанції формують так звану “телеметричну сукупність” ( $\mathbf{T}^{(\bullet)}$ ).

Враховуючи теорію аналізу режимів електричних мереж і вимог до телеметрії електричних мереж, телеметричні сукупності (ТМС)<sup>1</sup> можна класифікувати як

- надлишкова

$$\mathbf{T}^{(+)} = (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = (U^{TM}, P^{TM}, Q^{TM}, I^{TM}) \quad (4a)$$

<sup>1</sup> Оскільки для моделювання ми використовуємо дані ОІКК, то в ТМС входять як ТВ, так і ПВ.

- базова

$$\mathbf{T}^{(\circ)} = (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3) = (U^{TM}, P^{TM}, Q^{TM}) \quad (4б)$$

- неповна

$$\mathbf{T}^{(-)} = (\Pi_1, \Pi_2) = (U^{TM}, P^{TM}) \vee (U^{TM}, I^{TM}) \quad (4в)$$

Тобто

$$\mathbf{T}^{(\bullet)} = (\mathbf{T}^{(+)} \vee \mathbf{T}^{(\circ)} \vee \mathbf{T}^{(-)}) \quad (5)$$

Якщо ТМС формує лише один телевимір, нейроматематичне моделювання стає неможливим.

У випадку моделювання НЕМ без зміни конфігурації схеми НЕМ ШНМ функціонує за принципом “чорної скриньки” (рис. 4). Такий підхід до моделювання НЕМ може бути застосованим лише тоді, коли схема НЕМ не змінюється, що реально буває дуже рідко. Електричні мережі належать до класу динамічних систем, де постійно змінюються режими навантаження, а також конфігурація схеми мережі внаслідок спрацювання засобів релейного захисту і планових ремонтних оперативних перемикачів.

У разі зміни схеми НЕМ необхідно здійснювати перенавчання ШНМ з врахуванням цих змін, тобто фактично навчання здійснюється для нової схеми з конфігурацією  $\hat{h}(t)$  (рис. 5).

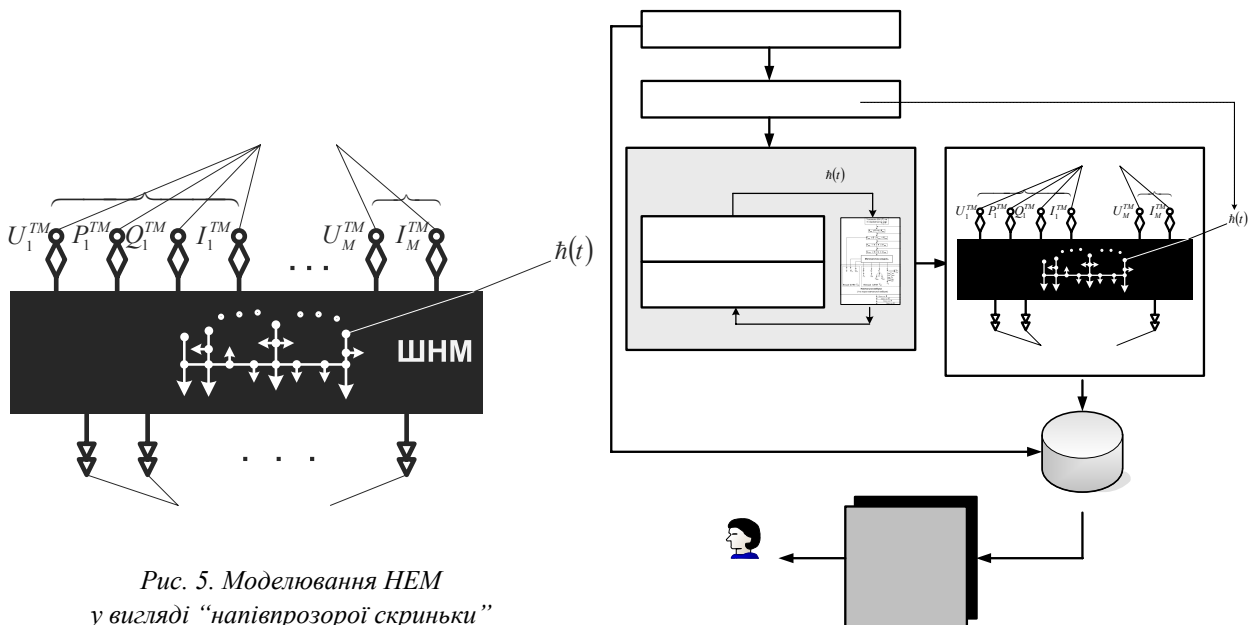


Рис. 5. Моделювання НЕМ у вигляді “напівпрозорої скриньки”

Рис. 6. Функціональна схема нейроматематичного моделювання НЕМ змінної конфігурації

Інформація про зміни в НЕМ може:

- надходити по каналах зв’язку з телемеханізованих підстанцій, які не мають телевимірів (за радянських часів підстанції досить часто телемеханізувалися з метою дистанційного включення-відключення приєднань);
- заводитися диспетчером у разі певного оперативного перемикачів на нижчому ієрархічному рівні диспетчерського керування, коли команду на нижчий рівень віддають по телефону;
- заводитися диспетчером вищого ієрархічного рівня керування у разі надходження інформації про аварійне відключення на нижчому рівні (по телефону).

Тоді здійснюється перенавчання за відповідними правилами [6]. У цьому випадку можна говорити, що ми розглядаємо НЕМ як окремий об’єкт, моделювання якого здійснюється за допомо-

гою нейроматематичної моделі у вигляді “напівпрозорої скриньки” (рис. 5), оскільки інструментарієм формування моделі виступають навчені ШНМ в повному діапазоні можливих змін режимів навантаження (як для повної мережі незмінної конфігурації) на схему електричної мережі з конфігурацією  $\hat{h}(t)$ .

Результати такого навчання записують в БД режимної інформації (рис.6) і у разі повторення аналогічної ситуації навчання здійснювати вже не потрібно, а лише необхідно вчитати з цієї бази даних параметри ШНМ і відтворити режим НЕМ за даними ОІКК.

**Висновки.** 1. Для підвищення адекватності оперативного моделювання режимів електричних мереж необхідно застосувати системний підхід саме до процесу моделювання, зміст якого полягає у врахуванні як оглядних, так і неоглядних засобами телеметрії фрагментів електричних мереж.

2. Оперативне моделювання оглядних засобами телеметрії фрагментів електричних мереж здійснюється на основі математичних моделей, а неоглядних засобами телеметрії фрагментів електричних мереж – за допомогою нейроматематичних моделей, які сформовані за принципами “чорної” та “напівпрозорої” скриньок.

1. Данилюк О.В., Батюк Н.Б., Майоров А.Ю. *Нейроматематичне моделювання – новий метод моделювання електроенергетичних систем // Тез. доп. II Міжнар. наук.-техн. конф. “Керування режимами роботи об’єктів електричних систем-2002”.* – Донецьк, 2002. – С. 32–33. 2. Буткевич О.Ф., Павловський В.В. *Штучний інтелект та гібридні системи у розв’язанні задач електроенергетики: поточний стан та тенденції // Пр. ІЕД НАНУ.* – 2003. – № 1 (4). – С. 109–117. 3. Батюк Н.Б. *Ідентифікація режимів електричної мережі неоглядними засобами телеметрії в масштабі реального часу // Управління енерговикористанням: Доп. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 3–6 жовтня Україна, Львів, 2001.* – С. 31–32. 4. Лисяк Г.Н., Стряпан В.Н., Данилюк А.В. *Математическое моделирование установившихся режимов электрических систем переменного тока.* – К.: УМК, 1990. – 104 с. 5. Данилюк О.В., Батюк Н.Б., Дьяченко С.В. *Верифікація телевимірів, що надходять в оперативно-інформаційний комплекс електроенергетичних систем // Вісн. Держ. ну-ту “Львівська політехніка”.* – 2000. – № 403. – С. 37–41. 6. Батюк Н.Б. *Нейроматематична модель електричної мережі, неоглядними засобами телеметрії для оперативної ідентифікації її режимів // Вісн. Нац. ну-ту “Львівська політехніка”.* – 2002. – № 449. – С. 10–17.

УДК 621.311.22

П.М. Баран, В.П. Кідиба, Я.Д. Пришляк

Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

## СПЕЦІАЛІЗОВАНА СИСТЕМА НАВЧАННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

© Баран П.М., Кідиба В.П., Пришляк Я.Д., 2007

**Сформульовані принципи побудови автоматизованої системи навчання для оперативного персоналу електричних станцій**

**Here formulated principles of building the automatic system education for dispatcher operating personnel of the electrical station**

**Постановка проблеми.** Від рівня кваліфікації оперативного персоналу електричних станцій значною мірою залежить безпека їх роботи, а також економічні показники станції. Тому підготовці оперативного персоналу електричних станцій приділяється велика увага.