

діагностичної інформації по ієрархічному принципу, класифікацію діагностичної інформації за ступенем критичності для оптимізації інформаційних потоків між ієрархічними рівнями системи.

1. Мислович М.В., Сисак Р.М. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів / М.В. Мислович, // *Технічна електродинаміка*. – 2015. – № 1. – С. 78–85.
2. Бабак В.П., Бабак С.В., Березун В.С. та ін. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / – Київ, 2015. – 512 с.
3. Гуляев В.А. Вычислительная диагностика. – К.: Наукова думка, 1992. – 232 с.
4. Ильин В.В. Введение в Smart Grid // АВОК. – 2012. – №7. – С. 76 – 86.
5. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособ. для вузов – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
6. Надежность и эффективность в технике: Техническая диагностика. –Том 9. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
7. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
8. Бабак В.П., Красильников О.І. Принципи побудови систем моніторингу в теплоенергетиці // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т.37, №6. – С. 82-92.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3612248>

Поступила 23.09.2019р.

УДК 004.942: 621.31

В.О. Гуреев, Київ
О.В. Сангінова, Київ
Є.М. Лисенко, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРИСКОРЕННЯ НА ЗБІЖНІСТЬ ІТЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВЕЛИКИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Abstract. The issues of the influence of convergence acceleration parameters of iterative methods for solving systems of nonlinear equations describing steady-state modes and transients of large power systems are investigated. The most widely known methods for calculating nonlinear systems of Newton-Raphson equations and the method for calculating loop currents are used as the base. The results of numerical studies are illustrated by a large number of examples.

Актуальність

У електротехніці відомі два широко використовуваних основних методів розрахунку режимів роботи складних електричних мереж: вузлових потенціалів і контурних струмів [1, 2]. Зазначені методи відрізняються

способом формування систем нелінійних рівнянь, що описують режими роботи електричних мереж (ЕМ).

Нині більшість промислових комплексів розрахунку і аналізу ustalених режимів і перехідних процесів складних ЕМ заснована на використанні методу вузлових потенціалів, схем автоматизації розрахунків ньютонівського типу з побудовою відповідних матриць провідності і Якобі [1 – 3].

Аналіз публікацій з питань розрахунку режимів роботи великих електроенергетичних систем (ЕЕС) показав, що наразі не існує надійних методів, що гарантують збіжність і високу швидкодію розрахунку систем нелінійних рівнянь, які описують режими роботи таких ЕЕС. Тому дослідження параметрів, що впливають на збіжність ітераційних процесів рішення систем нелінійних рівнянь, є дуже актуальним завданням моделювання режимів роботи великих ЕЕС [4].

Постановка задачі та аналіз досліджень

У роботі розглянуто алгоритм методу розрахунку струмів контурів (МРСК) ЕМ великої розмірності за допомогою контурної розрахункової моделі.

Питанням дослідження і практичного застосування алгоритму МРСК для розрахунку режимів роботи великих ЕЕС присвячена велика кількість досліджень і публікацій [1, 5, 6]. У роботі [1] викладені три порівняно універсальних методу розрахунку режимів, в основу яких покладено використання коефіцієнтів розподілу, опорів впливу і розрізання контурів для приведення замкнутої мережі до еквівалентної розімкненої.

МРСК в порівнянні з методом розрахунку вузлових потенціалів дозволяє значно скоротити число рівнянь системи, що описують довільну електричну мережу. До недоліків МРСК можна віднести лише деяку складність реалізації алгоритмів побудови системи автоматизації розрахунків.

У загальному вигляді число контурів N_k довільної електричної мережі може бути обчислено за формулою:

$$N_k = N_i - N_s + N_o,$$

де N_i – кількість гілок (ребер); N_s – кількість вузлів навантажень; N_o – кількість вузлів (вершин графа) з відомою (опорною/заданою) напругою.

Алгоритми і методи розрахунків режимів мереж базуються на низці важливих допущень, які необхідно тут відмітити. Як початкові параметри електричної мережі використовуються так звані схеми заміщення елементів ЕМ, до яких відносяться лінії електропередачі (ЛЕП), трансформатори, генератори, навантаження вузлів тощо. В якості початкової інформації мають бути задані конфігурація мережі (список вузлів і перелік гілок – ЛЕП,

трансформаторів, вимикачів і тому подібне), хоч би одна опорна (задана/відома) напруга у балансуєчому вузлі, параметри ліній електропередачі (як правило, використовуються П-подібні схеми) і трансформаторів (використовуються Г-подібні схеми).

Задана генерація (нерегульована) може бути представлена у вигляді постійної величини $\dot{S}_{зад} = -P_i + jQ_i$, потужність у вузлах навантажень – $\dot{S}_{назд} = P - jQ_i$. При розрахунку навантаження враховуються статичні характеристики по нарузі у вигляді поліномів [7, 8].

Значення напруги і струмів у вузлах електричної мережі, частота змінного струму, потужності генераторів і споживачів електричної енергії називають параметрами режиму і є метою моделювання режимів ЕМ. Залежно від постановки і цілей завдання розрахунку режимів використовуються різні допущення, наприклад, поєднання балансуєчого і одного з опорних вузлів, тип схеми заміщення тощо.

Розрахунок режиму, як правило, складається з двох основних розрахункових модулів: попередніх обчислень і ітераційного розрахунку режиму.

На першому етапі будують модель схеми автоматизації розрахунків на базі заданої конфігурації електричної мережі. У розрахунковій схемі заміщення електричної мережі виділяють незалежні контури (хорди) і дерева, використовуючи відповідні автоматичні алгоритми. Основна ідея методу розрізання контурів полягає в еквівалентній заміні початкової замкнутої електричної мережі на розімкнену, режим якої повністю співпадає з режимом початкової мережі.

До складу кожного незалежного контуру входить тільки одна хорда. Усі інші замкнуті контури є залежними і можуть бути отримані шляхом перекомпонування незалежних контурів. Додатнім напрямом обходу контуру приймається напрям, який відповідає позитивному напрямку відповідної хорди, – від початкового вузла гілки до кінцевого вузла.

Варіанти розділення схеми на дерево і хорди електричної мережі є умовними і залежать від заданої в початкових даних послідовності номерів вузлів і гілок. До складу переліку попередніх обчислень входить також визначення так званої поперечної провідності вузлів, утворених ЛЕП, трансформаторами і реакторами (шунтами).

Ітераційний розрахунок режиму, у свою чергу, теж складається з двох етапів: внутрішнього (ВНП) і зовнішнього (ЗОП). Для розрахунку режимів електричних мереж використовуємо підхід, заснований на еквівалентній заміні струмів усіх хорд схеми електричної мережі на пари фіктивних струмів у вузлах, до яких примикає ця хорда. Наприклад, для i -го вузла:

$$\dot{I}_i^{(i)} = \dot{S}_{зад} / \left(\hat{U}_i^{(i)} - |U|_i^{(i)2} \cdot \dot{Y}_{io} \pm \sum_{k=1}^K \dot{I}_{xk}^{(i)} \right), \quad (1)$$

де $\dot{I}_i^{(i)}$ – струм i -го вузла на i -ї ітерації; $\dot{S}_{ізad}$ – задана потужність i -го вузла; $\hat{U}_i^{(i)}$ – зв'язана напруга i -го вузла на i -ї ітерації; $|U|_i^{(i)2}$ – квадрат модуля напруги i -го вузла на i -ї ітерації; \dot{Y}_{i0} – сума поперечної заданої провідності від прилеглих ЛЕП, трансформаторів і шунтів; – алгебраїчна сума струмів прилеглих k -х хорд на i -ї ітерації.

Різниця векторів напруги в цих вузлах в розімкненій схемі мережі дорівнює падінню напруги на цій хорді:

$$\Delta \dot{U}_{ij} = \dot{U}_i - \dot{U}_j = \dot{I}_{ij} Z_{ij}, \quad (2)$$

де \dot{U}_i – напруга i -го вузла хорди; \dot{U}_j – напруга j -го вузла хорди; \dot{I}_{ij} – струм хорди; Z_{ij} – опір хорди.

Алгоритм визначення режимних параметрів методом розрізання контурів полягає в наступному:

1. Формується розрахункова схема електричної мережі і будується модель автоматизації розрахунків.

2. У схемі електричної мережі для кожного k -го незалежного контуру обчислюємо власну провідність.

3. Вважаємо, що на 0 -й ітерації напруги у вузлах мережі, окрім балансуючого, дорівнюють номінальній напрузі, а струми усіх хорд дорівнюють нулю:

$$\dot{U}_i = \dot{U}_{ном}, \quad (3)$$

$$\dot{I}_{xk}^{(0)} = 0, \quad (4)$$

$$\dot{I}_i^{(0)} = \dot{S}_{ізad} / \hat{U}_i^{(0)} - |U|_i^{(0)2} \cdot \dot{Y}_{i0}, \quad (5)$$

$$\Delta \dot{S}_i^{(0)} = \dot{S}_{ізad}, \quad (6)$$

де i – індекс поточного незалежного вузла розрахункової схеми; k – індекс поточної хорди; $\dot{I}_k^{(0)}$ – струм k -ї хорди на 0 -й ітерації; $\dot{I}_i^{(0)}$ – струм i -го вузла на 0 -й ітерації; $\dot{S}_{ізad}$ – задана потужність i -го вузла; $\hat{U}_i^{(0)}$ – зв'язана напруга i -го вузла на 0 -й ітерації; $\Delta \dot{S}_i^{(0)}$ – відхил потужності на 0 -й ітерації.

4. Використовуючи поточні значення напруги вузлів мережі і струмів

хорд, визначаємо значення струмів вузлів розрахункової схеми. Струми вузлів, до яких примикають хорди, складаються із струмів розрахункових навантажень цих вузлів і алгебраїчної суми струмів приєднаних хорд:

$$\begin{aligned} \dot{I}_i^{(i+1)} &= \dot{I}_i^{(i)} + k_2 (\dot{S}_{изад} - \dot{S}_i^{(i)}) / \hat{U}_i^{(i)} \pm \sum \dot{I}_{xk}^{(i)} = \\ &= \dot{I}_i^{(i)} + k_2 (\Delta \dot{S}_i^{(i)}) / \hat{U}_i^{(i)} \pm \sum \dot{I}_{xk}^{(i)}, \end{aligned} \quad (7)$$

де k_2 – коефіцієнт прискорення зовнішнього ітераційного процесу; $\dot{S}_{изад}$ – задана потужність i -го вузла; $\dot{S}_i^{(i)}$ – розрахункова потужність навантаження i -го вузла схеми на i -ї ітерації; $\hat{U}_i^{(i)}$ – зв'язаний комплекс вектору напруги i -го вузла схеми на i -ї ітерації; $\Delta \dot{S}_i^{(i)}$ – відхил потужності i -го вузла схеми на i -ї ітерації; $\dot{I}_{xk}^{(i)}$ – струм k -ї хорди, прилеглої до i -го вузла.

Комплексне значення струму $\dot{I}_i = I_i' + jI_i''$ для i -го вузла (6) можна легко записати для дійсної I_i' і уявної частин I_i'' .

Нехай $\Delta \dot{S}_i^{(i)} = \Delta S_i'^{(i)} + j\Delta S_i''^{(i)}$, $\hat{U}_i^{(i)} = U_i'^{(i)} + jU_i''^{(i)}$, $\dot{I}_{xk}^{(i)} = I_{xk}'^{(i)} + jI_{xk}''^{(i)}$. Тоді (7) можна розділити на два рівняння (8) і (9) з дійсними числами.

$$I_i^{(i+1)} = I_i^{(i)} + t1 \div \left(\frac{U_i'^{(i)} \cdot \Delta S_i'^{(i)} - U_i''^{(i)} \cdot \Delta S_i''^{(i)}}{|U_i|^2} \right) \pm \Sigma I_{xk}'^{(i)} \quad (8)$$

$$I_i''^{(i+1)} = I_i''^{(i)} + t1 \div \left(\frac{U_i''^{(i)} \cdot \Delta S_i'^{(i)} - U_i'^{(i)} \cdot \Delta S_i''^{(i)}}{|U_i|^2} \right) \pm \Sigma I_{xk}''^{(i)} \quad (9)$$

Якщо для усіх вузлів величини відхилів потужності не перевищують задану величину точності розрахунків по потужності, то передають управління до п.9.

5. Скануючи схему електричної мережі в напрямі від вузлів нижніх ярусів до кореня дерева схеми із заданою (опорною) напругою, на підставі 1-го закону Кірхгофа, визначаємо струми гілок дерева – розімкненій частині схеми, з якої були видалені хорди.

6. Визначаємо значення напруги у вузлах схеми в напрямі від вузла з відомою напругою до найбільш віддалених вузлів.

7. Перевіряємо наявність контурів в схемі. Якщо контур ϵ , то передають управління до п.8, якщо ні, то до п.4.

8. Для кожної k -ї хорди визначаємо величину струму k -ї хорди:

$$\dot{I}_{xk}^{(i+1)} = \dot{I}_{xk}^{(i)} + k_1 \cdot \left(\frac{\dot{U}_i^{(j)} - \dot{U}_j^{(j)} - \dot{I}_{ij}^{(i)} \cdot Z_{ij}}{Z_{xk}} \right) = \dot{I}_{xk}^{(i)} + k_1 \cdot \Delta \dot{U}_{ij} \cdot \dot{Y}_{xk} \quad (10)$$

де Z_{xk} – власний опір k -го контуру; k_1 – коефіцієнт прискорення внутрішнього ітераційного процесу (ВНУП).

Якщо для усіх хорд величини відхилів напруги $|\Delta U|_{ij}^{(i)}$ не перевищують задану величину точності розрахунків по напрузі ε_u :

$$\max \left\{ |\Delta U|_{ij}^{(i)} \right\} \leq \varepsilon_u, \quad (11)$$

то поточний режим розімкненої схеми слід вважати повністю еквівалентним режиму початкової замкнутої ЕМ. У цьому випадку управління передають до п. 9 алгоритму. Інакше виконують п. 4.

9. Закінчення розрахунку, запис у базу даних і аналіз результатів розрахунку.

Якщо в мережі немає контурів, то пункт 7 не виконуємо.

Алгоритм визначення оптимальних значень коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів

Окрім цього, розроблено новий алгоритм визначення оптимальних значень коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів розрахунку режимів роботи ЕМ за допомогою запропонованого багатопорного методу розрахунку струмів контурів.

Досліджені найбільш важливі фактори впливу (коефіцієнти прискорення) на збіжність та швидкість ітераційних методів моделювання режимів роботи великих ЕЕС.

В роботі розглянуто низку прикладів, у яких досліджується вплив трьох важливих факторів: коефіцієнта прискорення внутрішнього ітераційного процесу K_1 , який сприяє приведенню ЕМ до замкнутого виду та знаходиться у діапазоні від 0 до 1, коефіцієнта прискорення зовнішнього ітераційного процесу K_2 , який сприяє уточненню струмів вузлів і знаходиться у діапазоні від 0 до 1, та кількість ітерацій внутрішнього ітераційного процесу K_2 , який може знаходитися у діапазоні від 5 – 75, на цільову функцію Y у вигляді кількості ітерацій розрахунку режимів роботи великої кількості тестових електричних мережі із об'ємами від 14 до 15000 вузлів.

Запропоновано використати планування за схемою повного факторного експерименту (ПФЕ), який реалізує всі можливі комбінації факторів на всіх обраних для дослідження рівнях. Необхідна кількість дослідів N у випадку,

коли змінні варіюються на двох рівнях, визначається наступним чином:

$$N = 2^k,$$

де k – кількість факторів.

Рівні факторів являють собою межі досліджуваної області за даним параметром.

Перехід від системи координат k_1, k_2, k_3 до нової безрозмірної системи координат x_1, x_2, x_3 виконано шляхом лінійного перетворення координат:

$$x_j = \frac{k_j - k_j^0}{\Delta k_j}, \quad j = \overline{1,3};$$

де $k_j^0 = \frac{k_j^{\max} + k_j^{\min}}{2}$ – основний рівень фактору k_j , $\Delta z_j = \frac{k_j^{\max} - k_j^{\min}}{2}$ – інтервал варіювання, k_j^{\max} та k_j^{\min} – відповідно верхній та нижній рівні фактору k_j .

Апріорний аналіз функцій відгуку показав, що зміну кількості ітерацій Y доцільно описати рівнянням регресії наступного виду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (12)$$

Коефіцієнти рівняння регресії (12) у загальному вигляді визначаються за методом найменших квадратів наступним чином:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Отже, будь-який коефіцієнт рівняння регресії b_j визначається скалярним добутком стовпця Y на відповідний стовпець x_j , поділений на кількість дослідів у матриці планування експериментів N :

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i.$$

Ефект взаємодії визначається аналогічно лінійним ефектам. Так, розрахунок b_{ij} виконується за формулою:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_j x_i)_i y_i .$$

Аналогічно обчислюються інші коефіцієнти рівняння регресії.

В табл. 1 наведена структура плану ПФЕ для тестової ЕМ із 14 вузлів, відомою в літературі під назвою 14-bus TEST IEEE.

Користуючись наведеними в табл. 1 даними, можна знайти такі коефіцієнти рівняння регресії:

$$\hat{y} = 22.125 + 1.375x_1 - 1.375x_2 - 7.125x_3 + \\ + 2.375x_1x_2 - 1.875x_1x_3 - 3.125x_2x_3 - 2.375x_1x_2x_3$$

Таблиця 1

Структура плану ПФЕ для тестової ЕМ із 14 вузлів

№ досліджу	Фактори у натуральному масштабі			Фактори у безрозмірній системі координат			Y (кількість ітерацій)
	k_1	k_2	k_3	x_1	x_2	x_3	
1	0.3	0.5	5	-1	-1	-1	29
2	0.7	0.5	5	+1	-1	-1	26
3	0.3	0.9	5	-1	+1	-1	23
4	0.7	0.9	5	+1	+1	-1	39
5	0.3	0.5	25	-1	-1	+1	20
6	0.7	0.5	25	+1	-1	+1	19
7	0.3	0.9	25	-1	+1	+1	11
8	0.7	0.9	25	+1	+1	+1	10

Середнє квадратичне відхилення σ експериментальних Y і розрахункових \hat{y} значень становить $1,34 \cdot 10^{-16}$. Таким чином, рівняння регресії з достатнім ступенем точності описує тестову ЕМ. Поверхня відгуку знайденого рівняння показана на рис. 1.

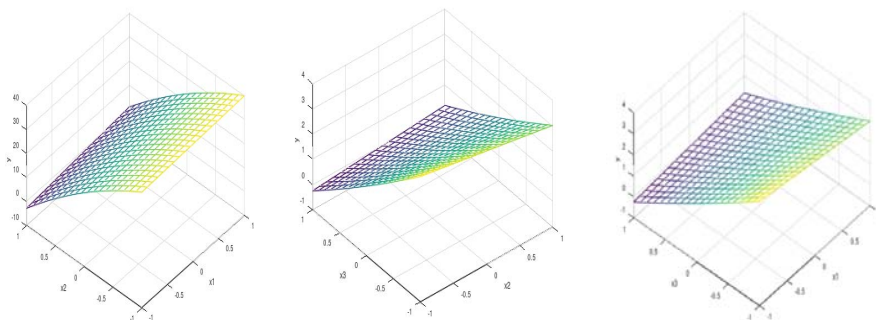


Рис. 1. Поверхня відгуку тестової EM IEEE TEST із 14 вузлів

Мінімальна кількість ітерацій з урахуванням обмежень становить $\hat{y}_{\min} = 19$ при $k_1=0.7$, $k_2=0.06$, $k_3=21.48$.

Збільшення кількості вузлів до 870, гілок – до 1041, контурів – до 196 і дерев до 845 при середньому навантаженні не змінює порядок середньої квадратичної похибки: $\sigma = 3,24 \cdot 10^{-16}$, але мінімальна кількість ітерацій збільшується до 264.

Рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = 204.38 + 10.62x_1 - 69.12x_2 + 7.12x_3 + 7.12x_1x_2 + 2.88x_1x_3 + 4.62x_2x_3 + 5.38x_1x_2x_3$$

Пошук мінімуму функції Y виконано симплексним методом.

Якщо за показник якості обрати час розрахунку схеми, то мінімальний час з урахуванням обмежень становитиме 1,3 секунди при $k_1=0.3$, $k_2=0.21$, $k_3=16$.

$$\hat{y} = 1.63 - 0.13x_1 - 0.41x_2 + 0.12x_3 + 0.17x_1x_2 + 0.17x_1x_3 + 0.1x_2x_3 - 0.2x_1x_2x_3$$

Використання ПФЕ дозволяє забезпечити оптимальні швидкісні характеристики не тільки багатого опорного методу розрахунку струмів контурів, а і методу Ньютона-Рафсона.

В табл. 2 наведена порівняльна таблиця досліджуваних методів моделювання режимів робот великих ЕЕС. Розрахунки режимів виконувалися з використанням чотирипроцесорних серверів HPE Proliant DL580 Gen10 із процесорами типу Xeon14C 2.2GHz(19,25Mb) і оперативною пам'яттю DDR4-2666 ECC Reg.

Порівняльна таблиця досліджуваних методів моделювання режимів робот великих ЕЕС

№	Найменування ЕЕС	Кількість вузлів ЕМ	Кількість контурів ЕМ	Час розрахунку, сек			
				Локальне середовище		Розподілене середовище	
				Метод Ньютона-Рафсона	БОМ розрахунку струмів контурів	Метод Ньютона-Рафсона	БОМ розрахунку струмів контурів
1	Західна	2010	617	1.023	0.311	0.211	0.131
2	Південно Західна	1804	303	0.905	0.315	0.301	0.127
3	Південна	1506	356	0.801	0.243	0.154	0.065
4	Центральна	2503	471	1.084	0.312	0.231	0.099
5	Північна	5007	905	1.326	0.431	0.324	0.107
6	Кримська	1650	383	0.852	0.274	0.256	0.093
7	Донбаська	2118	475	0.954	0.312	0.197	0.089
8	ОЕС України	13158	5628	2.671	1.191	0.354	0.959

Висновки

Вирішена актуальна задача визначення оптимальних коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів рішення систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, які описують режими роботи великих ЕЕС і об'єднань.

Наведено результати чисельних експериментів, які підтверджують ефективність запропонованого підходу, обґрунтована можливість застосування запропонованого алгоритму у процесах організації протиаварійних тренувань оперативного персоналу.

Здійснено розробку промислового варіанту модуля розрахунку оптимальних коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів в реальному часі.

Отримані результати дають можливість застосовувати найбільш сучасні методи моделювання різноманітних режимів роботи складних ЕЕС, що дозволяє проводити більш ґрунтовний їх аналіз.

Використання ПФЕ дозволяє забезпечити оптимальні швидкісні характеристики не тільки багатого опорного методу розрахунку струмів контурів, а і методу Ньютона-Рафсона.

1. Непман Л.Р., Демірчян К.С. Теоретические основы электротехники: в 2-х т. Учебник для вузов. Том I. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 536 с., ил.
2. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы). Учеб. пособие для вузов. М., "Высш. школа", 1975, 290 с. с ил.

3. Гуреев В.О. Розробка алгоритмів і програм швидкодіючих методів розрахунку режимів роботи великих електроенергетичних систем (ЕЕС) і енергооб'єднань (ЕО) для тренажерів // Наукові праці ВНТУ, – 2018, № 1, С.1-5.
4. Гуреев В.О. Моделирование великих энергосистем для побудови комп'ютерних розподілених тренажерних систем в енергетиці // Моделирование та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 83. – К.:2018. – С.94-105.
5. Гуреев В.А. Построение обучающего дистанционного тренажера для подготовки персонала энергетической отрасли / В. А. Гуреев, О. В. Сангинова. // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. – 2017. – С.52-58.
6. Гуреев В.А. Принципы организации национальной системы обучения и тренажа персонала объединенной электроэнергетической системы Украины / В. А. Гуреев, В. Д. Самойлов, О. В. Сангинова. // Электронное моделирование. – 2016. – №4. – С. 109–121.
7. Воронай Н.И. Упрощение математических моделей динамики электроэнергетических систем, Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1981.
8. Ананичева С.С., Музин А.Л. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: Учеб. пособие, Екатеринбург: УрФУ, 2011.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3612250>

Поступила 12.09.2019р.

УДК 004.02+004.05+005.93+ 510.3

Є.С. Родін, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ БЕЗПЕКИ В РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Abstract. The architectural principles of the of distributed information systems operation are disclosed. A projection of the information security system was built taking into account the architectural characteristics of distributed information systems. The interconnections of security system elements with elements of distributed systems are determined. The principles of modeling security systems for distributed systems are proposed.

Вступ. Швидкий розвиток інформаційних технологій пропонує нові підходи до автоматизації в таких напрямках діяльності, як розв'язання наукових задач, підтримка процесів прийняття рішень, обробка безперервних транзакцій даних, інформаційне обслуговування бізнес-процесів та ін. Практично жодне з перелічених завдань сьогодні не вирішується локально. Можливість доступу до відносно дешевих розподілених інформаційно-обчислювальних потужностей переважає ризики виведення цінної інформації в слабозахищені масоводоступні розподілені інформаційні системи. Актуальним завданням наразі стає адаптація або створення нових підходів і методів щодо захисту інформації тепер уже в динамічних системах розподіленої в просторі та