

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гоголюк Оксани Петрівни на тему "Розвиток теорії та методів аналізу динамічних режимів електричних кіл на основі макромодельовання", подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

На сучасному етапі розвитку теоретичної електротехніки важливого значення набуває комплексне розв'язання проблем прогнозування, планування і аналізу функціонування електротехнічних систем (ЕТС). Це вимагає розроблення нових та удосконалення існуючих математичних і комп'ютерних моделей ЕТС і їхніх елементів з подальшою реалізацією на сучасних швидкодіючих програмно-апаратних комплексах.

Розроблення універсальних методів побудови математичних моделей електротехнічних систем і їхніх елементів для дослідження динамічних режимів є актуальною дослідницькою задачею. Ця задача передбачає розв'язання таких протиріч, як необхідність детального відображення характеристик та параметрів об'єкту у моделі, з одного боку, та спрощення математичної форми опису – з іншого. Таким чином, важливим є знаходження компромісу між адекватністю, складністю побудови моделі та швидкодією обчислень.

Тому тема дисертації Гоголюк О.П., спрямована на розробку нових теоретичних підходів та методів покращення якості, швидкості та адекватності аналізу динамічних режимів і процесів ЕТС шляхом розроблення нових макромоделей, їх інтеграції в сучасні програмні засоби аналізу режимів і процесів нелінійних електромагнітних кіл, є актуальною.

Актуальність теми дисертаційного дослідження підтверджується тим, що воно виконувалося у відповідності до Державної науково-технічної програми «Енергоефективні та ресурсозберігаючі технології генерування, перетворення та використання енергії», а також в рамках п'яти держбюджетних НДР.

### **Наукова новизна роботи полягає у наступному:**

1. Отримала подальший розвиток теорія та методи побудови математичних моделей електричних кіл і ЕТС у цілому, а також їхніх елементів на основі експертного аналізу апріорної інформації, макромодельовання й діакоптики, що надає змогу враховувати складність досліджуваної системи та пришвидшити її розрахунок.
2. Удосконалено метод побудови дискретних макромоделей у вигляді "чорної скриньки" з використанням змінних стану, що дало змогу вперше створити низку адекватних математичних моделей як окремих електричних кіл, так і елементів електротехнічних систем із збереженням обсягу інформації, необхідної для аналізу їхніх динамічних режимів.
3. Розроблено методи адаптації дискретних макромоделей у вигляді "чорної скриньки" до сучасних програмних середовищ, що забезпечує можливість аналізу динамічних режимів складних електротехнічних систем з використанням дискретних макромоделей у складі комп'ютерних середовищ MATLAB/Simulink і АТР/ЕМТР.
4. Уперше розроблено математичні методи дискретного макромодельовання для побудови моделей прогнозування енергоспоживання об'єктів без покрокового оброблення апріорної інформації. Це дало змогу здійснити прогнозування як коротко-, так і довготривалого

енергоспоживання енергооб'єктів України, що в цілому сприяє підвищенню ефективності енерговикористання.

**Практична цінність** і ефективність дисертаційної роботи для вирішення задач теоретичної електротехніки полягає у наступному.

Теоретичні засади та практичні результати, одержані здобувачем, доцільно застосовувати в навчальному процесі закладів вищої освіти України та в енергетичних підприємствах України для аналізу режимів і процесів електротехнічних систем, а також у науково-дослідних установах відповідного спрямування. Наукові положення та висновки дисертації використані в навчальному процесі під час викладання спеціальних дисциплін для магістрів і аспірантів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка в Національному університеті "Львівська політехніка".

Окрім цього, основні результати досліджень використано під час експлуатації електричних мереж для аналізу режимів і процесів на основі математичних макромоделей елементів електропересилання та прогнозування, що впроваджені в ПАТ ЕК "Вінницяобленерго" і РДЦ Західного регіону. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджені документально.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.**

Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими, а їхня достовірність підтверджена результатами експериментальних досліджень. Адекватність отриманих результатів підтверджується коректністю математичної постановки задач з використанням реальних чи отриманих шляхом комп'ютерного експерименту перехідних характеристик досліджуваних об'єктів (лінії електропересилання, енергоострови), вивченням фізичних властивостей об'єктів за допомогою експертного аналізу та порівнянням результатів, одержаним шляхом комп'ютерного моделювання, з результатами натурних і комп'ютерних експериментів. Результати досліджень, наведені в роботі, одержано з використанням сучасних методів аналізу перехідних процесів лінійних і нелінійних електромагнітних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами, застосуванням методів теорії динамічних систем, експертного аналізу та методів оптимізації для побудови дискретних математичних макромоделей у вигляді "чорної скриньки".

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджена результатами математичного моделювання, актами впровадження результатів дисертаційної роботи, значною кількістю публікацій і апробації матеріалів дисертації на наукових семінарах НАН України та міжнародних науково-технічних конференціях.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Публікації здобувача відповідають темі дисертації, повністю висвітлюють наукові положення та результати виконаних наукових досліджень, в повному обсязі відображають отримані положення, наукові результати та висновки, свідчать про їх новизну.

Основні результати дисертації опубліковано в одній монографії, 46 друкованих працях, з них 14 – у наукових фахових виданнях України (в тому числі 2 статті у виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus); 7 – у наукових періодичних виданнях, що

входять до міжнародних науково-метричних баз (Scopus), 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави, 1 стаття в періодичному виданні України, 23 матеріалах конференцій (в тому числі 9 - у наукометричній базі даних Scopus); 3 праці опубліковані одноосібно.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності**

Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаної літератури, переліку скорочень термінів і додатків. Повний обсяг становить 318 сторінок. Робота містить 52 ілюстрації до тексту, 9 таблиць, перелік умовних скорочень на 1 сторінці, список використаних джерел із 294 найменувань, два додатки на 13 сторінках. Обсяг основного тексту становить 274 сторінки.

У вступній частині подано анотації до роботи українською й англійською мовами, обгрунтовано актуальність теми досліджень, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету й задачі, об'єкт і предмет досліджень. Вказано методи досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані щодо результатів впровадження, особистого внеску здобувача, апробації та публікацій.

У першому розділі наведені основні теоретичні засади математичного моделювання та макромоделювання динамічних систем.

У другому розділі розглянуто класичні методи побудови макромоделей; виконано процедуру побудови дискретних лінійних і нелінійних макромоделей у вигляді "чорної скриньки" в формі дискретних рівнянь стану; запропоновано алгоритм створення математичних макромоделей складних електричних кіл і ЕТС у формі дискретних рівнянь у вигляді "чорної скриньки" з використанням експертного аналізу та розбиттям процесу побудови на етапи.

У третьому розділі здійснено огляд засобів моделювання електротехнічних систем і їхня реалізація на одно- та багатопроцесорних комп'ютерах, а також виконано огляд наявних моделей і макромоделей елементів ЕТС.

У четвертому розділі розглянуто застосування експертного аналізу для підготовки апріорної інформації з метою побудови макромоделей ЕТС і їх елементів.

У п'ятому розділі розглянуто практичну побудову дискретних макромоделей складних ЕТС на основі результатів математичного моделювання й оперативного контролю.

У шостому розділі наведено способи адаптації дискретних макромоделей до комп'ютерних середовищ моделювання перехідних процесів нелінійних електромагнітних кіл.

У сьомому розділі розглянуто практичне застосування методів макромоделювання для коротко- та довготермінового прогнозування енергоспоживання електроенергетичних об'єктів України.

У переліку використаних джерел наведені монографії, публікації в періодичних виданнях і матеріалах конференцій, використаних здобувачем у дисертаційній роботі.

У додатках наведено список праць здобувача й документи, що підтверджують використання результатів дисертаційної роботи в навчальному процесі, наукових дослідженнях і електроенергетичних компаніях України.

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, у витриманому науковому стилі, доступному для сприйняття.

Висновки до кожного розділу та дисертації в цілому відображають її зміст і наукову значущість результатів досліджень для науки та практики. Пояснення в тексті супроводжуються необхідною кількістю рисунків, таблиць і математичними викладками. На всі пронумеровані формули, рисунки, таблиці, додатки, а також літературні джерела, є посилання в тексті. Робота виконана на високому теоретичному рівні, а її обсяг відповідає вимогам щодо оформлення, що висуваються до докторських дисертацій.

У дисертації не виносяться на захист положення та наукові результати, що отримані здобувачем у кандидатській дисертації.

### **Недоліки та зауваження до змісту дисертаційної роботи**

*Суттєві зауваження за змістом дисертації:*

1. У формулюванні задачі Коші (1.1), (1.2) мають бути задані початкові умови.
2. Рівняння (1.12), (1.15), (3.4) мають однакову ліву частину  $H(s)$ , але суттєво різні праві частини.
3. Перше рівняння системи (1.21) містить не  $x^{(k)}$ , а  $x^{(k+1)}$ , а перше рівняння системи (1.22) -  $x^{(k)}$ , хоча вони мають бути тотожними.
4. На с.159 йдеться про важливість проблеми «формування колективу експертів», хоча попередньо (с.156) йшлося про дельфійський метод, який принципово заперечує формування колективу експертів, а базується на анонімності експертних оцінок.
5. У розділі 4 сформульовано задачі і методи експертних оцінок, описано особливості їх застосування, але власне застосування чи результатів немає.
6. На с.179 йдеться про введення додаткового джерела живлення в коло навантаження з посиланням на рис.5.1, але на рис.5.1 цього джерела немає, так само як і у моделі рис.5.2.
7. Моделювання лінії електропересилання здійснювалося за умови, що хвильовий опір  $Z_c=282.8$  Ом; однак хвильовий опір може розглядатися як чисто активний лише для нескінченно довгої лінії.

*Зауваження за структурою та оформленням:*

- назва підрозділу 3.4 «Моделі і макромоделі елементів електротехнічних систем» - дуже загальна і дуже схожа на назву розділу 1 та підрозділу 1.1;
- матеріал обсягом 32 сторінки (підрозділи 3.1, 3.2, 3.3) містить огляд та порівняння існуючих програмних середовищ, а також величезну порівняльну таблицю, яка займає 6 сторінок; так само опис існуючих апаратно-програмних комплексів на сс. 148-154 недоцільно наводити у 4-му розділі; варто було б перенести цей матеріал до першого розділу або у додаток;
- розділ 4 має назву «Апріорна інформація для побудови...», проте назва та зміст підрозділу 4.2 не відноситься до цієї тематики;
- нелогічні назви підрозділів 2.1 «Алгоритм побудови .. макромоделі...» та 2.2 «Алгоритм побудови .. макромоделей...»; підрозділів 2.3 «Дискретні макромоделі лінійних об'єктів» та 2.4 «Дискретні макромоделі нелінійних елементів»;
- вираз (3.1) являє собою класичний закон Ома, наведення його у третьому розділі докторської дисертації цілком недоцільно; аналогічно, вирази (6.2)–(6.4) – загальновідомий метод Ейлера, немає сенсу наводити їх у 6-му розділі;

- с.184 – якість рис.5.4 не дозволяє оцінити результати верифікації побудованої макромоделі, оскільки, судячи з пояснювальних написів, кожен графік має містити 4 залежності, але їх зовсім не видно.

*Зауваження до термінології:*

- для одного і того самого поняття (вихідного сигналу) використовуються різні терміни: «перехідні характеристики», «вихідні змінні», «вихідний сигнал», «вектор вихідних змінних»; для поняття вхідного сигналу використовуються терміни «вхідний сигнал», «вектор вхідних збурень» та різні позначення;
- «символічні» та «символьні», стор.58,59.

*Повтори:*

- система (2.1) повторює рівняння (1.3) та (1.4);
- вираз (3.6) еквівалентний (1.3) – немає сенсу його наводити у 3-му розділі;
- системи (5.15) та (5.20) майже повністю повторюють (1.22), система (6.1) – тотожня (1.22), (5.23) тотожня (1.23).

*Невдалі вирази, неточності, помилки, описки:*

- с.24 «З метою вирішення проблем ... задача ... залишається актуальною проблемою»;
- с.25 «рівень стану» замість «рівнянь стану»;
- с.27, мета роботи: «розвиток і удосконалення теорії та методів ... з використанням методів»;
- с.28, об'єкт досліджень: «режими та процеси .. на основі макромодельовання»;
- с.37 «... система є результатом ... ідеалізації, що полягає у нехтуванні...»;
- с.40 «моделі будують за ознаками, такими як ... описання доступної інформації»;
- с.41, назва рис. 1.2 «Побудова математичних моделей», але насправді це швидше класифікація;
- у (1.25) замість  $k$  має бути  $N$ , як у (1.24);
- вирази (1.9) та (2.8) для поліному  $b(s)$  різні;
- позначення вектор-функцій  $g(x, X)$  у (2.62) та  $g_1(x_{(1)}, V_{(1)})$  у (2.66) майже однакові, але вочевидь йдеться про різні функції, оскільки вони залежать від різних аргументів; у (2.61) від  $x_{(i)}, V_{(i)}$  залежить функція  $f_{(i)}$ ;
- с.90 «... виникла необхідність аналізу ... з метою подальшого аналізу...»;
- с.158, другий етап експертного аналізу – «постановка експертного аналізу»;
- с.168 «... макромоделей вигляду ... у вигляді ...»;

Наведені зауваження до дисертації не стосуються її принципових положень і наукових результатів, і не позначаються на загальній високій оцінці роботи.

**Висновок**

Дисертаційна робота Гоголюк Оксани Петрівни "Розвиток теорії та методів аналізу динамічних режимів електричних кіл на основі макромодельовання" є завершеною самостійною кваліфікаційною науковою роботою, яка містить нові науково обгрунтовані результати в галузі теоретичної електротехніки, що в сукупності вирішують важливу наукову проблему вдосконалення методів аналізу й синтезу математичних моделей

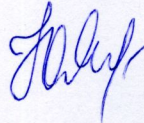
електротехнічних систем і пристроїв на основі макромодельовання та дають можливість практичного впровадження у сучасні програмно-апаратні комплекси з метою покращення якості аналізу динамічних режимів і процесів, їх прогнозування у складних та розгалужених електротехнічних системах.

За темою та змістом дисертація відповідає спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка й оформлена згідно з вимогами до оформлення дисертацій, затверджених наказом МОНУ 12.01.2017 р. за №40.

Подана дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор Гоголюк Оксана Петрівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка.

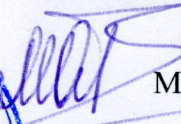
**Офіційний опонент,**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри промислової електроніки  
Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського»



Ямненко Ю. С.

Підпис Ямненко Ю.С. засвідчую  
Вчений секретар КПІ ім. І.Сікорського



Мельниченко А.А.

19.11.2018 р.