

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гурсєва Віктора Олександровича на тему «Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 01.05.02 — Математичне моделювання та обчислювальні методи.

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Сьогодні в Україні помітна тенденція збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у складі наявних потужностей на тлі швидкого старіння і деградації енергетичного генерувального і розподільного устаткування. Це призводить до ускладнення структур генерації/споживання енергії і систем управління ними. Спостерігається стійка тенденція зростання вірогідності виникнення великих системних аварій на підстанціях об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України. Ця тенденція пов'язана із зниженням кваліфікації оперативно-диспетчерського персоналу та критичним фізичним зносом і деградацією практично усього енергетичного устаткування ОЕС України.

Відомо, що надійність роботи електроенергетичних систем (ЕЕС) значною мірою забезпечує кваліфікований персонал, який керує режимами роботи енергетичного устаткування. Сьогодні, на жаль, система підготовки оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж не відповідає сучасним вимогам і потребує значної модернізації із застосування сучасних інноваційних технологій. Нині у магістральних електричних мережах (МЕМ) ОЕС України відчувається гостра нестача сучасних тренажерних засобів для формування і підтримки ключових компетентностей оперативно-диспетчерського персоналу, а саме, готовності швидко розпізнавати умови виникнення різних системних аварій, попереджати і швидко усувати їх наслідки.

Пропонована автором розподілена електронна веб-орієнтована тренажерна система підготовки оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ є складною людино-машинною системою. В роботі ця тренажерна система представлена у вигляді наступних взаємозв'язаних підсистем: моделюючого комплексу МЕМ, бази даних МЕМ, графічного людино-машинного інтерфейсу, конструктора тренувальних занять (ТрЗ) і бази знань оцінки рівня навичок і готовності персоналу ліквідувати різні аварії. Такий підхід до побудови розподілених комп'ютерних тренажерів дозволяє формувати всі ключові компетентності оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ.

Таким чином, дисертаційна робота Гурсєва Віктора Олександровича є актуальною, оскільки спрямована на вирішення важливої науково-прикладної проблеми розроблення теорії побудови веб-орієнтованих тренажерних систем з врахуванням особливостей їх впровадження, масштабування та підтримки функціонування в умовах ОЕС України.

Дисертаційна робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в рамках науково-дослідних робіт: "Дослідження та розробка віртуального середовища Національної системи електронного навчання та тренажу персоналу об'єднаної електроенергетичної системи України", шифр "ПЕРСОНАЛ", державний реєстраційний № 0117U004348 і "Розробка методів

УПМЕ 6х. 343 1  
30.11.2020р.

оцінювання чутливості Об'єднаної енергосистеми України до кібернетичних впливів", шифр "Вплив", державний реєстраційний № 0118U005320.

**Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам.** У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукову проблему, мету й напрямки досліджень. Наведено наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність та взаємозв'язок розв'язуваних питань і завдань з науковими програмами Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Надано відомості про публікації та апробацію дисертаційної роботи.

У *першому розділі* розглядаються важливі питання функціонування наявної системи підготовки персоналу в МЕМ ОЕС України та шляхи її модернізації. Наведено важливі проблеми системи підвищення кваліфікації та формування компетентностей: недостатньо уніфікована учбово-методична база системи підготовки оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ; не можливо реалізувати сучасний компетентнісний підхід до тренажерної підготовки персоналу через відсутність потрібної кількості комп'ютерних тренажерів; відсутні доступні відкриті загальні веб-ресурси для отримання персоналом структурованих знань з питань підвищення кваліфікації та багато інших. За результатами аналізу цих проблем обґрунтовано відповідні методи, комп'ютерні технології і шляхи їх вирішення. Досліджено технічні і наукові проблеми побудови комп'ютерних тренажерних систем для підстанцій МЕМ ОЕС України, розроблено теоретичні основи технології їх конструювання, запропонована стратегія інноваційного розвитку системи підготовки персоналу МЕМ на базі сучасних інтелектуальних концепцій. Розглянуто сучасні питання стратегії розвитку віртуальних технологій в енергетиці та можливості їх застосування для побудови тренажерних систем (Smart Grid, IoT, BigData та Industry 4.0 та ін.).

У *другому розділі* роботи розглядаються важливі питання онтологічного аналізу МЕМ ОЕС України, як предметної області досліджень. Розроблено концептуальну, логічну і фізичну схем бази даних (БД) інформаційної частини моделі МЕМ, розглянуто проблеми побудови і моделювання інформаційної частини великих ЕЕС та ОЕС для використання у веб-орієнтованих тренажерних системах оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж. Досліджено та розроблено математичні моделі ЕЕС для використання в розподіленому моделюючому комплексі тренажерних систем ОЕС України для забезпечення надійної і стійкої паралельної роботи всіх ЕЕС з високою якістю електроенергії. Показано, що надійна робота ОЕС дуже залежить від рівня кваліфікації експлуатаційного та оперативно-диспетчерського персоналу і що створення ефективних систем навчання і тренажерної підготовки оперативного персоналу МЕМ можливе із застосуванням повної інформаційної частини моделі ОЕС України.

У *третьому розділі* розглядаються теоретичні проблеми моделювання веб-орієнтованих комп'ютерних тренажерів і аналізуються важливі властивості методів розрахунку параметрів режимів великих ЕЕС і ОЕС. Показано, що комп'ютерний тренажер для оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ є програмно-технічним функціонально орієнтованим засобом навчання, який забезпечує персонал можливістю адекватно моделювати задані режими роботи і умови експлуатації устаткування великих енергосистем в навчальному процесі для формування ключових компетентностей персоналу за допомогою різноманітних тренувальних занять. Розглянуто проблеми моделювання усталених і перехідних режимів (УР і

ПР) роботи великих ЕЕС, а також математичні, інформаційні і комп'ютерні моделі методів моделювання, включаючи важливі питання збіжності ітераційних процесів різних методів моделювання, існування і єдиності розв'язання систем нелінійних рівнянь стану електричних мереж (ЕМ). Досліджено можливості методу Ньютона-Рафсона для моделювання режимів великих енергосистем та багатоопорного методу (БОМ) розрахунку контурних струмів (РКС) з метою перевірки доцільності їх використання у комп'ютерних тренажерних системах. Оптимізовано коефіцієнт прискорення внутрішнього ітераційного процесу  $K_1$ , який сприяє приведенню ЕМ до замкнутого виду та знаходиться у діапазоні від 0 до 1, коефіцієнту прискорення зовнішнього ітераційного процесу  $K_2$ , який використовується для уточнення струмів вузлів і знаходиться у діапазоні від 0 до 1, та кількості ітерацій внутрішнього ітераційного процесу  $K_3$ , який може знаходитися у діапазоні від 5 – 75. Як цільову функцію запропоновано використовувати кількість зовнішніх ітерацій розрахунку режимів роботи великих (до 15000 вузлів) ЕЕС. Запропоновано новий метод розрахунку оптимальних коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів в темпі розрахунку усталених режимів роботи великих ЕЕС та ОЕС.

В *четвертому розділі* розглянуто теоретико-методологічні основи конструювання комп'ютерних технологій для побудови веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки оперативно-диспетчерського персоналу в МЕМ. В результаті аналізу сучасних віртуальних технологій в роботі запропонована для подальшого використання технологія XEN/KVM з відкритим кодом. Ця технологія для, наприклад, операційної системи SUSE Linux є вбудованою і тому вона легко інтегрується з віддаленими серверами і БД. Розподілена система баз даних (РСБД) і серверів додатків обчислювальної мережі (ОМ) веб-орієнтованої тренажерної системи об'єднана в глобальну мережу (ГМ) і орієнтована на функціонування у складі хмарної інфраструктури з доступом в Інтернет. Розвинуто теоретичні основи функціонування моделюючого комплексу веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки персоналу, запропоновані принципи побудови ефективних методів розрахунку параметрів режимів роботи великих ЕЕС.

У *п'ятому розділі* дисертації розглядаються питання модельного конструювання веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки персоналу МЕМ та особливості їх використання на підстанціях МЕМ. Наведено приклади організації та функціонування веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки персоналу у розподіленому середовищі моделювання віртуальної системи підготовки персоналу в МЕМ ОЕС України. Представлено результати розв'язання задач інтеграції підсистем веб-орієнтованих комп'ютерних протиаварійних тренажерів для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу на різних рівнях ієрархічної системи управління ОЕС України.

Таким чином, Гурєєв В.О., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень і технічні засоби, досяг поставлену мету – розробив веб-орієнтовані тренажерні системи оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ шляхом побудови відповідних математичних моделей, обчислювальних методів, принципів і алгоритмів для формування і контролю ключових компетентностей персоналу з розпізнавання та попередження умов виникнення аварійних ситуацій і ліквідації їх наслідків.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.** В дисертації Гурєєв В.О. отримав такі результати, які мають суттєву наукову новизну:

- вперше запропоновано метод організації процесів моделювання, зокрема: визначення складу та структури концептуальної схеми предметної області досліджень, підготовка первинної інформації для моделюючого комплексу веб-орієнтованих тренажерних систем, а також система автоматизації розрахунків на базі багатоопорної топологічної моделі мережі ЕЕС та ОЕС, яка на відміну від наявних дає змогу враховувати у розрахункових моделях вироджені контури, що можуть утворюватися окремим опорними (балансуючими) вузлами;

- удосконалено створення тренувальних занять на основі використання заздалегідь підготовленої повномасштабної моделі електричної мережі та технологію конструювання функціональних груп моделей стану об'єкта управління веб-орієнтованих тренажерних систем на основі аналізу протиаварійної робочої діяльності оперативно-диспетчерського персоналу у вигляді наборів певних параметрів;

- розвинено: метод побудови моделі управління об'єктами електричної мережі, що відповідає моделі робочої діяльності персоналу під час виконання тренувальних завдань в процесі їх створення; метод розрахунку комплексних параметрів ustalених режимів і перехідних процесів роботи енергосистем підвищеної продуктивності, орієнтований на ітераційне урівноваження струмів і потужності контурів; - метод формування і підтримки ключових компетентностей оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ ОЕС України.

Положення і висновки відносно суті проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей обґрунтовані в роботі і базуються на принципах системного аналізу, теорії математичного моделювання. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі Гурєєва В.О. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень **достатньо обґрунтовані** і відповідають дійсності. **Достовірність** їх забезпечується та підтверджується коректним застосуванням сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання; обчислювальними експериментами для тестових задач з відомим розв'язком; досвідом практичного використання розроблених програмних засобів; детальним та всебічним аналізом отриманих результатів; достовірністю отриманих результатів, що засвідчено актами впровадження; матеріали дисертації доповідались і обговорювались на міжнародних й всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також на наукових семінарах.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони відображені у трьох монографіях, 57 публікаціях, а саме: 29 статей у фахових наукових виданнях, 11 із них у міжнародних наукометричних базах (Scopus та ін.), двох авторських свідоцтвах, 14 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій та 14 публікацій в галузевих виданнях.

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (333 бібліографічних найменувань) та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 432 сторінки, в тому числі 298 сторінок основного тексту, включаючи 99 рисунків, 12 таблиць. Автореферат дисертації адекватно відображає положення дисертаційної роботи.

**Практична цінність роботи.** Результати досліджень використовуються по теперішній час, що підтверджено відповідними актами впровадження (більше 40). Розроблені комп'ютерні тренажери були впроваджені на всіх, яких більше 125, високовольтних підстанціях напругою 220 ...750 кВ в ПрАТ НЕК "Укренерго".

Програмні комплекси тренажерних систем оперативних перемикань в електричних мережах були впроваджені в учбовий процес двох кафедр факультету електроенерготехніки та автоматики Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського. Починаючи з 2007 року і по теперішній час у Центрі підвищення кваліфікації керівників і спеціалістів Мінекоенерго КПІ ім. Ігоря Сікорського проводяться заняття з підвищення кваліфікації диспетчерів районів електромереж, центральних диспетчерських служб енергосистем та енергопостачальних компаній з використанням розробленого автором повнофункціонального режимного тренажера ПОРТ.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Мало уваги було приділено дослідженню наявних сучасних методів розв'язку систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, які застосовуються в сучасному світі.
2. Запропонований метод декомпозиції ЕМ для розв'язку задачі розрахунку режимів роботи великих ЕЕС та ОЕС їх об'єднань у веб-орієнтованих системах підготовки оперативно-диспетчерського персоналу може приводити до збільшення часу розрахунку у зв'язку з деякою невизначеністю реакції Інтернету.
3. В дисертаційній роботі не наведено результати чисельних розрахунків, пов'язаних із пошуком оптимальних коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів.
4. Не охоплено тренажерами оптимальне керування потоками електроенергії для того, щоб визначити, а потім і використати можливості конкретних трансформаторів з ППР для керування поточкорозподілом з метою зменшення втрат електроенергії в мережах і оптимізації режимів ЕЕС по напрузі. Оскільки можливості трансформаторів впливати на поточкорозподіл суттєво відрізняються, то така інформація була б корисною для диспетчера.
5. У процесі тренування здійснюють імітацію збурень в системі. На сьогодні одним з таких природних збурень є відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Імітація нестабільності генерування ВДЕ може дати додаткову інформацію щодо точки їх приєднання до системи, їх потужності, а також їх ролі в балансуванні режимів ЕЕС.
6. Доцільно було б аналізувати чутливість математичних моделей процесів, які досліджуються під час тренування. Наприклад, збурень в системі. Тут, можливо, корисними були б результати розв'язування зворотної задачі чутливості. Вони б дозволили оцінити допустимі значення збурень.
7. В роботі недостатньо йдеться щодо використання натурно-імітаційного моделювання. Для цього можна було б скористатися базою даних в ЕЕС, яка формується ОІК та пристроями типу РЕГІНи.
8. Необгрунтовано, чому для розрахунку усталених режимів ЕЕС використовуються контурні математичні моделі (п. 2.5), а не методи і моделі вузлових напруг. Хоча в подальшому останні використовуються.
9. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У дисертації зустрічаються граматичні помилки і описки, проте їх кількість не виходить за допустимі межі. Приведені зауваження не є визначальними та не знижують загальний рівень проведених досліджень. Вони не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості й практичної цінності дисертаційної роботи.

#### **Висновки.**

Дисертаційна робота Гурєєва Віктора Олександровича відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи.

Публікації автора у повному обсязі відображають результати виконаних досліджень. Отримані результати наукових досліджень достовірні, достатньо обґрунтовані, мають наукову та прикладну значимість.

Дисертаційна робота Гурєєва В. О. «Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж» є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлено і вирішено важливу науково-технічну проблему, яка полягає у розробленні теорії побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж з врахуванням особливостей їх впровадження, масштабування та підтримки функціонування в умовах ОЕС України. Одержані результати мають наукову новизну і практичне значення. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), а її автор - Гурєєв Віктор Олександрович - заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри електричних станцій і мереж  
Вінницького національного технічного університету



П. Д. Лежнюк

Підпис   
**ПОСВІДЧУЮ**  
Зав. канцелярією 