

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Василіва Карла Миколайовича

на дисертаційну роботу Гуреева Віктора Олександровича

„Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж”, подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. Електрична енергія, на відміну від відомих інших, характерна низкою критично важливих особливостей в багатьох принципово важливих аспектах: можливість її генерування та споживання в практично не обмеженому діапазоні потужностей, перетворення як механічної в електричну, так і навпаки, а також перетворення електричної енергії в теплову, світлову та навіть в хімічну. Особливо варто наголосити на можливості її відносно дешевого та зручного транспортування. Саме ці особливі властивості спонукають до тотального використання електроенергії в сучасному суспільстві.

В Україні функції генерування, пересилання та споживання електроенергії виконують окремі електроенергетичні системи (ЕС), які сполучені в об'єднану енергетичну систему (ОЕС) України. Критично важливим для функціонування ОЕС України окрім генерування та пересилання електроенергії є забезпечення кількісно прописаних показників базових параметрів, до яких належать величина електричної напруги та її частоти, а також дотримування балансу потужностей у всій ОЕС відповідно графіків генерування та споживання електроенергії. В контексті останнього важливо зазначити, що в разі виходу за встановлені межі частоти напруги з метою убезпечення електроустаткування ЕС від ушкоджень передбачено автоматичне роз'єднання ОЕС на окремі частини з від'єднанням енергоблоків електростанцій від магістральних електромереж (МЕМ). Така ситуація кваліфікується як аварійна, а тому є абсолютно не прийнятною. Для запобігання аварійних ситуацій та виходу з них необхідна не лише наявність та належне спрацювання швидкодійної автоматики, але й наявність висококваліфікованого оперативно-диспетчерського персоналу та його професійні і злагоджені дії. Саме остання обставина окреслює окрему важливу проблему, яка полягає в необхідності підготовці високопрофесійного оперативно-диспетчерського персоналу.

Базову підготовку фахівців електроенергетики надають профільні вищі навчальні заклади. Спеціалізовану предметну підготовку оперативний персонал отримує безпосередньо на робочому місці через проходження навчання на спеціалізованих курсах із використанням відповідних методичних і технічних засобів. На

УПМБ вх. 350
04.12.2020р.

сьогодні з цією метою успішно використовуються комп'ютерні технології у формі тренажерних систем, які дають змогу в реальному часі моделювати перебіг електромагнітних та електромеханічних процесів, які відбуваються в ОЕС та на підставі результатів моделювання приймати рішення, згідно з якими виконувати відповідні оперативні перемикання.

Аналіз стану справ в області підготовки оперативно-диспетчерського персоналу ОЕС України показує, що на сьогодні ефективних програмних інструментальних засобів конструювання тренажерних систем і сценаріїв тренувальних занять (ТрЗ), явно бракує. На підставі ретельного аналізу матеріалів дисертації та автореферату, а також, виходячи з наведеного вище, логічним є висновок про те, що тема дисертаційної роботи, яка спрямована на розробку розподіленої електронної веб-орієнтованої тренажерної системи формування і підтримки ключових компетентностей оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність отриманих результатів. Розроблена здобувачем електронна веб-орієнтована тренажерна система підготовки оперативно-диспетчерського персоналу (ВоТСПО-ДП) МЕМ призначена для проведення тренувальних занять та контролю навичок персоналу виявлення умов виникнення, попередження і ліквідування наслідків аварій. Структурно ВоТСПО-ДП магістральних електричних мереж складається з таких взаємозв'язаних підсистем: моделювального комплексу МЕМ, бази даних МЕМ, графічного людино-машинного інтерфейсу, конструктора ТрЗ і бази знань оцінки рівня навичок та готовності персоналу ліквідувати аварії.

Науковою теоретичною базою і функційним ядром ВоТСПО-ДП слугує моделювальний комплекс (МК) МЕМ, який виконує найскладніше та найважливіше завдання, що полягає в математично-цифровому моделюванні електромагнітних, електромеханічних та навіть тепломеханічних процесів, що відбуваються в енергоблоках електричних станцій, на трансформаторних підстанціях та магістральних лініях електропередавання і т. ін. як окремих ЕС, так і ОЕС України. Своєю чергою, за теоретичні засади МК взяті класичні методи електротехніки – метод вузлових напруг і метод контурних струмів. До МК ставиться абсолютно жорстка і важко досяжна вимога, яка полягає в такій високій її швидкодії, яка була б сумірною з реальною швидкістю перебігу процесів, що підлягають моделюванню.

Незважаючи на те, що на сьогодні теорія практично всіх структурних елементів ЕС, до яких належать електричні машини, трансформатори, лінії передавання електричної енергії та іншого устаткування доволі добре розвинена, досягнути швидкості моделювання на рівні реального часу перебігу процесів, які відбуваються в ЕС, що налічують тисячі вузлів і гілок електричного кола задача залишається

надскладною. Розв'язання такої задачі можливе лише за умови застосування практики спеціальних підходів, яка полягає в розробці спеціальних методів, прийняття необхідних вихідних допущень, що безумовно, знижує рівень адекватності математичної моделі, з одного боку, але водночас забезпечує отримання прийнятних з погляду достовірності отриманих результатів придатних для практичної діяльності, з другого боку.

Для вирішення критично важливої і водночас надскладної проблеми отримання можливості моделювання за короткий (сумірний з реальним перебігом електромагнітних процесів) час здобувач виконав величезний обсяг роботи на предмет аналізу наявних на сьогодні методів математичного моделювання ЕС, що вказує на його добру обізнаність та високий рівень компетентності в цих питаннях. Так, проведено дослідження та аналіз низки особливостей чисельного розрахунку напруги під час моделювання усталених режимів електроенергетичних систем, виконано дослідження новітніх версій ітераційного методу обчислення усталених режимів роботи електричних мереж.

В контексті вирішення окреслених вище проблем прийнята здобувачем стратегія математичного моделювання ЕС полягає в таких основних положеннях. Виконується розрахунок електричного кола ЕС для усталеного режиму без розрахунку перехідних процесів, а електрична рівновага в колі ЕС описується системою нелінійних алгебричних рівнянь, яка розв'язується ітераційними методами. Критично важливим моментом в питанні досягнення близького до реального часу моделювання є застосування положень діакоптики, які полягають у формуванні системи рівнянь електричного стану в такій формі, яка дає змогу окремо описувати процеси в окремих компонентах ЕС, а значить розв'язувати окремі підсистеми рівнянь електричного стану одночасно (паралельно). Такий результат досягається застосуванням технології розріджених матриць під час формування та розв'язування рівнянь електричного стану схеми ЕС.

Залежно від потреби математичне моделювання електричних машин виконується шляхом запису та інтегрування диференціальних рівнянь електричного і механічного станів. В цьому разі математичне моделювання електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в електричних машинах виконується не в фазних, а в перетворених координатах d, q (для синхронних машин) та в координатах x, y (для асинхронних машин). Це дає змогу виключити періодичні складові, а значить – збільшити крок інтегрування диференціальних рівнянь на порядки.

У вирішенні окреслених вище проблем здобувач має вагомий особистий науковий внесок, який полягає у розробці методу, що ідентифікується в такому формулюванні: “Багатоопорний метод розрахунку контурних струмів для веб-орієнто-

ваних тренажерних систем” (БОМ РКС). Запропонований метод призначений для розв’язування систем нелінійних рівнянь алгебри, які описують режими роботи великих енергосистем, в околі простору наявних (фізично здійснених) розв’язків, значно віддалених від аварійних режимів. Суть запропонованого багатоопорного методу розрахунку режимів великих ЕС включно з ОЕС полягає в розділенні початкової схеми на дерева і хорди таким чином, щоб усі дерева мали за балансуєчий тільки один опорний вузол - джерело енергії, а усі інші вузли в кожному дереві – навантаження або фіксовану генерацію. Під час розробки запропонованого методу його автором і здобувачем коректно доведено, що власні числа матриці Якобі мають значно менші значення від 1, а це істотно підвищує ймовірність гарантії збіжності ітераційних процесів під час розв’язування нелінійних алгебричних рівнянь, які описують режими ЕС. Розрахунок контурних струмів здійснюється шляхом урівноваження потужності незалежних та вироджених контурів і окремих підсистем сполучними хордами, що в більшості випадків реальних мереж ОЕС України гарантує швидшу збіжність ітераційних процесів розв’язування систем нелінійних алгебричних рівнянь ніж метод Ньютона та його модифікації. Важливо зазначити, що поява БОМ РКС слугує вагомим етапом в розвитку теорії математичного моделювання режимів ЕС.

Ретельний аналіз дисертаційної роботи загалом і базових наукових тверджень, зокрема, дає підставу констатувати, що основні теоретичні і практичні положення коректно обґрунтовані, а отримані наукові результати дослідження достовірні.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Наукова новизна дисертаційної роботи, як і будь-якої іншої наукової праці, визначається її основними науковими положеннями та отриманими результатами дослідження. Загалом, наукова новизна поданої дисертаційної роботи сформульована у семи пунктах, які систематизовані в трьох групах, кожна з яких відображає специфіку кожного з семи пунктів з погляду вагомості наукового результату.

Перша група за її ідентифікацією здобувачем сприймається такою, що становить основний зміст в сенсі отриманих в дисертаційній роботі нових знань у вибраній області дослідження, які кваліфікуються як абсолютно нові наукові результати, а значить сприймається з найвищим пріоритетом в ієрархії всіх трьох груп. Наукова новизна першої групи сформульована у двох пунктах, в яких окреслені виокремлені універсальні (стосовно певного класу задач) алгоритми та, які в готовому вигляді можуть використовуватися для розв’язування певного класу підзадач в межах предметної. Якщо такі окремі універсальні алгоритми мають ознаки кате-

горії методу, то це дає підставу кваліфікувати їх як таким, а отже новим науковим результатом.

Друга група пунктів наукової новизни кваліфікується такою, що вносить елементи функційного вдосконалення у вже наявні певні алгоритми (тут “*створення тренувальних занять...*” та “*технології конструювання функціональних груп моделей стану об’єкта управління...*”). Загалом, ці пункти сприймаються предметом наукової новизни, але варто б довести, що первинні “*підходи до створення тренувальних занять*”, які вдосконалені кваліфікуються саме як наукові методи, а не просто інженерні рішення.

Третя група пунктів наукової новизни кваліфікується такою, що надає подальшого розвитку відомим методам. Добре було б конкретизувати в чому саме полягає розвиток.

Загалом, стосовно наукової новизни дисертаційної роботи, слід зазначити, що є достатньо підстав для ствердження, що в дисертаційній роботі є наукова новизна, що власне і визначає будь-яку працю як наукову, а тут як дисертаційну роботу рівня наукового ступеня доктора технічних наук.

Практичне значення одержаних результатів. Вже саме формулювання теми дисертаційної роботи вказує на те, що її результат орієнтований на практичне застосування, адже робота спрямована на розробку методів і комп’ютерних технологій побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж.

В дисертаційній роботі здобувачем розроблена електронна веб-орієнтована тренажерна система підготовки оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ дає змогу проводити підготовку тренувальних занять та контролю навичок персоналу виявлення умов виникнення, попередження та ліквідування наслідків аварій. Веб-орієнтована тренажерна система впроваджена та використовується в практичній діяльності на підприємствах електроенергетичного сектора та у вищих навчальних закладах України. Про це свідчать відповідні документи про впровадження, що також доводить практичну значимість результатів дисертаційної роботи.

Оцінка структури та змісту дисертації, її завершеності. Дисертація складається з анотації, вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел (333 бібліографічних найменувань) та 3-х додатків. Загальний обсяг дисертації становить 432 сторінки, в тому числі 298 сторінок основного тексту, включаючи 99 рисунків та 12 таблиць.

В анотації у реферативній формі описано основні наукові положення та результати дисертаційної роботи, а також наведено список наукових праць здобувача за темою дисертації. Анотація написана українською і англійською мовами.

У вступі наведена титульна інформація про дисертаційну роботу, до якої входить: обґрунтування актуальності та доцільності, формулювання мети та задачі наукового дослідження; сформульовано визначення об'єкту та предмету дослідження, а також окремими пунктами сформульовано наукову новизну та практичне значення; наведено перелік установ впровадження результатів дисертаційної роботи; наведена інформація про особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві; надано відомості про апробацію дисертації.

У першому розділі “Принципи організації існуючої системи підготовки оперативного персоналу та шляхи її удосконалення” дисертаційної роботи (на його початку) коротко описано історію та передумови створення тренажерної системи для роботи з оперативно-диспетчерським персоналом МЕМ.

В цьому ж першому розділі висвітлено проблеми і принципи організації діючої системи підготовки персоналу в магістральних електромережах України, розглянуто нормативну і навчально-методичну базу. В цьому контексті проаналізовано окреслені вище проблеми в енергетичному секторі не лише України, але й деяких європейських країн та інших розвинених країн світу. Наголошено на тому, що недоліками тренажерних систем, які використовуються в цих країнах є їх вузька сфера застосування, відсутність уніфікації, а також обмежені можливості редагувати інформацію і коригувати зміст в цих системах і програмних середовищах.

Значну увагу виділено аналізу можливостей математичних і електротехнічних методів та математичних моделей для розрахунку режимів ЕС, розроблених на базі цих методів. Виконано аналіз наукових і технічних проблем побудови комп'ютерних тренажерів і тренажерних систем. Досліджено проблеми розвитку та застосування комп'ютерних тренажерних систем в МЕМ ОЕС України та запропонована стратегія інноваційного розвитку електроенергетики на базі сучасних інтелектуальних концепцій.

У другому розділі роботи “Онтологічний аналіз предметної області досліджень МЕМ ОЕС України” виконано дослідження проблем побудови інформаційної частини моделі МЕМ ОЕС України та прийнято рішення про побудову інформаційної частини моделі МЕМ ОЕС із застосуванням реляційних баз даних, які засновані на представленні даних у вигляді набору зв'язків та вважаються найбільш надійними. Викладено теоретичні основи конструювання інформаційної частини моделі МЕМ, в основу яких покладено застосування географічних інформаційних систем, об'єднаних в географічні інформаційні технології.

Розроблено концептуальні схеми розподілених кластерних баз даних МЕМ великих ЕС, які призначені для моделювання режимів роботи ЕС, та, які забезпечують однозначну ідентифікацію будь-яких елементів ЕС. Концептуальні схеми

служують повним описом предметної області енергетики будь-якої країни або об'єднання країн та дають змогу відмовитися від файлової системи.

Важливим науковим результатом в теоретичному аспекті є розроблений здобувачем багатоопорний метод побудови топологічної моделі електричних мереж і, відповідно, – багатоопорний метод розрахунку контурних струмів (інакше метод розрізання контурів), який слугує теоретичним підґрунтям системи автоматизації розрахунків режимів роботи великих енергосистем. Сутність методу полягає в еквівалентній заміні замкнутої електричної мережі на розімкнену, режим якої повністю збігається з режимом початкової електричної системи.

У третьому розділі роботи “ Теоретико-методологічні основи методів моделювання веб-орієнтованих протиаварійних тренажерів“ проаналізовано проблеми моделювання веб-орієнтованих комп'ютерних тренажерів та властивості методів розрахунку параметрів режиму великих ЕС і ОЕС, моделі яких використовуються в режимних комп'ютерних тренажерах оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ. Досліджено можливості основних відомих методів розрахунку перехідних і усталених режимів ЕС включно з БОМ РКС на предмет ефективності їх використання для побудови протиаварійних комп'ютерних тренажерів включно за критерієм швидкодії. Запропоновано метод побудови обчислювальної схеми, який дає змогу застосувати в роботі інструментарій розріджених матриць.

Загалом, моделювальний комплекс створено на базі режимної моделі ЕС, в якій використовуються однолінійні заступні схеми окремих об'єктів ЕЕС. Усталені режими моделюються системою нелінійних алгебричних рівнянь, отриманих шляхом лінеаризації початкової алгебро-диференційної системи рівнянь. Для забезпечення збіжності розв'язку нелінійних алгебричних рівнянь використовуються адаптивні алгоритми, а також розроблений алгоритм визначення оптимальних значень коефіцієнтів прискорення ітераційних процесів. На шляху розв'язання цієї проблеми досліджено найбільш важливі фактори впливу (коефіцієнти прискорення) на збіжність та швидкість ітераційних методів моделювання режимів роботи великих ЕС. На підставі результатів цих досліджень запропоновано використання повного факторного експерименту, що дає змогу забезпечити оптимальні швидкісні характеристики не тільки багатоопорного методу розрахунку струмів контурів, але й методу Ньютона-Рафсона.

Для моделювання перехідних електромагнітних і електромеханічних процесів синхронних турбогенераторів в реальному часі використовується диференціальні рівняння Парка-Горєва в осях $d-q$, що дає змогу збільшити крок інтегрування і, таким чином, виконати моделювання в реальному часі.

Проведено тестування чисельних експериментів, в рамках якого за основні тестові схемами вибрані дві з 14 та 37 вузлами, а також схеми Західної, Південно-Західної, Південної, Центральної, Північної, Дніпровської ЕС і високовольтні схеми 220 ... 750кВ ПрАТ "НЕК "Укренерго" для зимового максимуму та літнього мінімуму.

У четвертому розділі „Методи розподіленого моделювання комп'ютерних тренажерів оперативного персоналу” розглянуто теоретико-методологічні засади комп'ютерних технологій конструювання веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки оперативно-диспетчерського персоналу (О-ДП) МЕМ.

За визначенням здобувача, функційною платформою комп'ютерних технологій конструювання веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки О-ДП МЕМ слугує віртуальне середовище моделювальної системи підготовки персоналу МЕМ, під яким мається на увазі сукупність розподілених систем серверів застосунків і систем управління базами даних, включаючи віртуальне розподілене середовище моделювання режимів роботи ЕС, адаптивні інтерактивні інтерфейси та навчально-методичне забезпечення для організації і проведення процесів навчання, підвищення кваліфікації і тренажерної підготовки з урахуванням кібербезпеки.

В роботі виконано аналіз двох віртуальних платформ VMware – платної і XEN/KVM – умовно безкоштовної з відкритим кодом. Кращі швидкісні показники були отримані на XEN. Для операційної системи SUSE Linux ця технологія є вбудованою, вона легко інтегрується з віддаленими серверами і базами даних (БД).

Розподілена система баз даних і серверів додатків обчислювальної мережі веб-орієнтованої тренажерної системи об'єднана в глобальну мережу і може функціонувати у складі приватної або загальної корпоративної хмарної інфраструктури з доступом в Інтернет, а окремі бази даних і сервери застосунків, включаючи віртуальні, можуть встановлюватися в різних, зручних для цих цілей, місцях (АЕС, ТЕС, ГЕС, енергопостачальні компанії та ін.).

В роботі розвинуто теоретичні та методологічні засади функціонування моделювального комплексу веб-орієнтованих тренажерно-моделюючих систем підготовки персоналу, запропоновані принципи побудови ефективних методів розрахунку параметрів режимів роботи великих ЕС. Запропонована ієрархічна декомпозиція великих ЕС.

Досліджено можливості, переваг і вад використання розподіленого віртуального середовища для моделювання режимів роботи великих ЕС та ОЕС. Встановлено, що головною вадою розподіленого середовища моделювання з використанням технологій Інтернету є деяка невизначеність з часом обміну інформацією між

серверами застосунків та БД. Серед переваг – можливість масштабування і гнучкість моделювання режимів роботи великих ЕС і ОЕС.

Практично важливим результатом роботи є встановлення, що для деяких збурень, пов'язаних із зміною топології електричної мережі або великим навантаженням ЕС, може не бути збіжності ітераційного процесу розрахунку режиму. В цьому разі необхідно застосувати методи, які гарантують збіжність ітераційних процесів. В роботі запропонований підхід адаптивного розвантаження електричних мереж та алгоритм дій, що забезпечує отримання достовірного результату.

У розробленій веб-орієнтованій тренажерній системі підготовки персоналу МЕМ використовується принцип максимальної подібності образів об'єктів управління та візуалізації реальних елементів систем (диспетчерського щита, панелі управління релейного захисту і автоматики, вимірювальні прилади, сигналізація та ін.), що дає змогу ідентифікувати ознаки і умови виникнення аварійних ситуацій в устаткуваннях та вибирати міру деталізації для отримання необхідної додаткової інформації про вірогідність виникнення аварії з необхідною точністю. Такі ж ознаки можна використати для моделювання кібератак та навчання персоналу методам їх протидії.

У п'ятому розділі „Модельна організація функціонування комп'ютерних тренажерів підготовки персоналу МЕМ” розглянуто питання модельної організації функціонування веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки персоналу МЕМ.

Наведено приклади застосування комп'ютерних технологій організації функціонування веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки персоналу, заснованих на принципах розподіленого середовища моделювання віртуальної системи підготовки персоналу в МЕМ, яка демонструє її нові функціональні можливості. Головну увагу приділено розв'язанню задач інтеграції підсистем веб-орієнтованих комп'ютерних протиаварійних тренажерів для підготовки персоналу на різних рівнях ієрархічної системи управління ОЕС України.

Розглянуто два основні методи конструювання ТрЗ в рамках наявних тренажерних систем: імітаційно-технологічний метод та сценарно-педагогічний метод (СПМ). Перший базується на використанні інформаційної частини моделі ЕС або ОЕС та математичної моделі режимів їх роботи в реальному часі. Реалізація цього методу передбачає наявність заздалегідь підготовленого сценарію ТрЗ, який складається із системи логічних правил, конструювання яких автоматизовано. Передбачено, що в процесі створення логічних правил інструктор-викладач використовує схему ЕС або ОЕС із параметрами режиму. Окрім цього, конструктор-редактор логічних правил дає змогу створювати правила для моделювання роботи пристроїв релейного захисту і автоматики застосуванням методів ситуаційного моделювання.

Розроблена типова тематика сценаріїв протиаварійних тренувань оперативно-диспетчерського персоналу, яка передбачає можливість перевірки дій оперативного персоналу та формування стійких навичок з ліквідації багатьох видів аварійних ситуацій, пов'язаних зі зміною параметрів і конфігурацією схеми ЕС.

Веб-орієнтована тренажерна система підготовки персоналу МЕМ дає змогу оцінювати компетентності персоналу за допомогою енергетичного рейтингу.

В кінці кожного розділу наведені висновки, в яких сформульовані основні тези матеріалу відповідних розділів, а після п'ятого розділу сформульовані загальні висновки дисертаційної роботи. Після загальних висновків наведено список використаних літературних джерел, в якому налічується 333 найменування.

В кінці рукопису дисертаційної роботи наведено додатки, в яких зосереджено акти впровадження результатів роботи в ЕС ПрАТ «НЕК «Укренерго», а також наведено учбово-методичне забезпечення для організації та підтримки функціонування веб-орієнтованої тренажерної системи навчання та тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ.

Загалом, дисертація складається із анотації, вступу, п'яти розділів основної частини роботи, висновків, списку використаних джерел (333 бібліографічних найменувань) та 3-х додатків. Загальний обсяг роботи становить 432 сторінки, в тому числі 298 сторінок основного тексту, 99 рисунків та 12 таблиць.

Повнота опублікування матеріалів дисертації у наукових фахових виданнях. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 3-х монографіях, 29-ти статтях, серед яких 10 статей, які опубліковані у наукових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази *SCOPUS*. Окрім цього, результати роботи опубліковані у 28-ми працях апробаційного характеру, а також відображені у двох свідоцтвах про реєстрацію авторських прав.

Дисертаційна робота пройшла масштабне і повноцінне апробування. Основні результати роботи доповідались на таких Міжнародних наукових конференціях:

- 1) I Українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-94", Київ, 18–23 травня 1994;
- 2) III Международная научно-техническая конференция "Нетрадиционные электромеханические и электрические системы", Крым, Алушта, 1997;
- 3) III міжнародна науково-технічна конференція "Оптимальне керування електроустановками", Вінниця, 14–15 жовтня 2015;
- 4) IVI міжнародна науково-технічна конференція "Оптимальне керування електроустановками", ВНТУ, 2018;
- 5) 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems IEPS'2016 (June 7–11, 2016), Kyiv, Ukraine;
- 6) The third Chinese – Ukraine Science and Technology Forum "Theoretical Basis of Simulation Technology in Energy Sector", Harbin, China, 2017;
- 7) The Fourth China – Ukraine Forum on Science and

Technology. Harbin, China, 2018; 8) Науково-практична конференція "Кібербезпека енергетики", 29 травня – 01 червня 2019 року, м. Одеса; 9) Науково-практична конференція «Побудова інформаційного суспільства: ресурси і технології», 19–20 вересня 2019 року, м. Київ; 10) Міжнародна науково-практична конференція «Інформація, аналіз, прогноз – стратегічні важелі ефективного державного управління», 7 листопада 2019 року, м. Київ; 11) науково-практична конференція Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації», 20 грудня 2019 р., м. Київ.

Повний список опублікованих праць за темою дисертаційної роботи налічує 62 позиції та наведений в анотації.

Аналіз списку наукових праць, в яких опубліковані результати дисертаційної роботи, дає підставу стверджувати, що результати дисертаційної роботи опубліковані у фахових наукових виданнях достатньо повно. Важливо зазначити, що матеріал кожного з 5-ти розділів дисертації також достатньо повно опублікований.

Відповідність змісту автореферату дисертації. Зміст автореферату в усіх його компонентах у реферативному форматі повною мірою відповідає дисертаційній роботі, а аналіз публікацій за матеріалами дисертаційної роботи дає підстави визнання задекларованого в авторефераті особистого внеску здобувача в публікаціях у співавторстві.

Запитання та зауваження

1. Яким чином враховується (якщо це передбачено) робота систем автоматичного керування загалом (наприклад, систем збудження турбогенераторів та інших синхронних машин), а також робота систем керування тиристорами перетворювачів частоти (наприклад, у вентильній системі збудження турбогенераторів) під час розрахунку режимів ЕС за однолінійною її схемою?

2. Чи враховується під час розрахунку режимів роботи ЕС включення в роботу на певний тривалий час однієї з трьох ідентичних і альтернативних системи надійного живлення енергоблоків АЕС на базі ядерного енергетичного реактора ВВЕР-1000 (автономних дизель-генераторів) та їх відмова в роботі в разі аварійного знеструмлення обидвох трансформаторів власних потреб потужністю по 63 МВ·А кожен?

3. Яким чином включається в однолінійну схему ЕС електричні машини енергоблоків електростанцій, якщо вони моделюються в обертових осях.

4. В анотації (стор.5) зазначено дослівно: *“Другий метод пов’язаний з поче-рговим рішенням алгебраїчних і диференціальних систем рівнянь. Він більш простий алгоритмічно, характеризується прийнятною надійністю при відносно неве-*

ликих обчислювальних витратах з окремим розрахунком режиму електричної мережі між кроками інтегрування.”

Виникає питання. Розрахунок режиму електричної мережі між кроками інтегрування виконується на кожному кроці інтегрування чи з визначеною кратністю кроків інтегрування? Якщо з визначеною кратністю, то як обґрунтовується коректність такого положення? Адже режим електричної мережі (її базові параметри: напруги, струми, потужності) змінюються на кожному кроці інтегрування під час розрахунку режиму ЕС в перехідних процесах, спричинених збуреннями.

5. На підставі чого та за якими критеріями формується список прогнозованих аварій?

6. Яким є співвідношення часу розрахунку режиму роботи ЕС і часу роботи з базами даних?

7. Як корелюються оцінки підготовки персоналу, зроблені кваліфікаційною комісією, з оцінками тренажерної системи та чи беруться до уваги оцінки, зроблені тренажерною системою, під час проходження кваліфікаційних випробувань персоналом на комісіях?

8. Вихідні допущення, які приймаються під час розробки математичних моделей електротехнічного обладнання є одним з визначальних чинників, що впливають на рівень адекватності моделювання. Логічно було б їх сформулювати та навести для основних структурних елементів ЕС, до яких належать електричні машини, трансформатори, лінії електропередавання.

9. Добре було б уточнити формулювання першого та другого пунктів наукової новизни з групи **“удосконалено”** в сенсі ідентифікування предмету наукового результату в *“удосконаленні підходу до створення тренувальних занять...”* та в *“удосконаленні технології конструювання функціональних груп моделей стану об’єкта управління...”*.

10. Зауваження щодо написання та оформлення дисертації.

Не надто вдала форма зображення алгоритмів, на кшталт тих, що на сторінці 223.

Не вдалий формат багатьох рисунків, серед яких рис. 2.4, 3.8, 4.4-4.29 та деяких інших;

Не коректними є терміни: *“електричний ланцюг”* замість *“електричне коло”*, *“двохобмотувальні трансформатори”* – *“двообмоткові трансформатори”*; *“крок інтеграції”* – *“крок інтегрування”*, *“зухвала аперіодична складова струму”* – *“вільна аперіодична складова струму”*. Рівняння розв’язується, а вирішується питання і проблеми.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Гурєєва Віктора Олександровича „Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж” спрямована на розробку теорії побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж з врахуванням особливостей їх впровадження та підтримки функціонування в умовах ОЕС України. В рамках цієї теорії розроблені наукові методи моделювання і методологічні засади комп'ютерних технологій конструювання веб-орієнтованих тренажерних систем підготовки і підвищення кваліфікації оперативно-диспетчерського персоналу МЕМ.

Вирішення здобувачем складних наукових проблем, пов'язаних зі створенням теорії побудови веб-орієнтованих тренажерних систем вказує на його високий рівень підготовки як в теоретичному аспекті математичного моделювання МЕМ, так і в бездоганному володінні сучасними комп'ютерними технологіями.

Дисертаційна робота Гурєєва Віктора Олександровича на тему „Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж” є завершеною науковою працею, в якій отримано нові, науково обґрунтовані та достовірні результати, а її зміст відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Зроблені зауваження лише декларують потребу в уточненні окремих нюансів, а тому не є критичними в оцінці наукового рівня дисертації.

Викладене вище дає підстави констатувати, що дисертаційна робота „Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж” повною мірою відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а її автор Гурєєв Віктор Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

професор кафедри „Електроенергетика і системи управління”

доктор технічних наук, пр
04.12. . 2020 р.

Національного університету
„Львівська політехніка”

