

## Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Пастух Олени Романівни

### “Режими та характеристики енергоблоку електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб”,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02-електричні станції, мережі і системи

#### 1. Актуальність теми дисертації.

Наразі функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС) України відбувається в напружених умовах внаслідок впливу наступних факторів: значне зношення електрообладнання, що охоплює до 60-70% всього обладнання; темпи заміни та модернізації існуючого електрообладнання значно відстають від темпів його старіння; ринкові відносини в електроенергетиці спричиняють максимально напружений режим експлуатації електрообладнання; поступове зниження кваліфікації оперативного персоналу, що спричиняє збільшення помилкових дій.

Всі ці фактори призводять до підвищення аварійності в ЕЕС і зниження надійності електропостачання споживачів.

В цих об'єктивно існуючих умовах функціонування енергосистеми України забезпечення високого рівня надійності потужних енергоблоків АЕС і ТЕС, їх системи електропостачання власних потреб (ВП) в умовах внутрішніх і зовнішніх збурень є однією з найважливіших задач.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є забезпечення високого рівня надійності системи електропостачання власних потреб (ВП), першочергово за рахунок підтримання необхідного для роботи електроприймачів ВП рівня напруги і частоти на шинах розподільних установ власних потреб (РУВП).

Існуючі на сьогоднішній день підходи і засоби регулювання напруги та запобігання перериванням напруги на шинах першого ступеня трансформації РУВП не завжди на практиці забезпечують якісну і безвідмовну реалізацію.

Тому тема дисертаційної роботи Пастух О.Р., яка присвячена дослідженню режимів і характеристик енергоблоків електростанцій в умовах застосування нових схемно-технічних вирішень першого ступеня трансформації систем живлення ВП енергоблоку (встановлення додаткового робочого трансформатора ВП) для забезпечення необхідного рівня напруги на шинах РУВП першого ступеня трансформації є актуальною. Зокрема автором розвинуто методи вибору параметрів для забезпечення необхідних режимних характеристик схеми живлення першого ступеня трансформації системи живлення ВП енергоблоку з додатковим робочим трансформатором власних потреб (ДРТВП); розроблено узагальнену математичну модель двообмоткового трансформатора, придатну для аналізу усталених режимів за різних способів з'єднання його обмоток з іншими елементами електричних схем; доведено ефективність застосування ДРТВП для забезпечення необхідного рівня напруги на шинах ВП першого ступеня трансформації системи живлення ВП під час аварійних режимів у зовнішній електричній мережі.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертація виконана у відповідності з планами наукових досліджень кафедри електроенергетики та систем управління Національного університету "Львівська політехніка", а саме, за держбюджетними та госпдоговірними темами "Розвиток системного підходу до синтезу та моделювання електроенергетичних об'єктів" (№ державної реєстрації 0119U100362), "Розроблення теоретичних засад створення високоефективних електротехнічних та електромеханічних систем і їх елементів для об'єктів з динамічним навантаженням та їх моделювання" (№ державної реєстрації 0198U007856), "Теоретичні засади оптимізації режимів роботи та автоматизація проектування електротехнічних і електромеханічних систем з динамічним навантаженням" (№ державної реєстрації 0101U000875), "Моделювання, аналіз, оптимізація й синтез електроенергетичних об'єктів і активних електричних мереж, їх систем керування, автоматики, захисту й діагностики станів та створення тренінгових систем" (№ державної реєстрації 0107U008816) та «Проведення патентного пошуку, обґрунтування обсягу та країн патентування, підготовка патентної документації зі схемно-технічних вирішень електричної частини підвищеної надійності потужних ТЕС» (госпдоговірна робота з ВАТ "Західенерго", № 6593).

## **3. Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам.**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 174 сторінки, у тому числі 139 сторінок основного обсягу, 9 таблиць, 42 рисунки та 4 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і задачі досліджень, наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, зазначено наукову новизну і практичну цінність роботи, дані щодо апробації і публікацій результатів досліджень.

У **першому розділі** розглянуто системи живлення ВП потужних ТЕС і АЕС, зокрема склад і характеристики електроприймачів ВП, схеми живлення споживачів ВП електростанцій різних типів, особливості схем електропостачання ВП та шляхи забезпечення надійного живлення споживачів ВП. На основі проведеного аналізу схем устав ВП електростанцій дана характеристика існуючих заходів для підвищення надійності живлення електроприймачів ВП, визначені головні недоліки основних схем. Обґрунтовано необхідність застосування нових схемно-технічних рішень в електричній частині енергоблоків для забезпечення рівня напруги, який є достатнім для забезпечення надійної роботи електроприймачів ВП в нормальних і аварійних режимах, які виникають в зовнішній електричній мережі.

В **другому розділі** вирішуються задачі визначення та порівняння основних характеристик електроустаткування схем першого ступеня трансформації електропостачання ВП енергоблоку. Автором запропоновано підхід до визначення мінімально можливого значення сумарної потужності основного і додаткового трансформаторів ВП. В роботі розроблена методика обчислення втрат потужності у системах електропостачання ВП електростанцій з додатковим трансформатором ВП. На основі проведених розрахунків для енергоблоку з генератором ТГВ-200М показана рівноцінність розглянутих нових та традиційних схем за величиною втрат активної потужності. Показано, що за техніко-економічними показниками схема з робочим і додатковим робочими трансформаторами ВП може бути використана в реальній практиці проектування нових і модернізації існуючих схем електропостачання електроприймачів ВП.

**Третій розділ** присвячений дослідженню усталених експлуатаційних режимів роботи енергоблоку з ДРТВП. Автором розроблена повна математична модель двообмоткового силового трансформатора, яка враховує основні особливості роботи трансформаторів в

режимах заданої напруги та заданого струму в розрахункових схемах електричних мереж для аналізу ustalених режимів. Виявлена можливість прояви резонансних властивостей схем заміщення ДРТВП енергоблоків, які зумовлені способом приєднання його обмоток до інших елементів. Для забезпечення необхідної точності обчислення значень параметрів гілок схеми заміщення розроблено алгоритм і програмний модуль, який інтегрований в програмний комплекс ДАКАР. Проведено розрахункове дослідження ustalених і регульованих характеристик енергоблоку з ДРТВП в умовах змінення в широкому діапазоні коефіцієнта потужності генератора, напруг генератора і системи. Для підтвердження достовірності отриманих результатів дослідження проведено експерименти на статичній фізичній моделі фрагменту електричної частини енергоблоку з ДРТВП. Порівнянням та оцінкою результатів експериментів на фізичній моделі та комп'ютерного симулювання енергоблоку з та без ДРТВП підтверджена ефективність використання ДРТВП для забезпечення необхідного рівня напруги на шинах ВП першого ступеня трансформації в нормальних експлуатаційних та аварійних режимах, зумовлених збуреннями в зовнішній мережі.

У **четвертому розділі** проведено дослідження обтяжених і аварійних режимів та електромагнітних перехідних процесів енергоблоку з ДРТВП і без нього. На основі аналізу результатів експериментально-модельних розрахунків встановлено:

- вплив енергоблоків з ДРТВП та енергоблоків з традиційною системою живлення ВП на статичну стійкість ustalених режимів електроенергетичних систем є практично однаковим;
- у більшості ustalених режимів рівень напруги на шинах ВП у схемі з ДРТВП є вищим порівняно з рівнем напруги шин ВП у традиційній схемі;
- схема з ДРТВП має кращі властивості порівняно з традиційною схемою електричної частини енергоблоку з динамічною і результуючою стійкістю режимів;
- застосування додаткового робочого трансформатора ВП забезпечує зниження несиметрії напруг на їх шинах в умовах несиметрії напруг на шинах генератора.

Таким чином Пастух О.Р., провівши сукупність наукових досліджень, використавши сучасні методи і технічні засоби, виконала сукупність наукових досліджень, розв'язала поставлені перед нею задачі і досягла поставленої мети - підвищення ефективності функціонування енергоблоків електростанцій шляхом застосування ДРТВП для забезпечення необхідного рівня напруги на шинах системи живлення ВП, достатнього для надійної роботи їх електроприймачів під час нормальних експлуатаційних та аварійних режимів у зовнішній електричній мережі.

#### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.**

В дисертаційній роботі Пастух О.Р. отримала такі основні результати, які мають наукову новизну:

1. Запропоновано підхід до визначення потужностей основного і додаткового трансформаторів живлення системи власних потреб енергоблоку електростанції, що забезпечує його нормальні режими та достатні рівні напруги на шинах власних потреб під час аварійних режимів у зовнішній електричній мережі.
2. Розроблено узагальнену математичну модель двообмоткового трансформатора, яка на відміну від відомих враховує особливості роботи трансформаторів у режимах заданої напруги та заданого струму в розрахункових схемах електричних мереж для аналізу ustalених режимів.
3. Встановлено за результатами математичного моделювання, що під час обтяжених

режимів енергоблоку з додатковим робочим трансформатором забезпечується вищий рівень напруги на шинах власних потреб і не знижується запас статичної стійкості, порівняно з енергоблоками за традиційними схемами.

4. Встановлено, що в умовах несиметрії напруг на шинах генератора додатковий робочий трансформатор забезпечує зниження несиметрії напруг на шинах власних потреб і зменшує її негативний вплив на роботу обладнання системи власних потреб енергоблоку.

Загальні положення, висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації, є об'єктивними, **обґрунтованими** і базуються на використанні методів теоретичної електротехніки, математичного моделювання і комп'ютерного симулювання та експериментах на фізичній моделі, теорії прохідних чотириполюсників. Припущення прийняті при побудові математичних моделей, відповідають меті і завданням досліджень.

**Достовірність** результатів математичного моделювання і комп'ютерного симулювання забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень, підтверджена експериментами на фізичній моделі та порівнянням результатів досліджень, а також результатами розв'язання за допомогою розроблених автором програм конкретних задач.

Основні результати досліджень є **достатньо апробовані**. Вони висвітлені у 12 наукових працях, у тому числі у 9 статтях в наукових фахових виданнях України (з них 1 стаття у науковому фаховому виданні України, включеному науково метричних баз IndexCopernicus). Матеріали роботи доповідались й обговорювались на 2 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Аналіз робіт дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі опубліковані матеріали дисертації. В цілому, рівень і кількість публікацій, апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам, що встановлені директивними документами.

Автореферат дисертації повністю відображає основні положення дисертаційної роботи. В ньому розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, показані новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень. Автореферат відповідає змісту роботи та документу «Основні вимоги до дисертацій та авторефератів дисертацій».

## 5. Практична цінність отриманих результатів

Виходячи з наведених в дисертаційній роботі теоретичних і практичних результатів, можна зробити висновок, що практична реалізація роботи дає змогу гарантувати забезпечення необхідного рівня напруги на шинах ВП під час нормальних експлуатаційних режимів та аварійних режимів в зовнішній електричній мережі, що сприяє підвищенню надійності електропостачання електроприймачів. Практична цінність роботи полягає у наступному:

1. Розроблено методику порівняльної оцінки техніко-економічних показників електричної частини енергоблоків з ДРТВП та з традиційними схемами ВП, яка може бути використана в проектних рішеннях під час реконструкції діючих чи спорудження нових електростанцій.
2. Розроблено методику обчислення втрат потужності у системах живлення власних потреб електростанцій з додатковим трансформатором власних потреб, яка дає змогу враховувати режимні особливості їх елементів.
3. Розроблено алгоритм і програмна реалізація математичної моделі двообмоткового трансформатора, який використано в програмному комплексі ДАКАР у вигляді окремого

модуля , що дає змогу підвищити достовірність розрахунків і аналізу ustalених експлуатаційних режимів та перехідних процесів електроенергетичних систем.

4. Окремі результати роботи увійшли в звіти науково-дослідних робіт ,а також використані у навчальному процесі кафедри електроенергетики та систем управління та під час виконання студентами наукових досліджень і магістерських кваліфікаційних робіт.

#### **6. Зауваження по роботі.**

1. Перший розділ містить багато загальновідомої інформації ,щодо якої можна було обійтись посиланням на відповідні літературні джерела .
2. В роботі використовуються математичні моделі електроенергетичних об'єктів з їх системами регулювання, але не наводиться опис самих моделей та їх модифікацій, наприклад для генератора.
3. Встановлення додаткових елементів в схемі призводить до зниження надійності функціонування енергоблоку. В роботі варто було провести оцінку ризику зниження надійності запропонованої нової схеми робочого живлення під час відмови електрообладнання.
4. В роботі розглядаються питання підвищення надійності електропостачання споживачів ВП під час нормальних і аварійних режимів роботи енергоблоку. Але основними електроприймачами ВП електростанцій є асинхронні двигуни. Реальні статичні і динамічні характеристики цих елементів в дослідженнях не враховувались, зокрема в розрахунках ustalених , обтяжених та аварійних режимів енергоблоку.
5. З роботи не ясно, як забезпечується пуск енергоблоку за умови застосування даної схеми робочого живлення електрприймачів ВП.
6. Для підвищення достовірності результатів виконаних натурних експериментів варто було використати динамічну фізичну модель фрагмента електричної частини енергоблоку як без, так і з ДРТВП ,а не статичну.
7. Відомо,що під час КЗ в системі ВП підживлення від асинхронних двигунів може складати до 40% струму від системи. Не зрозуміло, як зміниться частка струму КЗ від асинхронних двигунів для запропонованої схеми живлення ВП.
8. Не розглянуто асинхронні режими синхронного генератора під час втрати збудження з оцінкою рівня зниження напруго на шинах ВП та аналізом стійкості асинхронних двигунів.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру ,не ставлять під сумнів наукову новизну та достовірність отриманих результатів. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Пастух О. Р., її наукову новизну і практичну цінність.

#### **7. Висновки.**

Зміст дисертаційної роботи Пастух Олени Романівни відповідає спеціальності 05.14.02 - «Електричні станції, мережі і системи»,за якою вона представлена до захисту. Дисертаційна робота має наукову новизну,є закінченою науково-дослідною роботою,яка присвячена підвищенню ефективності функціонування енергоблоків електростанцій шляхом впровадження нових схемно-технічних вирішень в системах ВП енергоблоків для підвищення надійності електропостачання електроприймачів під час нормальних режимів і аварійних режимів у зовнішній електричній мережі. Матеріали дисертації,щодо

проведених досліджень, одержаних результатів, наукових положень і висновків викладені логічно і аргументовано. Використані літературні джерела та посилання на них відображають сучасний стан задач, які вирішувались у дисертаційній роботі.

За актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, достовірністю та науковою новизною, практичною цінністю і повнотою викладу в опублікованих працях, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., № 565), а її автор-Пастух Олена Романівна, заслуговує на наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент,  
доцент кафедри  
відновлюваних джерел енергії  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



”