

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Лиховида Юрія Григоровича** на тему **«Перенапруги в несиметричних режимах магістральних електричних мереж»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

**Актуальність теми дисертації.** Магістральні лінії електропередавання (ЛЕП) напругою 330–750 кВ є основою об'єднаної енергосистемі (ОЕС) України. Вони є системоутворюючими і забезпечують видачу електричної енергії від потужних електростанцій в мережі нижчої напруги та здійснюють обмін електроенергією між окремими енергосистемами, включно і закордонні. Від їх технічного стану залежить надійність електропостачання наших споживачів та інтеграція ОЕС України в Європейську енергосистему. Тому від надійності і працездатності ЛЕП 330–750 кВ залежить енергетична безпека України.

Критичних режимних параметрів роботи магістральних електричних мереж (МЕМ), які можуть вивести їх з ладу або суттєво обмежити їх пропускну спроможність є декілька. Одними з них є перенапруги, коли ЛЕП та інше обладнання, в силу різних причин знаходяться під підвищеною робочою напругою, яка перевищує передбачене максимальне значення. Аварії в електричних мережах внаслідок перенапруг характеризуються пошкодженням дорогого обладнання, обмеженням, а той позбавленням електропостачання значних територій. Це може привести до розпаду системи на окремі частини з очевидними наслідками. Тому попередження виходу з ладу ЛЕП надвисокої напруги (НВН) є важливою науковою та практичною задачею.

Метою дисертаційної роботи Лиховида Ю. Г. є вдосконалення математичних моделей та методів аналізу режимних перенапруг у магістральних електричних мережах при наявності несиметрії параметрів, а також розроблення заходів та рекомендацій для попередження їх появи та розвитку понад критичні значення, що і визначає її актуальність.

Результати, що сприяють досягненню поставленої мети, автор отримав, виконуючи дослідження в рамках науково-дослідних робіт, що виконувалися у відділі оптимізації систем електропостачання Інституту електродинаміки НАН України. Дослідження, у яких здобувач брав участь, здійснювались при виконанні наступних планових науково-дослідних робіт: «Розробка методів і моделей аналізу резонансних процесів та мінімізації втрат електроенергії в несиметричних режимах роботи електричних мереж» («Безпека-3») №: Ш-24-14, 2014-2018 рр, державний реєстраційний номер роботи 0114U001465, виконувалася за Постановою Бюро ВФТПЕ НАНУ від 15.10.2013 р., № 14; «Підвищення надійності виконання комутацій в компенсованих магістральних лініях електропередачі надвисокої напруги» № П-17-16, 2016-2018 рр. комплексної програми наукових досліджень НАН України «Науково-технічні основи енергетичного співробітництва між Україною та Європейським Союзом («Об'єднання-3»)), державний реєстраційний номер роботи 0116U006587, виконувалась за постановами Президії НАН України від 30.12.2015 № 311, 20.01.2016 № 12 та розпорядженнями Президії НАН України від 25.03.2016 № 180, від 02.02.2017 № 99, від 01.02.2018 № 69.

**Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам.** В *першому розділі* розглянуті значення та перспективи розвитку МЕМ в електроенергетиці. Виконано огляд нормальних та аномальних режимів роботи ЛЕП НВН, проаналізовано характерні особливості несиметричних режимів МЕМ. Відзначено, що однією з основних причин виходу з ладу елементів та обладнання в МЕМ є перенапруги, які виникають при несприятливому збігові значень параметрів елементів МЕМ та її поточного режиму, а зовнішні – під дією атмосферних явищ. В основному робота присвячена внутрішнім перенапругам.

При проектуванні й будівництві електричних мереж за базовий приймають нормальний усталений режим, при якому техніко-економічні показники її роботи є оптимальними з погляду надійності, якості та ефективності електропостачання. Проте у результаті безперервних змін існуючий в мережі усталений режим завжди буде відрізнятися від проектного, тому попередньо прийняті рішення повинні піддаватись постійній корекції для збереження бажаних значень критеріїв оптимальності. Показано, що необхідно вивчати та досліджувати явище перенапруг, зокрема несиметричних режимів магістральних електричних мереж, постійно і коригувати заходи щодо захисту від перенапруг.

*Другий розділ* присвячено аналізу характерних особливостей впливу технічних засобів компенсації зарядної потужності ліній електропередавання НВН, які використовуються в діючих МЕМ, на виникнення перенапруг в несиметричних режимах.

Обґрунтовано, що для дослідження явища перенапруг, які відбуваються у ЛЕП НВН, може використовуватися система імітаційного моделювання у електроенергетиці - система MATLAB/Simulink. За результатами проведених моделювань було запропоновано та підтверджено, що для ЛЕП НВН, яка має на своїх кінцях по одній групі ШР, для забезпечення зниження рівня напруги на некомпенсованій фазі, необхідно ввести в роботу ШР цієї ж фази на іншому кінці лінії. Запропоновано використовувати компенсаційний реактор не лише під час безструмової паузи ОАПВ, а постійно при роботі повнореакторної групи шунтувальних реакторів. За допомогою проведеного моделювання показана безпечність постійного знаходження під напругою компенсаційного реактора. Постійно діюча чотирипроменева схема дозволяє підвищити надійність роботи ОЕС України.

В *третьому розділі* виконано аналіз доцільності використання неповнофазних режимів роботи ЛЕП НВН на практиці. Розглянуто можливі неповнофазні режими роботи внаслідок аварійного короткочасного вимкнення однієї або декількох фаз лінії при КЗ, а також під час планових (позапланових) ремонтних роботах на окремих фазах лінії; під час плавки ожеледі.

В ОЕС України не застосовується використання неповнофазних режимів роботи МЕМ протягом тривалого часу (на час ремонтних робіт однієї чи декількох фаз лінії), лише на період роботи ОАПВ. Проте застосування зазначеного режиму роботи сприятиме значному підвищенню надійності роботи енергосистеми в цілому та зменшенню кількості мережних обмежень,

які виникають при повністю відключеній ЛЕП НВН. Експериментальним шляхом доведено, що на робочій фазі напруга змінюється незначно, в основному у межах допустимих відхилень для даного класу напруг  $\pm 5\%$  від номінальної напруги. При моделюванні режимів роботи ЛЕП НВН у неповнофазних режимах вперше була визначена послідовність роботи лінійних вимикачів. Виконання такої послідовності спрацювання вимикачів сприятиме недопущенню неприпустимого зростання напруги на фазах, що відключаються/включаються. Експериментально підтверджено, що на фазах, які лишаються в роботі при неповнофазному режимі МЕМ, напруга змінюється у межах допустимих відхилень для даного класу напруг  $\pm 5\%$  від номінальної напруги.

В *четвертому розділі* розглянуто вплив конструктивних особливостей та експлуатації ЛЕП НВН на можливість виникнення перенапруг. Зараз в ОЕС України всі лінії електропередавання надвисокої напруги 750 кВ експлуатуються з ізолюваними ГЗТ, але існує можливість переведення їх на заземлений режим роботи. Режим роботи ГЗТ впливає на значення параметрів ЛЕП і призводить до зміни налаштувань ОАПВ та можливих значень внутрішніх перенапруг. Показано, що ізолювані троси практично не впливають на кратність перенапруг, тому при дослідженні на увагу заслуговують варіанти, коли ГЗТ відсутні або заземлені.

Показано, що в умовах будівництва нових магістральних електричних мереж або реконструкції існуючих доцільним кроком є перехід від виконання ізолюваного режиму роботи ГЗТ до заземленого, оскільки цей захід дає значний вплив на зниження рівня перенапруг. Зазначений спосіб роботи ГЗТ можна розглядати як дієвий засіб по зниженню рівня перенапруг. Доцільно розбудовувати Smart Grid в об'єднаній електроенергетичній системі України. Так, за допомогою елементів Smart Grid блоків керованої комутації можна уникнути або обмежити перенапруги в несиметричних режимах роботи МЕМ.

Таким чином, Лиховид Ю. Г., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень і технічні засоби, розв'язав поставлені ним задачі і досяг поставлену в роботі мету – вдосконалив математичні моделі та методи аналізу режимних перенапруг у магістральних електричних мережах при наявності несиметрії параметрів, а також запропонував заходів та рекомендацій для попередження їх появи та розвитку понад критичні значення

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

- вперше науково обґрунтовано використання чотирипроменевої реакторної схеми для компенсації зарядної потужності як в несиметричних, так і в нормальних режимах ЛЕП НВН;

- вдосконалено математичну модель ЛЕП НВН, в якій враховане явище розподіленого коронного розряду та вплив геометрії грозозахисних тросів (ГЗТ) на електромагнітне поле;

- отримала подальший розвиток теорія використання несиметричних режимів при експлуатації електричних мереж з використанням неповних груп шунтувальних реакторів;

- удосконалено математичні моделі процесів у ЛЕП НВН при комутації елегазових лінійних вимикачів і розроблено рекомендації безпечного переведення лінії з неповнофазного режиму роботи у повнофазний.

Положення і висновки відносно суті проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей в роботі обґрунтовані та базуються на законах електротехніки, теорії електричних кіл і методах математичного моделювання. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що наведені в дисертаційній роботі Лиховида Ю. Г. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень достатньо обґрунтовані та відповідають дійсності. Достовірність їх забезпечена коректністю використання математичного апарату, наукових положень та результатів експерименту.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались на науково-технічних конференціях і опубліковані в 12-ти роботах, зокрема 7 у фахових виданнях України (одна з них в журналі категорії А), 1 стаття у періодичному іноземному журналі, 1 патент України на корисну модель. Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них в повному обсязі опубліковані матеріали дисертації. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї та висновки. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень.

**Практична цінність отриманих результатів** полягає в тому, що розроблено методичні рекомендації процесом керування лінійними вимикачами при переведенні ЛЕП НВН з повнофазного режиму роботи у неповнофазний та навпаки. На практиці вони дозволяють оцінити і усунути наслідки неповної компенсації фази лінії шунтувальними реакторами та знизити рівні перенапруг. Знайшли результати досліджень впливу ГЗТ на рівень перенапруг під час проектування заземлення в нових та реконструйованих ЛЕП НВН.

Результати роботи у вигляді методичних матеріалів впроваджені в проектній організації ТОВ «ЕНКОР ПЛЮС» (м. Березань) та рекомендовані для використання в НЕК «Укренерго» (м. Київ) під час експлуатації магістральних електричних мереж надвисокої напруги.

**Результати дисертаційної роботи можуть бути використані** в наукових та проектних організаціях (інститут «Енергомережпроект»), які займаються дослідженнями та розробкою методів і засобів захисту ЛЕП НВН від перенапруг.

#### **Зауваження по роботі**

1. В першому розділі є надлишкова інформація, яку можна було б скоротити, замінивши посиланнями на доступні джерела. І навпаки, огляд літературних джерел варто було б розширити для того, щоб переконливіше обґрунтувати проблему несиметричних режимів ЛЕП НВН.

2. Недостатньо обґрунтовано недоліки ЛЕП НВН з 100% компенсацією зарядної потужності (с. 48). Відповідно залишаються протиріччя щодо повної компенсації зарядної потужності ЛЕП.

3. Те саме можна сказати щодо недоліків різних схем під'єднання шунтових реакторів до шин вторинної або третинної напруги підстанції (с. 49).

4. Адекватність розроблених моделей обґрунтовано, але відсутній аналіз їх на чутливість до зміни вихідних даних. Це варто було б зробити. Тут можна було б отримати цікаві результати. Хоча автор розуміє це: «З проаналізованої вищенаведеної інформації можна зробити припущення, що теоретичні помилки під час розрахунків, проведених щодо ЛЕП НВН, дуже дорого коштують у випадку їхньої практичної реалізації та експлуатації. Тому будь-які дослідження у цій галузі повинні проводитись дуже і дуже ретельно та зважено» (с. 50).

5. Автор у своїй роботі робить висновки, що в умовах будівництва нових ліній надвисокої напруги та реконструкції існуючих доцільним кроком є перехід від ізолюваної роботи грозозахисного тросу до заземленого, оскільки це суттєво знижує кратності перенапруг. Проте автор не згадує про переваги ізолюваного режиму роботи грозозахисту, зокрема, про відсутність втрат, які викликаються індукованими у тросі струмами.

6. На стор. 106 зазначено, що грозозахисні троси поділяють на окремі відрізки, які заземлюють у ряді точок траси. Дане твердження не є вичерпним, варто було б зазначити, що грозозахисні троси ділять на окремі відрізки, які заземлюють лише з одного боку.

7. У таблиці 4.1 Розрахункові параметри ЛЕП 750 кВ Запорізька АЕС – Каховська визначено погонні параметри нульової послідовності з урахуванням впливу грозозахисного тросу, проте не зазначено, яким чином було виконано заземлення тросу на практиці.

8. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У висновках до розділів автор часом наводить загальновідомі положення, що є недоцільним. У роботі зустрічаються граматичні помилки, стилістичні неточності та описки, але кількість їх допустима. Путаються такі поняття як «величина» і «значення» (величина струму, величина напруги). Зловживається прийменниковим сполученням «за» там, де потрібно «під час», «коли». Вживається «так як» замість «оскільки».

Зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Лиховида Ю.Г.

## **Висновки**

Зміст дисертації Лиховида Юрія Григоровича відповідає спеціальності 05.14.02, за якою вона представлена до захисту. Дисертаційна робота має значну наукову цінність, є закінченою науково-дослідною роботою, яка присвячена вирішенню важливої і складної проблеми для електроенергетики – розробленню заходів та рекомендацій для попередження виникнення перенапруг при несиметричних

режимах роботи ліній електропередавання надвисокої напруги. Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів 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., № 656). Її автор, Лиховид Юрій Григорович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Завідувач кафедри електричних станцій та систем  
Вінницького національного технічного університету,  
доктор технічних наук, професор

П. Д. Лежнюк

