

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.т.н., доцента Довгалюк Оксани Миколаївни
на дисертаційну роботу Баклицького Владислава Миколайовича
«Вдосконалення моделей і методів вибору силових трансформаторів
в задачах проєктування електричних мереж 110 кВ»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Детальний аналіз дисертаційної роботи Баклицького Владислава Миколайовича «Вдосконалення моделей і методів вибору силових трансформаторів в задачах проєктування електричних мереж 110 кВ», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми.

Ефективність роботи електричних мереж (ЕМ) є важливою для функціонування всієї енергосистеми і в значній мірі визначається тим обладнанням, встановлення якого обґрунтовується на етапі проєктування або реконструкції мережі. Поточний стан енергетичного сектору України характеризується значним пошкодженням об'єктів ЕМ і потребує значного обсягу відновлення, суттєва частка якого припадає на ЕМ 110 кВ. Під час процесу відновлення і реконструкції об'єктів ЕМ важливо враховувати загальні тенденції та перспективи розвитку енергетичної галузі країни, а також особливості структури ЕМ, умови їх подальшої експлуатації та вимоги до надійності функціонування з метою підвищення ефективності процесу передачі електричної енергії у відповідності до вимог законодавчих актів України, в тому числі з врахуванням вимог директив Європейського Союзу, що підтверджуються чинними нормативними

документами: «Енергетичною стратегією України на період до 2050 року», «Закону України про ринок електричної енергії», «Стратегією розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року».

При вирішенні зазначеної задачі важливо врахувати, що в даний час в Україні характерним для ЕМ 110 кВ є застосування на понижуючих підстанціях двообмоткових силових трансформаторів, номенклатурний ряд яких включає вісім ступенів номінальної потужності, кВА: 2500, 6300, 10000, 16000, 25000, 40000, 63000, 80000. При цьому тривалість експлуатації значної кількості з них перевищує нормативні терміни, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат, вимушених простоїв обладнання, погіршення показників ефективності процесу передачі електричної енергії.

Отже, враховуючи вищенаведене, удосконалення моделей і методів вибору силових трансформаторів в задачах проектування ЕМ 110 кВ є своєчасним і актуальним завданням для електроенергетичної галузі України, розв'язання якого дозволить підвищити ефективність та експлуатаційну надійність ЕМ.

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

Дослідження, результати якого представлені в дисертаційній роботі Баклицького В.М., виконувалося на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи за планом МОН України «Дослідження інтелектуальної системи електропостачання на основі залучення активних споживачів» (№ДР 0122U001313, 2022–2023 рр.) і відповідає закону України про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки, «Енергетичній стратегії України на період до 2050 року».

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна одержаних в дисертаційній роботі результатів обумовлена теоретичним узагальненням та новими запропонованими

рішеннями важливого наукового завдання, яке полягає у розробці моделей і методів вибору силових трансформаторів при вирішенні задач проєктування для підвищення ефективності експлуатації ЕМ 110 кВ. До важливих наукових результатів досліджень відносяться наступні:

- *отримала подальший розвиток* математична модель дисконтованих витрат силових трансформаторів ЕМ 110 кВ, яка відрізняється від існуючих можливістю визначати оптимальну потужність силового трансформатора, що дозволяє знизити вплив неоднорідності ЕМ та визначати оптимальне співвідношення складових в техніко-економічній моделі;

- *вперше науково обґрунтовано* використання методів статистичних рішень для визначення значень оптимальної потужності силових трансформаторів, що дозволяє мінімізувати рівень економічних витрат у випадку прийняття помилкових рішень під час розроблення проєкту реконструкції ЕМ 110 кВ;

- *вперше розроблено* метод вибору силового трансформатора, який на відміну від існуючих враховує особливості режиму роботи ЕМ з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ) і експлуатаційні показники підстанцій, що дозволяє під час розроблення проєкту реконструкції ЕМ 110 кВ сформувати оптимальний параметричний ряд силових трансформаторів для зменшення витрат активної потужності в мережі та зниження витрат в період експлуатації.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання.

Дисертаційна робота Баклицького В.М. в практичному плані містить нові рішення, які полягають в наступному: розроблена методика визначення оптимальної потужності трансформатора для зниження впливу неоднорідності ЕМ та оптимізації співвідношень параметрів техніко-економічної моделі; розроблена методика врахування експлуатаційних показників підстанцій та наявність вузлів розосередженої генерації під час

розроблення проєктів реконструкції підстанцій ЕМ; розроблена методика визначення оптимального параметричного ряду силових трансформаторів на етапі проєктування для зниження втрат активної потужності в ЕМ і зменшення витрат в період експлуатації; розроблена методика вибору силового трансформатора, яка враховує особливості режиму роботи ЕМ з ВДЕ і експлуатаційні показники підстанцій.

Розроблені методики підтверджені актами впровадження в ТОВ «Енерджигруп» та навчальний процес в НТУ «ХПІ». Відповідні акти про використання матеріалів дисертаційної роботи представлені у додатку Г дисертаційної роботи.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 16 наукових публікаціях, з яких 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, в тому числі 2 статті без співавторства; 1 стаття в науковому журналі; 1 стаття в іноземному виданні; 8 публікацій апробаційного характеру, з яких 1 проіндексована у міжнародній наукометричній базі даних Scopus; 1 розділ в колективній монографії.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що наукові результати представленої дисертаційної роботи достатньою мірою висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Дисертаційна робота Баклицького В.М. є завершеною науковою працею, яка складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків.

Дослідження, представлені в дисертації, виконані за допомогою

методів теорії диференційного числення, критеріального методу, методу інтегральних аналогів та статистичного аналізу.

Об'єктом дослідження є процеси в ЕМ 110 кВ та їх вплив на технічні і економічні характеристики силових трансформаторів.

Предметом дослідження є електричні та економічні параметри силових трансформаторів ЕМ 110 кВ з врахуванням експлуатаційних умов підстанцій.

У вступі обґрунтовано актуальність теми виконаного дослідження, визначено мету і завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, наведено відомості про наукову новизну, практичне значення, апробацію результатів та публікації.

У першому розділі виконано аналіз експлуатаційних характеристик електроенергетичних об'єктів, які враховуються під час вибору перерізу проводів повітряних ліній та потужності силових трансформаторів в період розроблення проекту реконструкції ЕМ 110 кВ, який показав, що відповідно до існуючих алгоритмів та згідно чинної нормативної документації України, переріз проводів повітряних ліній обирається з врахуванням техніко-економічних показників процесу передачі електричної енергії, в той час як вибір номінальної потужності силових трансформаторів виконується, спираючись, в більшій мірі, на показники завантаженості силових трансформаторів, при яких обладнання буде працювати без відмов. Розглянуто математичні методи, які застосовуються для реалізації техніко-економічних моделей електроенергетичних об'єктів. Зазначена проблематика застосування нелінійних математичних методів, яка пов'язана зі складністю формулювання електроенергетичних задач, імовірнісним характером і неповнотою інформації щодо початкових даних. За результатами виконаного аналізу визначені основні напрямки досліджень.

У другому розділі виконано удосконалення техніко-економічних моделей силових трансформаторів ЕМ 110 кВ шляхом апроксимації складових за параметром, що оптимізується, в якості якого використана

номінальна потужність силового трансформатору. Розроблені техніко-економічні моделі були проаналізовані з використанням критеріального методу, що дозволило отримати критерії подібності відповідно до застосовуваного критерію оптимізації (мінімуму дисконтованих витрат). Отримані критерії подібності порівнювалися з розрахунковими значеннями критеріїв подібності для діючих трансформаторів критеріями подібності, отриманих методом інтегральних аналогів. За результатами оцінювання встановлено, що отримані критерії подібності близькі за значенням до розрахункових, це довело відповідність прийнятих критеріїв подібності реальному процесу розподілу витрат в ЕМ 110 кВ. Розроблені техніко-економічні моделі силових трансформаторів проаналізовано на техніко-економічну стійкість та чуттєвість. За результатами аналізу техніко-економічної стійкості розроблених моделей силових трансформаторів виявлено, що відхилення номінальної потужності силового трансформатору від свого оптимального значення в межах прийнятих діапазонів не призводять до значених відхилень витрат, що виходять за межі цих діапазонів. Результати виконаного аналізу техніко-економічної чуттєвості розроблених моделей силових трансформаторів вказують на те, що зміна величини оптимальної потужності відбувається в більш вузькому діапазоні в порівнянні із зміною початкових параметрів.

У *третьому розділі* сформовано оптимальний параметричний інтервал потужності силових трансформаторів з використанням удосконалених техніко-економічних моделей силових трансформаторів. Проведено оцінювання зміни перерозподілу витрат на трансформування параметрів електричної енергії на прикладі підстанції з двообмотковим силовим трансформатором марки ТМН 6300/110 шляхом порівняння складових витрат до та після зміни силового трансформатора на ТМН-2500/110. Показано, що витрати на трансформування параметрів електричної енергії зменшується внаслідок застосування на досліджуваній підстанції трансформатора з розрахованою потужністю. Виконано пошук оптимального коефіцієнту параметричного інтервалу потужностей силових

трансформаторів з напругою на високій стороні 110 кВ на прикладі сталого режиму роботи схеми ділянки ЕМ АТ «Вінницяобленерго». Відповідно до розрахунку оптимальної потужності виконано побудову статистичного розподілу появи розрахункових значень потужності для ділянки мережі з діючими двообмотковими силовими трансформаторами з високою напругою 110 кВ. На основі отриманих значень потужностей прийнято інтервал, який задовольняє 95% отриманих розрахункових значень потужностей. Отримані граничні значення інтервалу варіювання оптимальної потужності, які дозволили визначити кількість номінальних потужностей силових трансформаторів, яку доцільно застосовувати під час оптимізації існуючого параметричного ряду діючих трансформаторів на досліджуваній ділянці ЕМ. Виконано формування параметричного інтервалу силових трансформаторів з врахуванням існуючого номенклатурного переліку для застосування на досліджуваній ділянці ЕМ 110 кВ, з використанням якого сформовано параметричний ряд силових трансформаторів.

У четвертому розділі представлені результати дослідження, які дозволяють враховувати вплив наявності ВДЕ на експлуатаційні параметри силового трансформатора за умови підключення вузла розосередженої генерації до спільного розподільчого пристрою з навантаженням, живлення якого відбувається через силовий трансформатор. Показано, що наявність таких генеруючих джерел є значеною мірою впливає на експлуатаційні параметри силового трансформатора, що потребує врахування зміни обсягу потужності, яка передається через силовий трансформатор. Визначені співвідношення витрат в техніко-економічних моделях силових трансформаторів для ряду діючих підстанцій з урахуванням існуючих експлуатаційних умов на основі показників відхилень критеріїв подібності від оптимальних значень. Отримані співвідношення при порівнянні з оптимальними критеріями подібності дозволяють характеризувати роботу силових трансформаторів за умови дотримання належної точності розрахунку. Проаналізовано зміни

технологічних втрат активної потужності під час трансформування параметрів електричної енергії при застосуванні для досліджуваної ділянки ЕМ сформованого параметричного ряду силових трансформаторів, в результаті чого встановлено, що втрати активної потужності на досліджуваній ділянці ЕМ зменшуються після застосування на підстанціях силових трансформаторів із сформованого параметричного ряду, що призводить до підвищення ефективності процесу передачі електричної енергії. Сформовано додаткові положення для розроблення проекту реконструкції ЕМ 110 кВ в частині вибору номінальної потужності силового трансформатора, які враховують особливості режиму роботи мереж з ВДЕ та експлуатаційні показники підстанцій.

Висновки, сформульовані у дисертаційній роботі, висвітлюють результати проведеного дослідження як вирішення висунутих в дисертації задач. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список використаних джерел складається з 112 найменувань, достатньо охоплює предметне поле дослідження і певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості іноземних та вітчизняних інформаційних джерел.

У додатках представлено інформацію щодо повноти висвітлення та апробацію результатів дисертаційних досліджень, практичного впровадження одержаних результатів виконаного дисертаційного дослідження, а також детальні результати розрахунків та аналізу при вирішенні поставлених задач.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків.

Достовірність отриманих результатів у дисертаційній роботі Баклицького В.М. забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням методів розрахунку оптимальної потужності силових трансформаторів, співвідношень в техніко – економічних моделях силових

трансформаторів, аналізу дисконтованих витрат силових трансформаторів в умовах неповноти вихідної інформації, застосування прикладного програмне забезпечення та квазидинамічного моделювання в програмному комплексі Power Factory.

Достовірність наукових результатів підтверджується їх апробацією та схваленням на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, а також впровадженням основних одержаних результатів та рекомендації.

Зроблені здобувачем висновки є логічними сформульованими за результатом ґрунтовного аналізу досліджуваних процесів, здійсненого за допомогою сучасного наукового інструментарію.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях.

Стиль викладення матеріалу в дисертації достатньо зрозумілий для сприйняття. Дисертація містить наукові положення, які характеризуються новизною, а також має практичні результати, які знайшли застосування в проєктній організації ТОВ «Енержигруп» та використовуються в навчальному процесі кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП». Рівень досліджень та глибина розгляду питань відповідає вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота Баклицького В.М. виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані в роботі результати дають підстави говорити про її оригінальність. У тексті є авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їхні роботи.

Отримані здобувачем наукові результати достатньою мірою висвітлені у 16 наукових працях, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття в науковому журналі; 1 стаття в іноземному виданні; 8

публікацій у матеріалах апробаційного характеру, з яких 1 проіндексована у міжнародній наукометричній базі даних Scopus; 1 розділ в колективній монографії. Апробація ідей, які викладено здобувачем у дисертаційному дослідженні, проводилась шляхом доповідей та обговорення отриманих результатів на Всеукраїнських та Міжнародних наукових конференціях.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В першому пункті наукової новизни зазначено, що вдосконалена модель дисконтованих витрат дозволить знизити неоднорідність мережі, проте не надано пояснення за рахунок чого.

2. В другому та третьому розділах дисертаційної роботи в поясненнях до формул (2.32) на стор. 61, (2.35) на стор. 62, (2.48) – (2.55) на стор. 66 – 67, (3.1) – (3.3) на стор. 74 – 79 написано «...відносна величина зміни витрат ...», в той час як в формулах наявний знак комплексу, тому не зрозуміло як саме ведеться розрахунок – в комплексних числах чи у відносних одиницях.

3. З тексту дисертації не зрозуміло, яке значення норми дисконту приймалося в роботі при удосконаленні існуючої моделі дисконтованих витрат у розділі 2.

4. Для перевірки відповідності отриманих критеріїв подібності оптимальним значенням співвідношення витрат вирішувалась задача апроксимації параметрів інвестиційних витрат та втрат потужності силових трансформаторів, яка виконувалась з використанням лінійних залежностей відповідно до виразу (2.22). Доцільно було пояснити, чому прийняті саме такі залежності.

5. В четвертому розділі дисертації при аналізі розрахункових значень експлуатаційних складових витрат в разі застосування сформованого ряду силових трансформаторів (стор. 115) зазначено, що «Виключенням є підстанції з значенням співвідношень витрат, які виходять за граничні значення показників співвідношень отриманих на основі меж коливання

потужності, яку задовольняє один силовий трансформатор», але не зрозуміло яке саме рішення в цьому випадку Ви пропонуєте.

6. При визначенні складових в техніко-економічній моделі силового трансформатора з урахуванням експлуатаційних показників підстанцій, розглянутому в розділі 4.2, бажано було пояснити, яким чином відбувається зміна величини витрат за рахунок відмінності показників витрат активної потужності силових трансформаторів та постійної складової витрат (стор. 118).

7. З тексту дисертації не зрозуміло, чи враховано у Вашій роботі перспективи розвитку електричних мереж.

8. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються недоцільні пропуски рядків або їх відсутність, в тому числі при оформленні формул (стор. 47, 56, 61). «Додатки» дисертаційної роботи містять графіки навантаження, але відсутнє пояснення до них. Також у роботі зустрічаються пунктуаційні та орфографічні помилки, не закінчені речення, стилістичні неточності і описки, але їх кількість є допустимою.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Баклицького В.М., її наукову новизну і практичну цінність.

10. Висновки.

Дисертаційна робота Баклицького Владислава Миколайовича «Вдосконалення моделей і методів вибору силових трансформаторів в задачах проектування електричних мереж 110 кВ», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є завершеною науково-дослідною роботою, яка не порушує принципів академічної доброчесності, містить науково обґрунтовані результати, має наукову новизну, практичну цінність та дає перспективи подальших досліджень. За своїм змістом дисертаційна робота відповідає галузі знань 14 – «Електрична інженерія» та спеціальності 141 – «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та наявну практичну цінність вважаю, що дисертаційна робота повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам здобувач, Баклицький Владислав Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка».

Рецензент

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри передачі електричної енергії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»



Підпис: *Оксана ДОВГАЛЮК*
 Свідчую:
 Голова комісії
 Національного-технічного університету
 «Харківський політехнічний інститут»
30 травня 2025 р.