

**ВІДГУК**  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Становського Євгена Юрійовича  
на тему «Удосконалення гібридної фотоелектричної системи з  
акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 14 Електрична інженерія  
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

**Актуальність теми дисертації.**

Важливим напрямом в світовій енергетиці зараз є використання відновлюваних джерел енергії, як шлях до екологічної безпеки. За цього широке впровадження відновлювальної енергетики має місце в «малій» енергетиці на рівні локальних об'єктів різноманітного призначення. Нерівномірність надходження енергії відновлюваних джерел обумовлює ряд проблем пов'язаних з сумісністю з існуючими розподільчими електромережами. Це, поряд з електромагнітною сумісністю, стосується пікового експорту в мережу в денні години при збереженні пікового попиту в зранку та ввечері. Вирішення проблеми можливо шляхом локалізації використання електроенергії в місцях її генерації за мінімуму експорту в мережу. За цього розповсюдженим є використання підключених до мережі фотоелектричних систем з акумуляторами. Подальше удосконалення цих рішень пов'язано з використанням багатофункціональних мережевих інверторів, управлінням енергоспоживанням за прогнозу генерації фотоелектричної енергії.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Становського Євгена Юрійовича, що присвячена питанням вдосконалення гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту, є актуальною науково-технічною задачею.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Отримав розвиток принцип управління фотоелектричною системою з завданням значення активної потужності, що споживається з мережі, за прогнозом фотоелектричної генерації з формуванням стану заряду акумуляторної батареї та зміною механізму перемикання регуляторів та введенням зворотного зв'язку за потужністю навантаження, що забезпечує

Вхідний №	79-B
«02»	08 2024 р.
Київський національний університет технологій та дизайну	

підвищення ступеню споживання фотоелектричної енергії та зменшення витрат на електроенергію.

2. Запропоновано використання в контурі регулювання струму інвертору зворотного зв'язку за струмом конденсатора вихідного фільтру з модифікацією структури фільтру за визначенням параметрів, що сприяє забезпеченню відповідності стандарту струму в точці підключення до мережі в разі несинусоїдальної напруги.

3. Удосконалено математичну модель акумуляторної батареї за рахунок врахування зміни режимів заряду та значень струму розряду, що підвищує точність відтворення характеристик, що надані виробником.

4. Розвинуто принципи реалізації модульної структури моделі системи з відокремленням незмінної частини та модуля формування завдання, що побудовані з врахуванням режимів функціонування. Ведення модуля формування завдання дозволяє в прискореному режимі до основного циклу моделювання визначити параметри управління та завдання потужності.

В процесі дослідження використані сучасні теоретичні методи гармонійного аналізу, теорії автоматичного керування з аналізом АЧХ і ФЧХ, апроксимації, комп'ютерного моделювання. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів підкріплені достатнім обсягом досліджень з використанням програмного пакету Matlab Simulink, що забезпечує високу якість і надійність отриманих даних.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене науково-практичне завдання подальшого вдосконалення гібридної фотоелектричної системи об'єкту щодо забезпечення електромагнітної сумісності з енергосистемою за гармоніками, обмеження пікового споживання та виключення експорту надлишкової енергії в мережу, підвищення ступеню використання фотоелектричної енергії на споживання зі зменшенням витрат на електроенергію, виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За змістом дисертаційна робота здобувача Становського Є.Ю. повністю відповідає освітньо-науковій програмі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (сертифікат про акредитацію освітньої програми № 4576 від 02.06.2023) галузі знань 14 Електрична інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею за наявності особистого внеску здобувача у науковий напрям «Енергетика та енергоефективність».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Становського Є.Ю. є результатом самостійних досліджень здобувача і

не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською загальноприйнятою науковою мовою з використанням актуальної наукової термінології. Зміст роботи має чітку структуру та цілісність, і повністю відповідає обраній темі дослідження.

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список літератури із 109 найменувань та додатки. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

У вступі дисертації обґрунтовано її актуальність, визначено мету та завдання дослідження, описано використані методи, а також представлено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Також висвітлено публікацію результатів у наукових виданнях і апробацію на конференціях, зазначено особистий вклад автора та використання роботи в навчальному процесі.

**Перший розділ** роботи містить аналіз існуючих рішень щодо гібридних фотоелектричних систем для потреб локальних об'єктів. Оцінено можливості використання багатофункціональних мережевих інверторів для забезпечення електромагнітної сумісності з мережею відповідно стандартам. Показано, що несинусоїдальність напруги, яка припускається стандартом, призводить до додаткового погіршення гармонійного складу струму в точці підключення до мережі. Це обумовлено наявністю конденсатору в вихідному фільтрі мережевого інвертору.

Виконано аналіз систем регулювання фотоелектричних систем та алгоритмів управління розподілом енергії в системі електроживлення локального об'єкту. Проведено аналіз стану щодо математичного моделювання електромагнітних та енергетичних процесів в фотоелектричних системах з акумуляторною батареєю.

Виконаний аналіз дозволив сформулювати завдання для розв'язання в дисертаційній роботі.

У **другому розділі** розглянуто структури двох варіантів перетворювального агрегату фотоелектричної системи з багатофункціональним мережевим інвертором за мостовою та каскадною схемами. Визначено передумови для управління потужністю, що споживається з мережі. З урахуванням припустимих за стандартом значень вищих гармонік напруги мережі обґрунтовано визначення параметрів силових кіл та напруги на вході мережевого інвертора. Розглянуто можливість компенсації вищих гармонік струму, обумовлених відповідними гармоніками напруги мережі. Показано, що це досягається зміною структури вихідного фільтру мережевого інвертора за відповідних параметрів його елементів в поєднанні з компенсуючим зв'язком за

струмом фільтру в контурі регулювання струму та введенням до блоку завдання струму сигналу струму конденсатору фільтру. На підставі аналізу АЧХ і ФЧХ фільтру обґрунтовано параметри зі зменшенням фазового зсуву фільтру до  $90^\circ$ . При зменшити вдвічі сталої фільтру в колі зв'язку за струмом конденсатору вихідного фільтру це сприяє компенсації гармонік більш високого порядку.

Розроблені математичні моделі в Matlab для досліджень електромагнітних процесів в системі з урахуванням несинусоїдальної напруги. За результатами моделювання підтверджено можливість підтримання якості струму мережі за значення THD  $\leq 5\%$  практично у всьому діапазоні його змінювання.

**Третій розділ** присвячений реалізації управління з завданням потужності, що споживається з мережі. Обґрунтовано визначення завдання за прогнозом генерації фотоелектричної батареї та розрахунковим графіком потужності навантаження. В якості цільової функції управління обрано графік стану заряду акумуляторної батареї з завданням контрольних точок та обмеженням глибини розряду.

Розглянуто структуру системи регулювання перетворювальним агрегатом із змінною структурою регуляторів за прив'язки режимів роботи та перемикаць регуляторів до формування стану заряду акумуляторної батареї. Запропоновано в режимі заряду з постійною напругою здійснювати перемикання каналу керування фотоелектричною батареєю в режим максимальної потужності з вмиканням каналу регулювання потужності, що зменшує значення потужності мережі відносно заданого та забезпечує максимальне використання фотоелектричної енергії на споживання.

Показано доцільність реалізації автономного режиму з регулюванням потужності навантаження (зниженням напруги до 10%) в разі заряду акумулятору за постійної напруги, коли потужність фотоелектричної батареї є близькою до максимально можливого значення.

Запропоновані сценарії управління та обґрунтована методика визначення завдання активної потужності, що споживається з мережі, згідно прийнятої тарифікації оплати за електроенергію. Встановлено, умови коли за середньомісячної генерації на рівні літа перехід з сценарію за одним тарифом на тризонний забезпечує більше зниження витрат на електроенергію.

**Четвертий розділ** присвячений моделюванню енергетичних процесів фотоелектричної системи для добового циклу роботи. За цього виконано уточнення опису математичної моделі з урахуванням завдання потужності мережі.

Виконано удосконалення математичної моделі акумулятору з уточненням апроксимації характеристик, що дозволяє підвищити точність відтворення характеристик заряду і розряду до 3% відносно вихідних характеристик виробника, які надаються в графічній формі.

Обґрунтовано використання модульної структури моделі енергетичних процесів з відокремленням модулю формування завдання, який здійснює розрахунок параметрів управління в прискореному масштабі часу до початку основного циклу моделювання. За результатами моделювання показано коректність використаних припущень, виконано порівняльні оцінки щодо ефективності запропонованих рішень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких згідно вимогам враховуються: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, з них 1 стаття входить до наукометричної бази SCOPUS Q2; 4 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Відзначу, що результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені автором у його наукових публікаціях. Вказаний особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях свідчить, що він є автором вище перелічених отриманих наукових результатів. Порушень правил академічної доброчесності не виявлено.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

До недоліків, які не знижують загальної високої оцінки роботи, слід віднести:

1. На стор. 37 відзначено: «в «слабких» мережах це може призводити до додаткового погіршення напруги. Як оцінити цю слабкість?»

2. На стор.5 має місце плутанина з позначеннями індуктивностей та резисторів, зокрема це стосується  $L1$  і  $L_1$ ,  $R1$  і  $R_1$

3. З опису на стор.94: «За цього апроксимація враховує обмеження глибини розряду DOD...». Проте не зрозуміло, як це здійснюється?

4. Практично відсутній опис моделей, структури яких наведені на рис.4.4 - 4.6. Особливо це стосується достатньо складної моделі АКБ. Доречно б було навести, як вводяться параметри АКБ, зокрема, схема з'єднання.

5. На стор.98 відзначено: «Особливістю є використання модуля TCM в прискореному часі. За цього процес моделювання здійснюється в два етапи з програмованою паузою» Проте не пояснюється як це реалізовано.

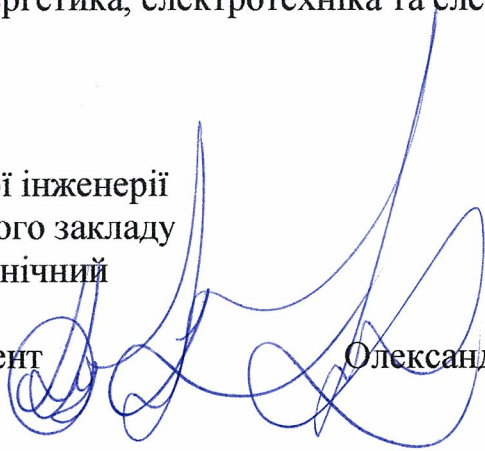
Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Становського Євгена Юрійовича на тему «Удосконалення гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6–9 «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 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Становський Євген Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Офіційний опонент,**  
завідувач кафедри електричної інженерії  
Державного вищого навчального закладу  
«Донецький національний технічний  
університет»,  
кандидат технічних наук, доцент

  
Олександр КОЛЛАРОВ

М.П. «16» листопада 2024 року

Підпис  
засвідчує  
Колларова О.Ю.  
керівника з КПР  
Воронаєва В.Я.

