

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Немудрого Ігора Юрійовича  
**"Підвищення ефективності електромеханічної системи  
вітроелектричних установок з аеродинамічною мультиплікацією",**  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

В сучасних потужних вітроустановках використовуються синхронні або асинхронні генератори, які через мультиплікатор з'єднуються з вітроколесом з горизонтальною віссю. При цьому сумісність ВЕУ з мережею забезпечується перетворювачем частоти. Вітроустановки з аеродинамічною мультиплікацією дозволяють здійснювати роботу генератора з мережею без перетворювача частоти, що значно знижує їх собівартість. Однак така концепція побудови викликає значні складнощі при побудові вітроустановок потужністю більше 1000 кВт, а при швидкостях вітрового потоку менше 5 м/с знижується ефективність вироблення електроенергії.

Тому тема дисертаційної роботи, яка присвячена підвищенню ефективності перетворення вітрової енергії в електричну у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією, є актуальною.

Актуальність дисертаційної роботи також підтверджується її зв'язком з напрямком робіт по державній програмі "Про затвердження комплексної програми подальшого розвитку інфраструктури і проведення господарчої діяльності на земному континентальному шельфі" (Постанова Кабінету Міністрів України № 713 від 13.05.2002 р.) та науково-технічною діяльністю ТОВ НДІ "Перетворювач" (Госп. договір № 02 від 04.11.2009 р. з ТОВ "Антарес" м. Дніпропетровськ).

## **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел з 116 найменувань (11 сторінок), двох додатків (4 сторінки). Загальний обсяг дисертації – 133 сторінки, включає 39 рисунків і 16 таблиць.

У вступі обґрунтована актуальність досліджень і сформульовано мету досліджень, наукові положення, що виносяться на захист, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто відомі електромеханічні системи вітроелектричних установок та тенденції розвитку вітроенергетики. Показано, що вітроелектрична установка з аеродинамічною мультиплікацією дозволяє генерувати електроенергію в мережу без перетворювача частоти. Однак електромеханічна система такої вітроустановки потребує більш детального дослідження.

Другий розділ присвячений дослідженню електромеханічної системи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією. Наведено технічні характеристики існуючих вітроустановок. Розроблена функціональна схема електромеханічної системи та наведені рівняння динаміки її підсистем з урахуванням балансу потужностей. На базі систем рівнянь динаміки розроблена її імітаційна модель. При дослідженні одержана залежність максимальної потужності, що генерується при фіксованих частотах обертання вітротурбін і змінній швидкості вітрового потоку. Встановлено, що для генерування максимальної потужності при швидкості вітрового потоку менше 5 м/с потрібно знизити частоту обертання вітротурбін в два-три рази, що дозволить підвищити відбір потужності до 10%. Достовірність моделі підтверджена експериментально.

Показано, що наявність кута зміщення вісі вітротурбін до поверхні обертання викликає пульсацію моменту близько 6 %, пов'язану з нерівномірністю вітрового потоку по висоті. Завдяки симетричному трилопатному вітроколесу, на якому розміщені генератори, сумарна потужність

цих пульсацій немає. Встановлені вимоги до швидкодії регуляторів повороту лопатей.

Третій розділ присвячено аналізу схем перетворення енергії в вітроелектричній установці при швидкостях вітрового потоку до 5 м/с. Цей режим потребує встановлення допоміжних перетворювачів частоти.

Встановлено, що перспективними схемами допоміжних перетворювачів є перетворювачі частоти з керованим мережею інвертором та випрямлячами, з'єднаними паралельно, з імпульсними перетворювачами напруги підвищуючого типу, або з послідовним з'єднанням випрямлячів і регулятора напруги збудження генераторів. Вказані схеми забезпечують прийнятні показники сумісності з мережею. Розроблено методику розрахунку регульовальної характеристики імпульсного перетворювача напруги. Сформульовані вимоги до алгоритму керування ключами імпульсних перетворювачів.

У четвертому розділі наведено дослідження особливостей перетворення енергії в електромеханічній системі вітроелектричних установок великої потужності, які працюють на промислову мережу або в автономному режимі.

Науково обгрунтовано використання генераторів високої частоти з перетворювачами частоти. Показано, що використання індукторного генератора з частотою 125 Гц дозволяє без значного збільшення маси і габаритів збільшити потужність вітроустановки до 1500...2000 кВт при прийнятному значенні ККД системи генератор-перетворювач частоти.

При роботі на промислову мережу рекомендовано використовувати перетворювачі частоти з керованими мережею інверторами, випрямлячами, з імпульсними перетворювачами напруги підвищуючого типу забезпечуючи при цьому нормовані показники якості електроенергії.

Для роботи в автономному режимі запропоновано використовувати трирівневий автономний інвертор напруги, який реалізовано у вітроелектроустановці ТГ-1000. В її перетворювачі частоти використовують

три випрямлячі з імпульсними перетворювачами напруги та два трирівневі інвертори, які з'єднуються з мережею трансформатором з трьома обмотками.

У додатках наведено розрахунок ККД імпульсного перетворювача, акти впровадження результатів дослідження в ООО «НДІ «Перетворювач» та ПКТБ «Конкорд» (м. Дніпропетровськ).

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Науково обгрунтовано концепцію побудови та структури електромеханічних систем вітроелектричних установок з аеродинамічною мультиплікацією великої потужності, а також при малих швидкостях вітрового потоку.

2. Визначено характер зміни генерованої максимальної потужності при фіксованих частотах обертання віротурбіни і змінній швидкості вітрового потоку.

3. Обгрунтовано можливість використання високочастотних індукторних генераторів з перетворювачем частоти у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією потужністю до 2000 кВт.

4. Одержано аналітичні співвідношення, що встановлюють зв'язок між параметрами фільтра, періодом модуляції імпульсного перетворювача, фазністю інвертора, керованого мережею, що забезпечує стійку роботу інвертора при коливаннях напруги мережі живлення.

**Цінність дисертаційної роботи для науки** полягає у вдосконаленні наукових підходів до підвищення ефективності перетворення вітрової енергії в електричну у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією великої потужності і при малих швидкостях вітрового потоку шляхом побудови оптимальних структур електромеханічних систем.

**Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації** забезпечується коректністю постановки і розв'язання завдань досліджень, коректним використанням фундаментальних законів теоретичної електротехніки, теорій електричних машин і

напівпровідникових перетворювачів, імітаційним моделюванням та експериментальними даними, позитивними результатами впровадження.

### **Практична цінність одержаних результатів.**

Запропонований режим відбору максимальної потужності при швидкості вітрового потоку менше 5 м/с шляхом зниження частоти обертання віротурбін з застосуванням допоміжного перетворювача частоти, використання перетворювачів частоти з керованим мережею інвертором для зменшення собівартості вітроелектричних установок, розроблена методика розрахунку регульовальних характеристик імпульсного перетворювача напруги підвищуючого типу забезпечують ефективність перетворення вітрової енергії в електричну у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією.

Результати дисертаційної роботи використані у НДІ "Перетворювач" (м. Запоріжжя) при розробці і виготовленні ПЧ типу ПЧ-ТТП-320-400-50 УХЛ2 для дослідної вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією ТГ-750 для ПФГ "Конкорд" (м. Дніпропетровськ) і ПЧ типу МПЧ-Т2ТПТ-418-690-50 У3 для установок ТГ-1000.

### **Апробація результатів дисертації.**

Апробація результатів дисертації підтверджується тим, що основні положення та результати роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях та наукових семінарах.

### **Оцінка ступеню опублікування наукових результатів.**

Результати дисертаційних досліджень опубліковані в 10 наукових працях, з них 7 – в фахових наукових виданнях України, в тому числі 2 роботи опубліковані у виданнях, що входять до переліку міжнародних науково-метричних баз даних, 3 – у тезах матеріалів конференцій. Обсяг і рівень висвітлення отриманих наукових результатів у фахових публікаціях, а також в інших наукових виданнях відповідає «Порядку присудження наукових ступенів...». Текст автореферату відповідає змісту дисертації.

### **Оцінка мови, стилю, оформлення дисертації.**

Назва дисертаційної роботи відповідає її змісту. Стиль висвітлення – послідовний, лаконічний. Робота написана технічно грамотно, оформлена в цілому акуратно. Ілюстрації інформативні і за своїм оформленням відповідають діючим нормативам.

### **Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. Індукторний генератор не одержав на практиці широкого розповсюдження, так як має ряд недоліків. В роботі на недостатньому рівні виконано обґрунтування його використання у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією.

2. В табл. 2.1 наведено технічні характеристики вітроелектричних установок з аеродинамічною мультиплікацією. Викликає сумнів значення напруги 690-В турбогенераторів потужністю 850 і 1700 кВт.

3. За допомогою моделі електромеханічної системи одержано розрахункові залежності. В блок-схемі моделі розраховується потужність генератора. В дисертації не вказані значення параметрів генератора та яким чином вони отримані.

4. У висновках по розділам деякі результати подано без відповідного пояснення: наприклад п.п.3, 4 розділу 4, тощо.

5. У дисертації та авторефераті дисертації використовується термін швидкість обертання. Доцільно використовувати термін частота обертання.

6. При імітаційному моделюванні електромеханічної системи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією не враховувались втрати енергії.

7. В розділі 4 не повно розкрито схему експериментальної установки; на якій проводились дослідження трирівневого інвертора.

Зазначені зауваження не стосуються основних положень та результатів дисертаційної роботи, не знижують її наукової та практичної цінності і не впливають на загальний позитивний висновок по роботі.

**Висновок.**

Дисертація І.Ю. Немудрого "Підвищення ефективності електро-механічної системи вітроелектричних установок з аеродинамічною мультиплікацією" є завершеною працею, в якій отримано науково обґрунтовані результати, які у сукупності розв'язують актуальне наукове завдання підвищення ефективності перетворення вітрової енергії в електричну у вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією великої потужності і малих швидкостях вітрового потоку шляхом побудови оптимальних структур електромеханічних систем.

Враховуючи новизну, теоретичну і практичну значимість одержаних результатів вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника ... " щодо кандидатських дисертацій, затвердженого Постановою КМ України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор Немудрий Ігор Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

*Відгук отримано 4.12.15*

*Вчений секретар вченої ради*

Офіційний опонент  
завідувач відділу електромеханічних систем  
Інституту електродинаміки  
Національної академії наук України,  
доктор технічних наук, професор



*Мазуренко* Л.І. Мазуренко

