

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Пересунька Ігоря Ігоровича**

*«Формування енергоорієнтованих пускових характеристик синхронного електропривода вентиляторів головного провітрювання шахт»*,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи»

### **Актуальність теми**

Забезпечення якісної вентиляції при підземній розробці корисних копалин є однією з умов безпечної роботи гірників. Даний процес в основному реалізується електроприводом вентиляторів головного провітрювання, які є одними з найбільших споживачів електроенергії шахт.

Віднесення даного електропривода до споживачів 1-ї категорії, наявності достатньо протяжних електричних мереж його живлення та використання прямого пуску синхронних двигунів, що має ряд недоліків, призводить до невисокої надійності та малої енергоефективності електромеханічного комплексу в цілому.

Одним із шляхів усунення зазначених проблем є удосконалення синхронного електропривода вентиляторів головного провітрювання шахт з акцентом на досягнення бажаних пускових характеристик та керування ним на проміжних позиціях. Але для цього є потреба в розробці відповідних методів та способів пуску й керування синхронним електроприводом.

Дисертаційна робота Пересунька Ігоря Ігоровича присвячена розв'язку саме такого наукового завдання.

Також актуальність підтверджується відповідністю теми роботи науковому напрямку «Розроблення комплексу заходів по енергозбереженню на підприємствах залізорудної промисловості» кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті Криворізького національного університету, «Програмі наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки» у рамках науково-дослідної роботи № 30-114-21 «Інтеграція розумних технологій побудови електроенергетичних систем у контексті підприємств гірничо-металургійної галузі», а також виконанні науково-дослідних робіт «Розроблення комплексу заходів по енергозбереженню на підприємствах залізорудної промисловості» (номер держреєстрації 0114U003457), «Розроблення енергозберігаючих заходів на підприємствах гірничодобувної промисловості» номер держреєстрації 0115U003180), «Спосіб зниження струмів витоку в електричних комбінованих мережах залізорудних

шахт» (номер держреєстрації 0116U1788), «Аспекти теорії та практики оцінки електроенергетичної конкурентноспроможності залізрудних підприємств» (номер держреєстрації 0118U006520), у яких автор був співвиконавцем.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, їх достовірність і новизна**

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-технічна задача підвищення енергоефективності електромеханічних комплексів вентиляторів головного провітрювання шахт, шляхом розробки і запровадження в практику їх функціонування ефективних методів плавного пуску приводних синхронних двигунів із роботою останніх в енергоорієнтованих межах пускових характеристик.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних аналітичних та чисельних методів, збігом теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях теорії електропривода та напівпровідникової перетворювальної техніки, елементах математичного аналізу, методах математичного та фізичного моделювання.

Основні наукові результати здобувача, які винесено на захист, є:

1. Вперше формалізовані складові теорії синтезу електромеханічних систем, що дозволяє здійснювати вибір варіантів підвищення енергоефективності функціонування синхронних електроприводів вентиляторів головного провітрювання шахт.
2. Розроблено метод енергоефективного частотного пуску синхронного двигуна на базі IGB транзисторного багаторівневого перетворювача, що, на відміну від існуючих, забезпечує функціонування електропривода на проміжних пускових позиціях та дозволяє зменшити пускові струми в обмотках статора двигуна та нормалізувати роботу електропривода вентилятора головного провітрювання при глибоких просадках напруги живлення високовольтної мережі.
3. Запропоновано метод роздільного регулювання величини й частоти вихідної напруги багаторівневого перетворювача частоти при квазічастотному пуску синхронного електропривода, що, на відміну від існуючих, забезпечує обмеження в межах допустимих значень пускових струмів.
4. Доопрацьовано метод формування оптимальної кривої напруги статора синхронного двигуна, що дозволяє підвищити електроенергетичні показники електропривода.

Наукові положення, які винесено на захист, є обґрунтованими, мають наукову новизну і є достовірними.

### **Практичне значення та шляхти використання результатів досліджень**

Виконані в роботі теоретичні дослідження дали практичні результати, які полягають у підвищенні енергоефективності електромеханічних комплексів вентиляторів головного провітрювання шахт, зокрема розроблено енергоефективну систему пуску синхронного двигуна з використанням принципу циклічного почергового управління блоками IGBT транзисторного перетворювача частоти, що дозволяє покращити енергетичні показники електропривода та зменшити пускові струми синхронного двигуна.

Практичну цінність та ефективність дисертаційної роботи підтверджено впровадженням її результатів в ТОВ «НВК Криворіжелектромонтаж» та використання в Криворізькому національному університеті на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті для підготовки фахівців за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено актами впровадження.

### **Оцінка об'єму та змісту дисертації**

Дисертаційна робота є завершеною працею. Повний обсяг дисертації складає 221 сторінку друкованого тексту та містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел з 125 найменувань, а також чотири додатки на 44 сторінках. Основний зміст викладений на 177 сторінках друкованого тексту.

У **вступі** обґрунтовано доцільність та актуальність роботи, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів роботи, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У **першому розділі** виконано огляд літератури за темою дисертації та аналіз сучасного стану проблеми. Опрацьовано достатньо багато статистичних даних про споживання активної електричної енергії вентиляторами головного провітрювання шахт Криворізького залізничного басейну. Встановлено, що більшість наукових розробок акцентувалися на полегшення умов пуску синхронного двигуна з метою його захисту від пошкоджень в умовах затяжного пуску, а енергетична складова функціонування електропривода розглядалися

лише по дотичній. Запропоновані основні вимоги до системи електропривода вентиляторів головного провітрювання шахт як з точки зору їх функціонування, так і з точки зору мінімізації споживання електричної енергії в заданому режимі.

Сформульовано мету наукового дослідження та наукові завдання, а також намічені шляхи вирішення проблеми.

**У другому розділі** розглядається математичний апарат, за допомогою якого можна здійснювати аналіз режимів функціонування синхронного електропривода в умовах вентиляторів головного провітрювання. Обґрунтовано застосування резисторного гасіння поля для швидкого й надійного збудження синхронної машини, сталість опору зовнішнього пускового резистора в колі ротора при частотному пуску синхронної машини, вимогу швидкодії системи збудження при різко змінному навантаженні синхронного двигуна. Надані рекомендації щодо поєднання в один комплекс пускового опору та опору для гасіння поля.

**Третій розділ** присвячений аналізу та вибору базуютьовуючих систем пуску й збудження синхронних електродвигунів. Зокрема досліджено спосіб почергового циклічного управління високовольтним IGBT транзисторним перетворювачем із ШІМ напруги одним інверторним блоком. Для зменшення маси та об'єму установки запропонована схема вихідного LC-фільтра моделюючої частоти на виході ШІМ блоку багаторівневого перетворювача. Для зниження перехідного струму при частотному регулюванні до рівня, нижчого за допустиме значення, запропонований спосіб роздільної зміни величини напруги та її частоти при переході з низької фіксованої частоти на більш високу. Запропонована структура IGBT транзисторного збудника синхронної машини.

**У четвертому розділі** здійснено моделювання перехідних процесів у синхронному електродвигуні з різними системами пуску електромеханічного комплексу вентиляторів головного провітрювання шахт. Представлені математичні моделі, що описують синхронний двигун в системах обертових і нерухомих координат, орієнтованих за струмом та потокозчепленням статора, дозволяють аналізувати електропривод з точки зору електричних, електромагнітних і механічних процесів. Встановлено, що врахування насичення сталі електродвигуна супроводжується високочастотними коливаннями, модульованими низькочастотними коливаннями. Наявність високочастотних складових у струмах синхронного двигуна при трапецеїдальній і ступінчастій формі фазної напруги створюють додаткові складнощі при реалізації сигналів зворотних зв'язків. Використання ступінчатого пуску порівняно з прямим суттєво зменшує споживання електроенергії до 40%. Встановлено, що тривалість

виходу двигуна на синхронну швидкість та споживання електроенергії залежить від форми напруги.

**Загальні висновки** з дисертаційної роботи повністю відображають одержані наукові результати, а також включають основні рекомендації щодо їх використання.

### **Оцінка публікацій та автореферату**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 16 наукових працях, серед яких 1 колективна монографія, 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття міжнародних періодичних виданнях, які внесені до міжнародної науково-метричної бази Scopus, 4 статті у наукових журналах і збірниках наукових праць, 5 – у матеріалах конференцій та 1 патент України на корисну модель.

Кількість публікацій у фахових виданнях відповідає чинним вимогам. Публікації за тематикою дисертації підтверджують оприлюднення всіх отриманих результатів.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації та достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

### **Зауваження до дисертації**

1. Твердження про зменшення динамічних втрат в IGBT в  $n$ -разів порівняно з стандартною схемою перетворювача (С. 91) потребує додаткового обґрунтування.
2. Не зрозуміло, яким чином отриманий вираз (2.41) додаткового (від'ємного моменту), який створюється зворотною складовою струму в роторі.
3. Відсутність фільтруючого дроселя LZ на рис. 3.16, про який йдеться на С. 104.
4. В пп. 2.2.3 приведені співвідношення для максимального значення ковзання, при якому можливе входження синхронного двигуна в синхронізм, згадується і про необхідність розробки алгоритму функціонування системи збудження синхронного двигуна, але самого алгоритму не приведено. Тим більше, що у п. 3.1 одним із встановлених вимог до системи пуску є збудження синхронних двигунів є забезпечення процесу надійного втягування машини в синхронізм.
5. З роботи не зрозуміло, яким чином здійснюється контроль максимального рівня струму й мінімального рівня напруги статора синхронного електродвигуна для виявлення короткого замикання в електромережі.

6. Не приведені етапи синтезу системи синхронного електропривода, що подана в п. 3.7 та не надані особливості функціонування синтезованої структури. Зокрема на рис. 3.2.2 структурна схема синхронного електропривода не містить вхідних керуваних сигналів від системи регулювання до транзисторного збуджувача для можливості керування процесом входження двигуна в синхронізм.
7. При моделюванні прямого пуску синхронного двигуна з частотою 50 Гц використано трансформатор з частотою 60 Гц (рис. 4.2 та рис. 4.4, відповідно).
8. Відсутність осей та їх позначень на графіках моделювання в розділі 4.
9. Було б доцільно навести елементну базу запропонованого IGB транзисторного збудника синхронного двигуна.
10. В роботі в різних розділах присутнє твердження, що запропоновані рішення забезпечують високу надійність установки, хоча жодних показників надійності не приведено.
11. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційних досліджень в ТОВ «НБК Криворіжелеткромонтаж» становить біля 3 млн. грн. в рік (за цінами 2020 р., відповідно до акту впровадження) на одну шахту. Бажано було б оцінити реальний економічний ефект, адже рік від впровадження минув ще у березні 2021 року.
12. Зауваження до тексту:

- відсутній знак порівняння між  $S_{\Sigma}^2$  та  $S^2$ , а також між  $\frac{R_{\Sigma}}{S}$  та  $R_s$  (С. 74);
- зміст оформлено з інтервальним відступом, що відрізняється від оформлення інших розділів;
- по тексту зустрічаються формули, що менші за основний шрифт;
- в коментарях до рис. 1.5 зазначено, що «Помаранчевим кольором виділено відмінність у витратах енергії в МВт\*год, в дужках вказано процентну відмінність», що на самому рисунку не відмічено;
- замість словосполучення «напруга живлення» використовуються «живляча напруга», а замість «мережі живлення» – «живильна мережа «живляча мережа»;
- наявність неправильного закінчення слів відповідно до відмінків;
- зустрічаються русизми. Наприклад, слово «току» замість «струму», «Г-образного» замість «Г-подібного», а рис. 4.41 містить російськомовний текст;

– помилково вписано в авторефераті, що основний текст дисертації розміщений на 182 сторінках друкованого тексту. Дійсна кількість – 177 сторінок;

– наявність крапок в кінці назв деяких підрозділів; відсутність перед деякими назвами таблиць та після назв рисунків відступів.

Аналізуючи виконані в дисертаційній роботі дослідження та отримані в ній висновки й результати з урахуванням повноти публікацій, можна відзначити, що наведені вище зауваження не знижують цінності роботи.

### Висновок

Дисертаційна робота Пересунька Ігоря Ігоровича «Формування енергоорієнтованих пускових характеристик синхронного електропривода вентиляторів головного провітрювання шахт» є завершеною науково-дослідною роботою, яка за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною й ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків, а також за змістом поданого в ній матеріалу, відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи» та вимогам пп.9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор Пересунько Ігор Ігорович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи».

Офіційний опонент,  
декан факультету Електроенергетики та електромеханіки,  
доцент кафедри Електромеханічних систем автоматизації  
в промисловості і на транспорті  
Вінницького національного  
технічного університету  
кандидат технічних наук, доцент

Михайло РОЗВОДЮК



Підпис  
ПОСВІДЧУЮ  
Зав. канцелярією