

експериментальних моделей, вказує на необхідність удосконалення схем компенсації реактивної енергії.

#### Список використаних джерел

1. Pham Ai Quoc, Pham Cong Duy. Manufacturing of a transformer for converting 3-phase to 6-phase electric power source. *Journal of Science and Technology*. 2024. Т. 72. С. 1–10.

2. Analysis and Comparative Study of Six Phase Transmission System. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. Т. 5. С. 1351–1361.

3. T. M. I. Bin Tuan Yacob, Z. B. Zakaria. Study of six phase transmission line using the autotransformer conversion. *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*, м. Cyberjaya. 2011.

4. Ставинський А., Ставинський Р., Плахтир О. Способи забезпечення спеціальних вимог до силового електрообладнання на основі трансформаторів і трансформаторних перетворювачів з просторною структурою. *Електротехніка і електромеханіка*. 2005. № 4. С. 30–36.

**Abstract.** *The paper provides a generalized analysis of modern approaches to the transformation of electromagnetic systems using transformers to form multiphase power supply modes. The winding and design methods for creating phase shifts are analyzed, their advantages and limitations are established. It is shown that design solutions with optimized spatial organization of the active part of the transformer provide the highest EMF symmetry and minimal harmonic distortions, while winding schemes are distinguished by technological accessibility and flexibility. Current problems associated with higher harmonics, thermal modes and low power factor values are identified, which indicates the need for further optimization of phase number conversion systems.*

**Keywords:** *transformer converters, polyphase systems, phase transformation, winding methods, design methods, electromagnetic system, harmonic distortion, EMF symmetry.*

УДК 621.313.33

### МОДЕРНІЗАЦІЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА FP129/5 У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ГІДРОТРАНСПОРТУ ГРАНУЛ ПОЛІПРОПІЛЕНУ

**Фученко Сергій**

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

**Анотація:** *Робота присвячена модернізації нерегульованого електропривода погрузного насоса FP129/5 у складі системи охолодження та гідротранспорту гранул поліпропілену лінії P129. Об'єктом є замкнений контур*

циркуляції демінералізованої води з комплектом вузлів: заглиблена ємність P129/2, погрузний насос P129/5, фільтри P129/6, теплообмінник P129/7, трьохходовий клапан X3100V-A, водовіддільник P129/1, центробіжна сушарка P129/3, вентилятор P129/16, конденсатозбірник P129/33, перемикач напрямку потоку P129/17 та автоматичний регулюючий клапан T3101ICSAHL-A. Запропоновано впровадження частотно-регульованого електропривода з вимірювальними каналами струму й тиску для підтримання заданих параметрів продуктивності та тиску, зменшення енерговитрат і підвищення рівня автоматизації. Проведено вибір датчиків та імітаційні дослідження, у т. ч. режиму струмообмеження. Передбачено економічну оцінку модернізації й заходи з пожежної та екологічної безпеки.

**Ключові слова:** погрузний насос; частотно-регульований електропривод; гідротранспорт гранул поліпропілену; датчик струму; датчик тиску; імітаційні дослідження; енергоефективність.

У роботі виконано аналіз ефективності виробничого обладнання та сформовано конкретні пропозиції з модернізації на прикладі електропривода погрузного насоса FP129/5. Необхідність оновлення зумовлена потребою підвищити ресурс, енергоефективність і ступінь автоматизації технологічних комплексів виробництва поліпропілену/поліетилену. Очікуваний ефект від впровадження сучасних систем керування — збільшення строку служби, оптимізація витрат енергії та стабілізація параметрів процесу.

Система охолодження і транспорту гранул поліпропілену побудована як замкнений водяний контур: демінералізована вода з ємності P129/2 подається насосом P129/5 на фільтри P129/6, далі - у теплообмінник P129/7 на охолодження та через регулюючу арматуру - до вузлів водовідділення, сушіння та відведення вологи; повітря з сушарки відсмоктується вентилятором P129/16 через конденсатозбірник P129/33. Температуру демінералізованої води підтримують автоматично в межах (45–70) °С. В період пуску передбачено обвідну лінію («байпас») та попередній підігрів води парою 4 кгс/см<sup>2</sup>.

В умовах змінних витрат і тиску в контурі гідротранспорту (зокрема під час пуску/виходу на режим) традиційне дроселювання призводить до зайвих витрат та погіршує керованість. Мета модернізації — впровадження частотно-регульованого привода з контурами зворотних зв'язків за струмом і тиском для підтримання цільових значень продуктивності/тиску та підвищення енергоефективності.

Розраховано канали вимірювання координат ЧРЕП і виконано добір засобів вимірювання для зворотних зв'язків. Для контролю фазних струмів застосовано три трансформаторні датчики струму CR4110-5 (CR Magnetics), які забезпечують гальванічну розв'язку, стабільність параметрів у часі та роботу за підвищеного вмісту гармонік; номінальні значення:  $I_{\text{вим}} = 5 \text{ А}$ ,  $U_{\text{вих}} = 0...5 \text{ В}$ , живлення 24 В, смуга 0,02...5 кГц, швидкодія 250 мс. Для вимірювання тиску середовища обрано «Метран-100-ДИ-1162», що формує уніфікований струмовий сигнал для систем автоматичного контролю/регулювання.

Побудовано імітаційну модель регульованого електропривода для перевірки працездатності, у т. ч. режиму струмообмеження, що є критичним під

час пусків і перехідних процесів у насосних установках. Структура розділу містить три етапи: побудова моделі, перевірка працездатності, дослідження режиму струмообмеження.

У межах економічної частини сплановано й оцінено електромонтажні та пусконаладжувальні роботи, складено кошторис проекту, а також зведений бюджет на виконання НДР; окремо наведено кошторис матеріальних ресурсів (обладнання, витратні матеріали, ПЗ). Питання безпеки включають аналіз небезпечних/шкідливих виробничих факторів, виробничу санітарію, розрахунок захисного заземлення приміщення лінії P129, пожежну та екологічну безпеку.

Запропонована модернізація електропривода погружного насоса FP129/5 забезпечує підвищення надійності та строку служби технологічного обладнання, оптимізацію енергоспоживання, покращення автоматизації та керованості системи охолодження і транспорту гранул поліпропілену. Підтверджено доцільність застосування контурів зворотних зв'язків за струмом і тиском, а також ефективність режиму струмообмеження в перехідних процесах за результатами імітаційних досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Оптимізаційний метод для електромагнітних систем електричних апаратів. / Л. Вахоніна та ін. *IEEE 4th international conference on modern electrical and energy systems*. 2022.
2. Циганов О., Ставінський А. Конструктивно-технологічні пропозиції удосконалення однофазного трансформатора з шихтованим магнітопроводом. *Електротехніка та електромеханіка*. 2020. С. 11–17.
3. Variable speed drive optimization model and analysis of comprehensive performance of beam pumping unit / Z.-M. Feng et al. *Journal of petroleum science and engineering*. 2020. Vol. 191. P. 107155.
4. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

**Abstract:** *The work is devoted to the modernization of the unregulated electric drive of the FP129/5 submersible pump as part of the cooling and hydrotransport system for polypropylene granules of the P129 line. The object is a closed circuit for the circulation of demineralized water with a set of components: submerged tank P129/2, submersible pump P129/5, filters P129/6, heat exchanger P129/7, three-way valve X3100V-A, water separator P129/1, centrifugal dryer P129/3, fan P129/16, condensate collector P129/33, flow direction switch P129/17, and automatic control valve T3101ICSAHL-A. The introduction of a frequency-controlled electric drive with current and pressure measuring channels is proposed to maintain the specified performance and pressure parameters, reduce energy costs, and increase the level of automation. Sensors have been selected and simulation studies have been conducted, including current limitation mode. An economic assessment of the modernization and fire and environmental safety measures are provided.*

**Keywords:** *submersible pump; frequency-controlled electric drive; hydraulic transport of polypropylene granules; current sensor; pressure sensor; simulation studies; energy efficiency.*

**Науковий керівник:**

**Руденко А.Ю.**

*асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки  
Миколаївський національний аграрний університет*

**УДК 621.314.332**

## **ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В МАГНІТОПРОВОДАХ І МАТЕРІАЛОМІСТКОСТІ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРНО-РЕАКТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ.**

**Середа Віталій**

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет  
м. Миколаїв, Україна

**Анотація:** *Обґрунтовано актуальність зниження втрат неробочого ходу у магнітопроводах трифазних трансформаторів (25–2500 кВА, 6–10 кВ) та реакторів у контексті посилених вимог EN 50464-1 та IEC 60034-30. Показано обмеження традиційних підходів (анізотропні сталі з косими стиками Step-lap/Multi-step-lap, аморфні сталі, «капсульовані/кабельні» обмотки) щодо досягнення суттєвого зниження втрат без зростання матеріаломісткості. Запропоновано комплекс рішень: комбінування анізотропної, ізотропної та аморфної ЕТС; шевронні вставки з інтегральним зварюванням; ортогональне взаємне розташування шарів у планарних/просторових стикових магнітопроводах; перехід від прямокутних/кругових до багатограних контурів (восьми- та шестигранних). Доведено, що шестигранні внутрішні контури та восьмигранний зовнішній контур зменшують нерівномірність поля в ярмах, прибирають «мертву» масу кутових зон і знижують втрати; для витих секцій усунення третіх гармонік забезпечується магнітним зв'язком/ортогональністю шарів. Для обґрунтованого вибору варіантів застосовано метод універсальних безрозмірних цільових функцій (маса/вартість/втрати), який уніфікує порівняння ЕМС ТТ/ТР.*

**Ключові слова:** *трифазний трансформатор; реактор; шихтований/витий магнітопровід; трансформаторобудування; анізотропна/ізотропна/аморфна електротехнічна сталь; step-lap; восьми- та шестигранні контури.*

Зростання вимог до енергоефективності трансформаторів зумовлено переходом від національних норм до EN 50464-1 та IEC 60034-30. Найбільший внесок у втрати системи дають розподільчі ТТ 25–2500 кВА (6–10 кВ), а також