

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЯВИЩ У НАСОСНІЙ УСТАНОВЦІ ВИСОКОГО ТИСКУ СУШАРКИ

¹Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

У роботі проаналізовано негативні явища в насосних установках високого тиску сушарок та обґрунтовано їх усунення шляхом впровадження частотно-регульованого електропривода. Показано, що частотне керування дозволяє обмежити пускові струми, усунути гідроудари, стабілізувати тиск розпилення та підвищити енергоефективність системи на 20–30 %. Встановлено, що застосування VFD забезпечує комплексне покращення надійності обладнання та якості готової продукції.

Ключові слова: насосна установка високого тиску, частотно-регульований електропривод, гідроудар, стабілізація тиску, енергоефективність.

Abstract

The paper analyzes negative phenomena occurring in high-pressure pump units of dryers and substantiates their elimination through the implementation of a variable frequency drive. It is shown that frequency control makes it possible to limit starting currents, eliminate water hammer, stabilize the atomization pressure, and increase the energy efficiency of the system by 20–30 %. It has been established that the use of VFD provides comprehensive improvement in equipment reliability and the quality of the finished product.

Keywords: high-pressure pump unit, variable frequency drive, water hammer, pressure stabilization, energy efficiency.

Вступ

Актуальність роботи. Насосні установки високого тиску (НУВТ) є ключовим елементом сучасних промислових сушильних апаратів, забезпечуючи формування необхідних параметрів робочого середовища. Ефективність і надійність їх роботи значною мірою залежать від характеристик електроприводу.

Під час експлуатації НУВТ виникають суттєві негативні явища: високі пускові струми, гідравлічні удари, нестабільність тиску розпилення та підвищене енергоспоживання. Ці фактори призводять до зниження надійності обладнання, прискореного зносу елементів системи та погіршення загальних енергетичних показників.

Одним із найбільш перспективних шляхів усунення зазначених недоліків є застосування частотно-регульованого електропривода (VFD), який дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження, стабілізувати технологічні параметри та підвищити енергоефективність установок.

Метою роботи є: аналіз можливостей підвищення ефективності насосних установок високого тиску шляхом впровадження частотно-керованого електропривода.

Об'єктом дослідження є: процес функціонування насосних установок високого тиску.

Предметом дослідження є: методи зменшення негативних явищ, що виникають під час роботи НУВТ.

Результати дослідження

Детальний аналіз експлуатаційних режимів насосних установок високого тиску дозволив виявити ключові механізми виникнення негативних явищ і визначити ефективні шляхи їх усунення шляхом впровадження частотно-регульованого електропривода [1].

Першою суттєвою проблемою є електромагнітні перевантаження під час пуску агрегату. Пряме ввімкнення асинхронного двигуна до мережі супроводжується інтенсивними перехідними процесами, за яких кратність пускового струму у 5–7 разів перевищує номінальне значення [1]. Це призводить до значних імпульсних просядок напруги в локальній мережі підприємства та прискореного теплового старіння ізоляції обмоток двигуна. Застосування VFD дає змогу реалізувати алгоритм керованого розгону з обмеженням струму на рівні номінального значення, що суттєво знижує електричні навантаження як на мережу живлення, так і на сам електродвигун.

Важливим аспектом модернізації є мінімізація впливу перехідних гідродинамічних процесів, які виникають через різку зміну швидкості обертання вала насоса під час комутацій. Стрибкоподібні зміни тиску в замкненому гідравлічному контурі провокують руйнівні гідроудари, що створюють надмірні механічні напруження в системі [1]. Наслідками є деформація трубопроводів, передчасне руйнування ущільнень плунжерів, клапанних вузлів і форсунок сушарки. Частотне керування забезпечує формування оптимальних рамп розгону та гальмування, завдяки чому тиск наростає плавно, динамічні удари нівелюються, а ресурс гідравлічної частини обладнання значно подовжується.

Також важливою проблемою є нестабільність робочого тиску розпилення сировини, зумовлена імпульсним характером витіснення рідини плунжерами та динамічними змінами навантаження. Коливання тиску порушують задану дисперсність розпилу, що негативно позначається на якості сушіння та однорідності готового продукту. Впровадження замкненої системи автоматичного регулювання на базі VFD дозволяє в реальному часі адаптувати частоту обертання двигуна до поточних змін у системі. Це забезпечує оптимальну стабілізацію тиску з високою точністю, що створює необхідну умову для отримання кондиційної продукції.

В [2,3] показано, що класичні методи регулювання демонструють низьку енергоефективність системи. Робота насоса на постійній номінальній швидкості вимагає використання додаткових ліній для скидання надлишкового тиску при зміні потреб технологічного процесу. Це спричиняє значні втрати електроенергії на виконання некорисної роботи та призводить до перегріву робочої рідини. Регулювання швидкості двигуна за допомогою VFD забезпечує точну відповідність продуктивності насоса реальним потребам сушарки, що дозволяє підвищити енергоефективність системи на 20–30 % [2,3] залежно від режиму завантаження.

Таким чином, перехід на частотно-регульований електропривод забезпечує комплексне поліпшення статичних і динамічних характеристик насосних установок високого тиску, підвищує надійність обладнання, якість продукції та енергоефективність технологічного процесу в цілому.

Висновки

Проведений аналіз показав, що експлуатація насосних установок високого тиску сушарок супроводжується низкою негативних явищ, зумовлених взаємодією електричних і гідродинамічних процесів. Найбільш ефективним шляхом їх усунення є впровадження частотно-регульованого електропривода.

Використання частотно-регульованого електропривода дозволяє обмежити пусковий струм номінальним значенням, усунути електромагнітні перевантаження, нівелювати гідроудари та забезпечити прецизійну стабілізацію тиску розпилення. Також перехід до частотного керування підвищує енергоефективність системи на 20–30 % і суттєво збільшує ресурс гідравлічного обладнання.

Таким чином, застосування частотно-регульованого електропривода забезпечує комплексне поліпшення статичних і динамічних характеристик НУВТ, підвищує надійність установки та якість готової продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bordeasu D., Prostean O., Filip I., Vasar C. Adaptive Control Strategy for a Pumping System Using a Variable Frequency Drive [Електронний ресурс] // Machines. 2023. Vol. 11(7). P. 688. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2075-1702/11/7/688> (дата звернення: 22.03.2026).
2. Barie E. Z., Chang C.-K. Application of Variable Frequency Drive on the Condensate Pump Motors of APR1400 Nuclear Power Plants for Energy Savings [Електронний ресурс] // Journal of International Council on Electrical Engineering. 2018. Vol. 8(1). P. 179–189. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-0825/13/5/190> (дата звернення: 23.03.2026).
3. Jiefeng W., Shuo L., Xin T., Lihua G. Research on Control Technology of Variable Frequency Drive Pumping System Based on Energy Saving [Електронний ресурс] // Actuators. 2024. Vol. 13(5). P. 190. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-0825/13/5/190> (дата звернення: 24.03.2026).

Щерба Антон Віталійович – студент групи ЕМСА-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ел. пошта: pnv4404@gmail.com

Науковий керівник: **Богачук Володимир Васильович** – канд. тех. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bvv@vntu.edu.ua

Shcherba Anton Vitaliyovych – student of the EMSA-22b group, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pnv4404@gmail.com

Research supervisor: **Bogachuk Volodymyr Vasyliovych** - PhD.Associate Professor of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, e-mail: bvv@vntu.edu.ua