

М. С. БОРИСЕНКО, аспірант, С. А. СЕРГІЄНКО, канд. техн. наук, проф.  
 Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського,  
 В. К. ТИТЮК, д-р техн. наук, проф., В. Д. БАРАНОВСЬКИЙ, д-р філософії, ст. викл.,  
 В. О. ЛЕВЧЕНКО, аспірант  
 Криворізький національний університет

## ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ В НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ

Насосні станції систем водопостачання належать до об'єктів безперервного технологічного циклу з підвищеними вимогами до надійності електропривода. Аналіз умов експлуатації показує, що електропривод насосного агрегату функціонує в умовах систематичних нестационарних збурень, природа і часові масштаби яких принципово відрізняються від режимів, для яких проєктуються стандартні системи керування [1]. На підставі аналізу публікацій систематизовано шість класів таких режимів: гідравлічний удар, кавітація і нестійкий режим насоса, пускові і зупинні режими, різкозмінне навантаження при паралельній роботі агрегатів, провали напруги живильної мережі та робота на нестійкій ділянці характеристики  $Q-H$ .

Гідравлічний удар і кавітація формують збурення моменту навантаження на валу насоса з часовими масштабами від мілісекунд до десятків мілісекунд. Для асинхронного двигуна з перетворювачем частоти (ПЧ) такі збурення проявляються як динамічне перевантаження інвертора і просідання швидкості в замкненому контурі [2]. Пускові режими і перемикання агрегатів діють у діапазоні від секунд до хвилин та визначають вимоги до темпу зміни сигналу завдання. Провали напруги живильної мережі глибиною 0,5–0,9 від номінальної здатні вивести двигун у генераторний режим і унеможливити самозапуск після відновлення напруги [3]. Робота на нестійкій ділянці характеристики  $Q-H$ , де  $dH/dQ > 0$ , призводить до автоколивань витрати і тиску, що традиційними ПД-регуляторами не усуваються, а за умов запізнення у каналі зворотного зв'язку можуть посилюватися.

Встановлено, що для кожного класу нестационарних режимів у літературі представлені часткові рішення – окремі алгоритми захисту, методи виявлення, оптимізаційні підходи [2, 4]. Разом з тим зазначені рішення не утворюють єдиної системи керування з обґрунтованими гарантіями якості та стійкості в усьому діапазоні режимів. Принциповим є те, що існуючі системи керування орієнтовані або на якість регулювання в нормальних умовах, або на захист обладнання в аварійних ситуаціях. Проміжна зона передаварійних режимів, коли система функціонує, але запас стійкості вже суттєво знижений, не отримала ні формального визначення, ні відповідного алгоритму керування в жодній з аналізованих робіт. Математичне моделювання нестационарних режимів у більшості досліджень або обмежується гідравлічною підсистемою без урахування динаміки приводу, або моделює привід без нелінійних характеристик і аналізу стійкості нелінійної моделі. Зв'язок між режимом нестационарного збурення, динамікою привода і запасом стійкості замкненої системи керування у явному вигляді не встановлено в жодному з аналізованих підходів.

Подальші дослідження в цьому напрямі можуть бути направлені на синтез інтегрованої нелінійної математичної моделі системи «асинхронний електропривод з ПЧ – відцентровий насос – трубопровідна мережа» із урахуванням нелінійних характеристик кожної підсистеми, розробку методу аналізу стійкості інтегрованої нелінійної моделі на підставі функцій Ляпунова, оцінки поточного запасу стійкості в реальному часі для кожного класу нестационарних збурень, як необхідної умови переходу від якісних описів режимів до кількісних критеріїв передаварійного стану, синтезу системи керування електроприводом з адаптивним критерієм регулювання в нормальному та передаварійному/аварійному режимах з теоретично обґрунтованими гарантіями.

### Список літератури

1. Chaudhry M. H. Applied Hydraulic Transients. 3rd ed. New York : Springer, 2014. 583 p. ISBN 978-1-4614-8538-4.
2. Zagirnyak M. V., Korenkova T. V., Serdiuk O. O. et al. The Control of the Pumping Complex Electric Drive in Non-Steady Operation States. New York : Nova Science Publishers, 2019. 278 p. ISBN 978-1-53615-017-9.
3. Konuhova M. Modeling of Induction Motor Response to Voltage Sags with Re-Acceleration Analysis. Energies. 2025. Vol. 18, No. 21. Art. 5682. DOI: 10.3390/en18215682.
4. Коренькова Т. В., Сердюк О. О., Ковальчук В. Г., Сергієнко С. А. Енергозберігаючі режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом. Кременчук : КрНУ, 2023. 196 с. ISBN 978-617-7304-15-8.