

МОДЕРНІЗАЦІЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ВОДОВІДЛИВУ У КАР'ЄРІ

Братушак В.В., магістрант, Пижов В.М., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Відвід води з кар'єру є невід'ємною умовою технологічного процесу відкритої добичі корисних копалин. На базальтовому кар'єрі у селі Берестовець Рівненської області підприємства «Ліхтнер ресурс Україна» було прийняте рішення щодо підвищення енергоефективності водовідведення ґрунтових вод. Це вимагало виконати перевірку можливих методів осушення кар'єру та прийняття робочого варіанту, аналіз існуючої системи керування насосною станцією та впровадження частотно-регульованого асинхронного електроприводу.

Мета роботи. Метою даної роботи є модернізація асинхронного приводу насосної станції водовідливу кар'єру із заміною некерованого електроприводу на частотно-керований та проведення відповідних досліджень.

Матеріали і результати досліджень. У роботі проаналізовані технологічні особливості та методи осушення та водовідведення, які наведені, наприклад, у [1]. Прийнято рішення, що в умовах Берестовецького кар'єру найбільш придатним методом є відкритий водовідвід з стабілізацією рівня ґрунтових вод у зумпфі.

Існуюча насосна станція має три відцентрових насоси з трьома нерегульованими асинхронними двигунами. Один з насосів працює цілодобово та постійно відкачує ґрунтові води з приямку. Коли рівень води у зумпфі перевищить задану відмітку, спрацьовує позиційний датчик рівня, та другий насос вмикається на паралельну роботу. Третій насос знаходиться у резерві.

В той же час, притік ґрунтових вод може постійно змінюватись у достатньо широких межах в залежності від багатьох чинників, таких як атмосферні опади, паводки, температура повітря, стан ґрунту, тощо. Наприклад, в умовах Берестовецького кар'єру мінімальний приплив води становить $40 \text{ м}^3/\text{год}$, а максимальний $100 \text{ м}^3/\text{год}$. Тому асинхронні двигуни не можуть працювати у більш ефективному з точки максимуму коефіцієнту корисної дії (ККД) режимі.

Одним з відомих методів підвищення енергоефективності насосних агрегатів є керування швидкості насоса за допомогою регульованого електроприводу відповідно до змін технологічних параметрів [2], [3], [5]. Зокрема, максимальний ККД можна підтримувати при стабілізації заданого рівня рідини у приямку. У цьому разі кількість води, що надходить до зумпфу завжди дорівнює кількості води, що відкачується за межі кар'єру.

Для вирішення цієї задачі розроблено асинхронний частотно-регульований електропривод зі стабілізацією рівня води. Спрощена функціональна схема системи наведена на рис. 1.

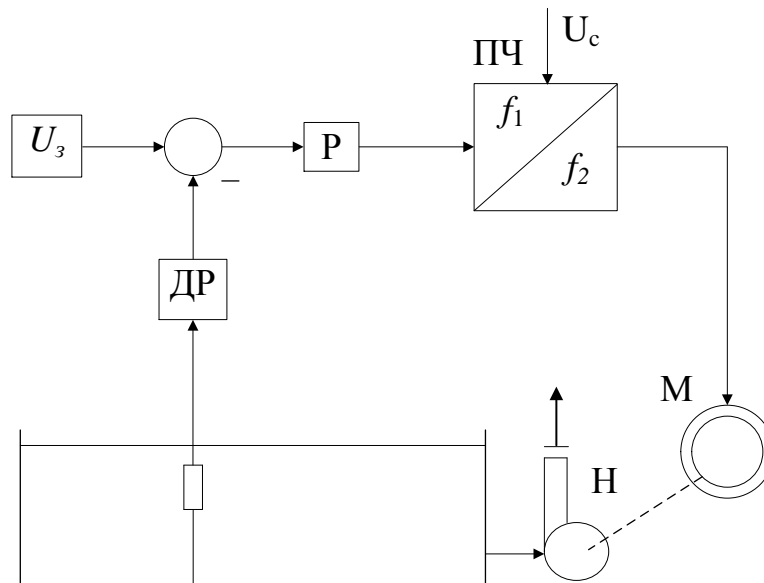


Рисунок 1 – Схема системи стабілізації рівня в резервуарі

На рис. 1 позначено: U_3 - сигнал завдання за рівнем рідини; Р - пропорційно-інтегральний регулятор; ДР - перетворювач датчика рівня; Н - насосна частина агрегату; ПЧ – перетворювач частоти; М – електродвигун.

Для дослідження роботи електроприводу було обрано два варіанти електромеханічної системи: 1) з лінеаризованим представленням асинхронного двигуна та 2) з нелінійним описом електропривода. Структурна схема лінеаризованої системи наведена на рис. 2.

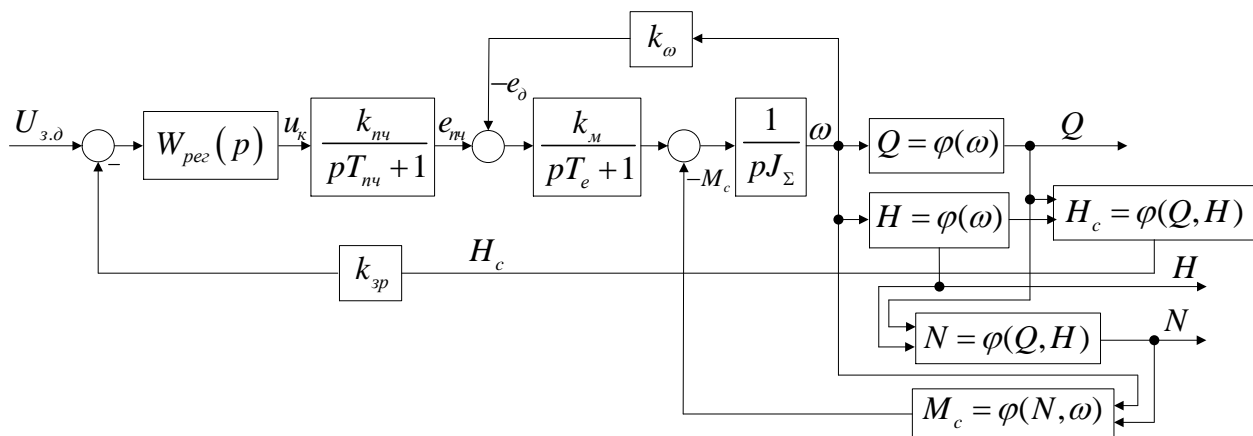


Рисунок 2 – Структурна схема частотно-регульованого насосного агрегату зі стабілізацією рівня рідини в резервуарі

На рис. 2 позначено: $W_{рег}(p)$ - передаточна функція ПІ регулятора, $k_{пч}$ - статичний коефіцієнт передачі перетворювача частоти, $T_{пч}$ - електромагнітна постійна часу перетворювача, k_m - коефіцієнт передачі ланки моменту, $k_{зр}$ - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за рівнем, k_ω - коефіцієнт внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна, T_e - електромагнітна постійна часу частотно-регульованого електропривода, J_Σ - момент інерції насосного

агрегату. Координатами та сигналами системи є: $U_{з.д}$ - вхідна напруга завдання по рівню рідини, u_k - напруга керування, $e_{нч}$ - ЕРС перетворювача частоти, e_d - ЕРС двигуна, H_c - змінна величина статичного напору, що відповідає рівню води, ω - кутова швидкість обертання.

Блоки структурної схеми насоса на рис. 2 представляють собою функціональні залежності подачі $Q = \varphi(\omega)$, напору $H = \varphi(\omega)$, потужності $N = \varphi(Q, H)$ і моменту статичного опору $M_c = \varphi(N, \omega)$ від кутової швидкості насоса, що відповідають рівнянням, наведеним в [2], а також розглянутим у [5].

На основі структурної схеми розроблено модель у пакеті Matlab та досліджені перехідні процеси. Для досліджень були використані паспортні дані асинхронного двигуна АИР 132 М4 11кВт 1450 об/хв та відцентрового насосу СМ125-100-250 з номінальною подачею $Q_n = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ та номінальним напором $H_n = 20 \text{ м}$.

Для моделювання зміни припливу води $Q_{пр}$ спочатку задаємо мінімальний приплив $20 \text{ м}^3/\text{год}$. Після 20 секунди з інтервалом часу в 10 секунд збільшуємо приплив на $20 \text{ м}^3/\text{год}$ до $100 \text{ м}^3/\text{год}$.

Перехідні процеси показані на рис. 3.

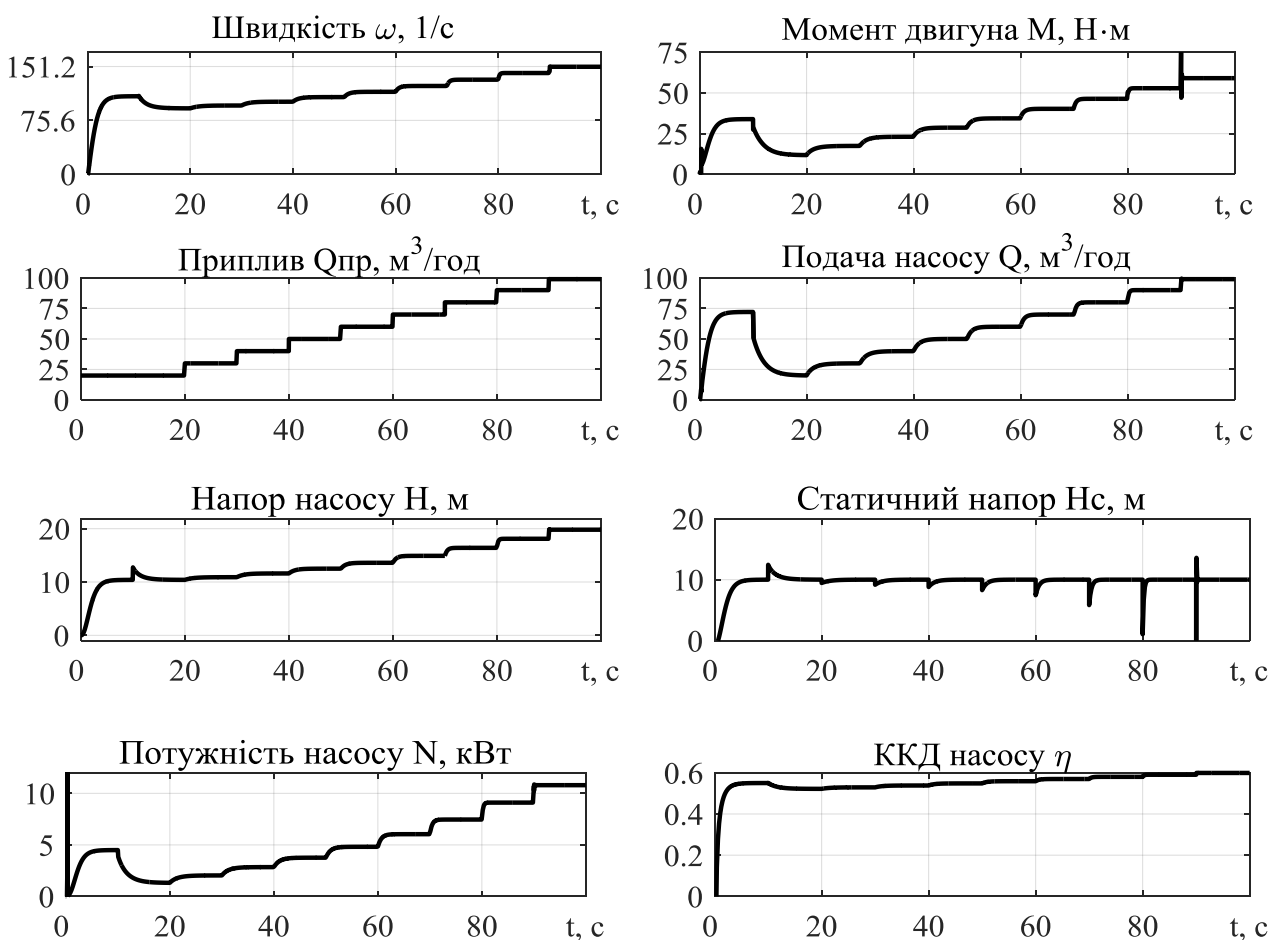


Рисунок 3 – Результати моделювання електропривода з лінійним описом асинхронного двигуна при зміні $Q_{пр}$ від 20 до $100 \text{ м}^3/\text{год}$

На графіках видно, що зі зміною припливу води змінюється статичний напір H_c , проте ПІ регулятор відпрацьовує цю зміну, впливаючи на завдання швидкості для збільшення частоти обертання робочого колеса насосу. Відповідно зі збільшенням швидкості росте подача насосу Q та напір H , підтримуючи при цьому заданий статичний напір $H_c = 10$ м. Таким чином, подача насосу Q на кожному інтервалі зрівнюється з припливом $Q_{пр}$, стабілізуючи рівень води у зумпфі.

При подачі насосу $Q=40$ м³/год, його потужність склала 2,835 кВт, що забезпечить значну економію електроенергії на усуненні надлишку відкачки води, відносно роботи з постійною частотою обертання робочого колеса насосу.

У діапазоні подач насосу від 40 до 100 м³/год ККД насосу незначно зростає від 0,538 до номінального значення в 0,6. Що свідчить про доцільність використання даного регульованого електроприводу на станції водовідливу, оскільки ККД насосу підтримується на максимальному рівні на всьому робочому діапазоні.

Дослідження динаміки було виконано також для електромеханічної системи з нелінійним описом асинхронного двигуна, яка була побудована за методикою, наведеною у [4]. Результати моделювання нелінійної системи виявилися аналогічними щодо поведінки координат насосного агрегату у лінійній системі. Але вони дозволяють оцінити зміни електричних координат у асинхронному двигуні.

Висновки. Дослідження показало, що заміна нерегульованого асинхронного електропривода насосного агрегату для водовідливу у кар'єрі на автоматизований частотно-керований електропривод дає можливість стабілізації рівня води у зумпфі в умовах зміни припливу. Це усуває надмірну подачу та напір насосу, що, в свою чергу, веде до економії електроенергії.

Перелік посилань

1. Телешев В. И. Производство гидротехнических работ. Часть 1. Учебник для вузов. / В. И. Телешев, Н. И. Ватин, А. Н. Марчук. – Москва: Ассоциация строительных вузов, 2008.
2. Фащиленко В. Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий / Валерий Николаевич Фащиленко. – Москва: "Горная книга", 2011. – 260 с.
3. Лезнов Б. С. Частотно-Регулируемый электропривод насосных установок / Б. С. Лезнов. – Москва: Машиностроение, 2013. – 176 с.
4. Теорія мехатронних систем – 1: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса. –К.: НТУУ "КПІ", 2011 р. – 96 с.
5. Энергоэффективные электромеханические системы широкого технологического назначения. Монография / Загірняк М.В., Клепиков В.Б., Ковбаса С.М., Михальський В.М., Пересада С.М., Садовой О.В., Шаповал І.А. – Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2018. – 310 с.