

УДК 621.34.62

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ АПК НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ

Хандола Ю.М., к.т.н.,  
Середин М.Ю., інженер,  
Хандола О.Ю., аспірант\*

*Харківський національний технічний університет  
сільськогосподарства ім. П. Василенка  
Тел. (057)712-50-56*

**Анотація:** Проаналізовані вимоги до систем автоматичного керування в регульованих електроприводах сільськогосподарських підприємств. Приведені експериментальні дослідження частотно-регульованого електроприводу при різних законах регулювання.

**Ключові слова:** регульований електропривод, система автоматичного регулювання, перетворювач частоти.

*Постановка проблеми.* Розробка нового обладнання та його модернізація на діючих підприємствах АПК вимагають вирішення завдань оптимізації роботи обладнання за такими основними критеріями, як точність підтримання технологічних параметрів, продуктивність, надійність, енергозбереження і можливість віддаленої діагностики та керування приводом по промисловій мережі.

Сучасні методи і засоби моделювання значно полегшують вирішення вказаних завдань на стадії проектування, коли вже визначені основні складові (регульовані електроприводи, датчики та інші пристрої) і концепція побудови системи автоматичного регулювання (САР) технологічними параметрами, без синтезу якої неможливо уявити ефективну роботу обладнання.

*Аналіз останніх досліджень.* Ґрунтуючись на результатах аналізу існуючих електроприводів на базі перетворювачів частоти (ПЧ), можна виділити три основні групи механізмів, в яких застосування САР особливо ефективно [1-3].

Перша група включає допоміжні механізми, що здійснюють подачу матеріалів, виробів (зерно, сировину, заготовки) для їх подальшої обробки (дроблення, пресування, розпилювання) на основному

обладнанні.

Базисним критерієм оптимізації роботи такого обладнання є підтримання на необхідному максимальному рівні продуктивності устаткування при дотриманні норм струмового навантаження основного виконавчого електродвигуна. Для цього застосовується САР замкнута по струму основного двигуна, причому стрибкоподібні зміни збурення визначаються тут неоднорідністю оброблюваного матеріалу.

Керування в САР здійснюється по малопотужного каналу (регульований частотний привід малої потужності допоміжного механізму), завдяки чому вартість ПЧ і втрати в ньому невеликі. Електропривод тут реалізує тільки функцію регулювання швидкості в неглибокому діапазоні (1:10), від нього не потрібно високої точності формування швидкісних робочих характеристик і регулювання струму внаслідок стабільного навантаження, але потрібна висока швидкодія для відпрацювання збурюючих впливів в САР [4].

Друга група включає допоміжні механізми (насоси, живильники), які здійснюють дозування компонентів (подача води, розчинів, хімічних реагентів) для їх повної переробки в ході технологічного процесу (виробництва пари, створення сумішей).

Основним критерієм оптимізації роботи в такому виробничому процесі є точність підтримання технологічного параметра (тиску пари в котлі, концентрації реагенту в розчині), для чого застосовується САР замкнута за величиною параметра.

Виконання операцій технологічного процесу визначається тут великими постійними часу, необхідна величина технологічного параметра змінюється залежно від завантаження основного обладнання, тому в такій САР регульований частотний електропривод допоміжного механізму функціонує в більш глибокому діапазоні швидкостей (1:20) [5]. Від приводу не вимагаються великої швидкодії, точність швидкісних робочих характеристик і регулювання струму в обмотках двигуна. Але важлива висока надійність приводу, так як нерегламентована зупинка виконавчого двигуна допоміжного механізму в таких виробництвах може викликати повне порушення технологічного процесу (аж до аварійного відключення), а отже призвести до великих економічних втрат.

Супутніми корисними якостями застосування спеціалізованих частотних приводів в такому обладнанні є економічне витрачання дозованих компонентів, вартість яких може бути досить високою, як у випадку з хімічними реагентами, або зменшення витрат на енергоносії завдяки спалюванню горючих відходів, яке виключає їх дорогу утилізацію. Крім того, зниження динамічних навантажень в робочих вузлах і системах, збільшує надійність і термін служби всього устаткування.

Третя група включає механізми запірно-регулюючої апаратури

(засувки) в трубопроводах, що транспортують рідкі, газоподібні або сипучі матеріали з робочих ємностей, що знаходяться часом під високим тиском.

При оптимізації роботи цього обладнання основними критеріями служать надійність і точність підтримання технологічного параметра. На САР і регульований електропривод в цій системі накладаються досить жорсткі вимоги: високу швидкодію відпрацювання керуючих сигналів в режимі реверсування виконавчого двигуна, робочий діапазон частоти в межах одиниць Герц, можливість роботи "на упор" і форсування моменту двигуна.

Теоретичні та практичні дослідження показали [6, 7], що правильний вибір ПЧ та способу регулювання, при використанні спеціалізованих регульованих електроприводів, побудованих з урахуванням характерних властивостей навантаження, дозволяють забезпечити виконання необхідних показників якості роботи обладнання, вирішити проблеми енергозбереження та окупності витрат, вкладених в його розвиток і модернізацію.

*Мета статті.* На основі аналізу систем автоматичного управління привести експериментальні дослідження частотно-регульованого електроприводу АПК.

*Основна частина.* Для аналізу роботи частотно-керованого асинхронного електропривода ми використали лабораторний стенд, який дозволяє проводити дослідження енергетичних показників САР при різних законах регулювання під навантаженням.

Електрична схема складається із частини управління та вимірювання і силової частини. Основні елементи управління: автоматичний вимикач, магнітний пускач та перетворювач частоти; елементи вимірювання: амперметри, вольтметри, ватметри та тахометр; силова частина – це асинхронний двигун з електричними гальмами. Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в комплекті з електричними гальмами та тахогенератором розташований на підставці біля стенда.

Для досліджень був використаний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором: 4А80А4У3;  $P = 1,5$  кВт;  $\cos\varphi = 0,83$ ;  $n_{\text{ном}} = 1415$  об/хв.;  $\text{ККД}_{\text{ном}} = 77\%$ ;  $I_{\text{ном}} = 3,57$  А;  $J = 0,0033$  кг·м<sup>2</sup>;  $\mu_n = 2$ ;  $\mu_k = 2,4$ ;  $m = 20,4$  кг. Керування здійснювалось ПЧ Altivar 312 NU 11M2: номінальна потужність  $P_n = 1,1$  кВт; повна потужність  $S = 2,4$  кВА; номінальний струм  $I_n = 12,1$  А; вихідна частота  $f = 0 \div 500$  Гц; вихідна напруга  $U = 0 \div 400$  В; вхідна напруга  $U = 200 \div 240$  В.

За допомогою пульта керування проводиться налаштування параметрів ПЧ, візуально контролюється функціонування ПЧ по основним параметрам: частота на виході ПЧ, напруга в ланці постійного струму, напруга, струм та потужність на виході ПЧ.

Команда на запуск електродвигуна надходить від пульта керування або від комп'ютера. Після появи команди на запуск, із системи керування надходить сигнал і на двигун подається струм із заданими параметрами напруги та частоти. За допомогою вольтметра, амперметра та ватметра знімаємо показники напруги, струму та спожитої потужності при частотах 50, 40, 30, 20 Гц і записуємо в таблиці. На електромагнітні гальма подаємо постійний струм і навантажуюмо двигун до розрахованих значень. Частоту обертання отримуємо за допомогою тахогенератора. Перший дослід проводимо на холостому ході, другий – при навантаженні 50 % від номінального моменту, третій 80 % від номінального моменту, четвертий при номінальному моменті і п'ятий при 120 % від номінального моменту.

Перетворювач частоти Altivar 312 може здійснювати керування за чотирма різними законами [8]: лінійним, квадратичним та векторним, а також в енергозберігаючому режимі. Спочатку налаштовуємо ПЧ на лінійний закон керування, навантажуюмо двигун, та проводимо експеримент. Аналогічно проводимо експеримент при квадратичному та векторному законах керування. Перетворювач частоти також може працювати в енергозберігаючому режимі, коли регулювання відбувається в зоні близької до холостого ходу по квадратичному закону, а в зоні близької до номінальної по векторному.

За результатами експериментальних даних та розрахунків будемо характеристики електроприводу при різних способах керування. На рисунку 1 показані графіки залежності вихідної напруги від частоти на затискачах двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний.

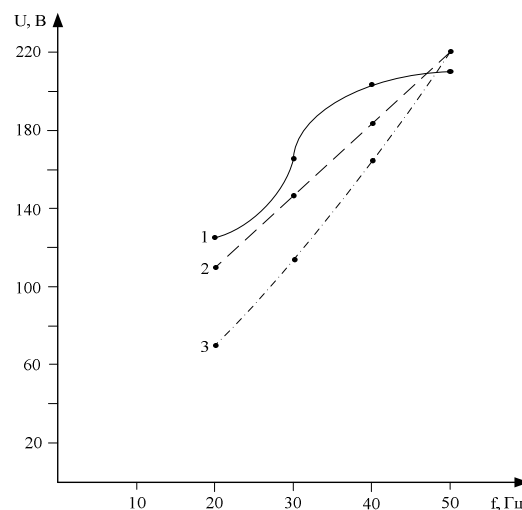


Рис. 1. Графіки залежності вихідної напруги від частоти на затискачах двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний.

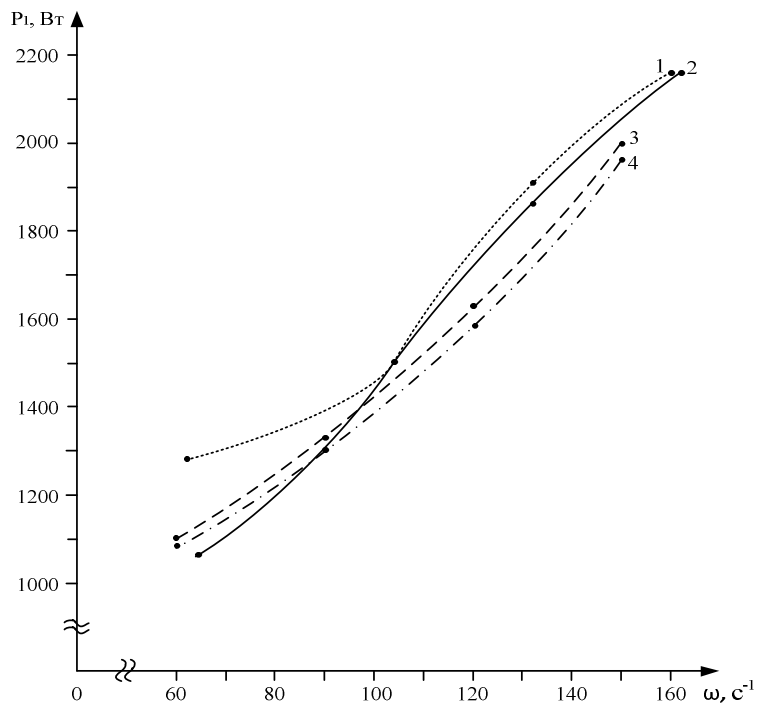


Рис. 2. Графіки залежності спожитої потужності від частоти обертання при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – векторний, 2 – енергозберігаючий, 3 – лінійний, 4 – квадратичний.

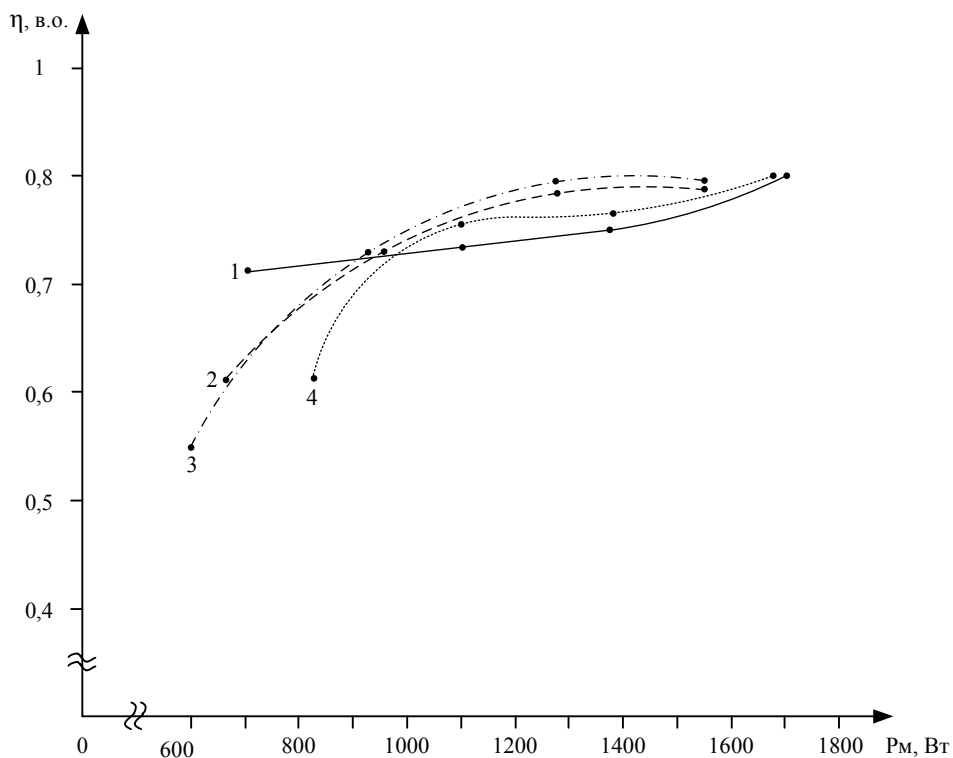


Рис. 3. Графіки залежності ККД електропривода від механічної потужності на валу двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний, 4 – векторний.

З рис. 2 видно, що при векторному керуванні частотою обертання, та номінальному навантаженні потужність, яка споживається з мережі, вища, але при цьому і момент, який розвиває двигун більший. В енергозберігаючому режимі ПЧ автоматично пристосовується до навантаження та зміни частоти обертання, і від холостого ходу до  $105 \text{ с}^{-1}$  ближчий до векторного, а від  $105 \text{ с}^{-1}$  до  $65 \text{ с}^{-1}$  ближчий до лінійного та квадратичного керування. Такі налаштування ПЧ, передбачені заводом виробником, дозволяють застосовувати пристрій для керування різноманітними електроприводами з регулюванням частоти обертання в широких межах при суттєвій економії електроенергії, та значним моментом на валу двигуна.

З рис. 3 видно, що при лінійному та квадратичному керуванні частотою обертання та номінальному навантаженні, ККД вище ніж при векторному, але при цьому і момент, який розвиває двигун менший. При роботі в енергозберігаючому режимі ККД практично не змінюється протягом всього періоду навантаження.

*Висновки.* Аналіз експериментальних та розрахункових даних показав: - лінійний закон керування доцільно застосовувати для електроприводів з постійним моментом навантаження, наприклад для кранових механізмів, стрічкових, шнекових або скребкових транспортерів; - квадратичний закон керування для електроприводів зі змінним моментом навантаження, наприклад для насосів або вентиляторів; - векторний закон керування потоком без датчика необхідно застосовувати також для електроприводів з постійним моментом навантаження. Енергозберігаючий режим застосовують для електроприводів зі змінним моментом навантаження, коли немає потреби в якісних динамічних характеристиках, регулювання відбувається в зоні близькій до холостого ходу по квадратичному закону і в зоні близькій до номінальної по векторному.

#### *Список використаних джерел*

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник - М.: АCADEMIA, 2006. - 265 с.
2. Гаврилюк І. А. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та поточних ліній. Підручник / І. А. Гаврилюк, Ю. М. Хандола – Харків: факт, 2008. – 578 с.
3. Савченко П. І. Електропривод у питаннях і відповідях / П. І. Савченко, М. Л. Лисиченко, О. К. Тищенко, В. В. Гузенко – Харків: факт, 2012. – 270 с.
4. Середин М. Ю. Моделирование регулируемого электропривода смешивальной установки линии приготовления багатоконпонентної кормосуміші // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2014. – №. 1. – С. 39-41.

5. *Акинин К.П.* Опыт разработки и внедрения частотно-регулируемых электроприводов. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика Сборник науч.трудов *К. П. Акинин , В.П. Стяжкин, А.П. Плугатарь .* – Харьков: ХДПУ, 1999. Выпуск. 61. - С. 247-248.
6. *Хандола Ю. М.* Зниження витрат електричної енергії при дозуванні кормових сумішей. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України ” / *Ю. М. Хандола , А. І. Середа, М. Ю. Середин* – Харків: ХНТУСГ , 2014. – Вип. 153. – с. 72-73.
7. *Schneider Electric* Техническая коллекция. Вып. № 19. «Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости» TECHCOL19RU.
8. *Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W.* Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996. – p. 265.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ АПК НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ**

Хандола Ю.Н., Середин М.Ю., Хандола О.Ю.

***Аннотация.* Проанализированы требования к системам автоматического управления в регулируемых электроприводах сельскохозяйственных предприятий. Приведены экспериментальные исследования частотно-регулируемого электропривода при различных законах регулирования.**

## **STUDY REGULATED ELECTRIC DRIVE AIC AT THE LABORATORY STAND**

Y. Handola, M. Seredin, O. Handola

### ***Summary .***

**Analyzed the requirements for automatic control systems in regulated electric drive farms. Experimental studies variable frequency drive for different types of regulation.**