

УДК 631.3-83(075.8)

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯМ АГРЕГАТУ АПК-10А

*І.М. Голодний, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail: [golodnyi@ukr.net](mailto:golodnyi@ukr.net)*

**Анотація.** Сучасний асинхронний регульований електродвигун базується на використанні напівпровідникових перетворювачів напруги різних типів, для яких, із-за складності чи високої вартості, мало приділено уваги дослідженню різних робочих характеристик. З розвитком комп'ютерного моделювання появилась можливість поглибити дослідження даних процесів.

Метою роботи є зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електродвигуна за допомогою комп'ютерного моделювання.

Методика і матеріали. Аналіз електромагнітних процесів регульованого електродвигуна проводився з використанням положень теорії електродвигуна та статистичних методів обробки результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab.

Результати досліджень. Для проведення досліджень роботи системи автоматичного регулювання електродвигуном агрегату АПК-10А розроблена комп'ютерна модель. На моделі визначені коефіцієнти підсилення для ПІ-регулятора та час перехідного процесу регулювання.

Висновки і перспективи. Результатами досліджень встановлено, що при вибраному ПІ-регуляторі для системи керування завантаженням подрібнювача, з коефіцієнтами підсилення  $k_D = 0,02$  і  $k_I = 0,01$ , час перехідного періоду не перевищує 5 с, що задовольняє умови регулювання за нагріванням електродвигуна.

Згідно проведених досліджень на комп'ютерній моделі вибрано обладнання для реалізації рекомендованої схеми керування двигуном.

**Ключові слова:** *подрібнювач кормів, електродвигун, перетворювач частоти, передаточні функції, регулятори*

**Актуальність.** Електродвигун є одним з найбільших енергоємних споживачів і перетворювачів (у механічну) енергії. В зв'язку з цим питання підвищення ефективності використання електродвигунів є актуальним. Вирішення цієї задачі можливе з використанням оптимальних структур, законів управління електродвигуном, новітніх технічних засобів. Теорія регульованого електродвигуна постійно розвивається, особливо в останні роки із створенням нових силових напівпровідникових систем. Це в свою чергу призвело до

ускладнення розрахунків характеристик привода традиційними способами або використання допущень за рахунок зниження точності розрахунків. Сучасні комп'ютерні технології дають можливість глибше та якісніше дослідити регульований електропривод як у статиці, так і в динаміці.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Промисловістю випускається агрегат АПК-10А, який використовують для одночасного подрібнення грубих кормів (сіна, соломи тощо), силосу, сінажу, коренебульбоплодів, концентрованих кормів і розчинів різних добавок з метою поточного приготування повнораціонних кормових сумішей у кормоцехах ферм ВРХ і свиноферм. На агрегаті можна також мити коренебульбоплоди без їх подрібнення.

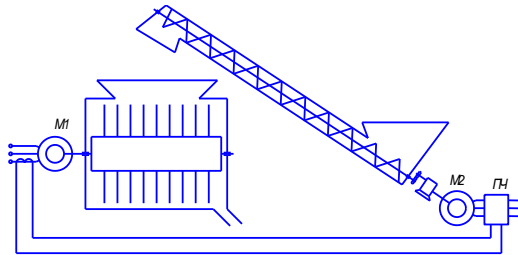
Подача завантажувального шнека регулюється ступінчасто (у 12 ступіней) заміною вінців зірочок на його приводі. Тобто проводиться тільки налаштування агрегату під вибраний корм, а в процесі роботи автоматичне регулювання навантаженням відсутнє. Рівень завантаження подрібнювача контролюється за показами амперметра.

**Мета дослідження** – зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги проводився з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів обробки результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab [1].

**Результати досліджень та їх обговорення.** Рівномірна подача кормів у камеру подрібнення агрегату АПК-10А здійснюється шляхом регулювання частоти обертання двигуна привода шнека-дозатора (рис. 1). Корма навантажувальним шнеком-дозатором подаються в камеру подрібнення. У двигуні подрібнювача при зміні навантаження, змінюється струм. Значення струму завантаження двигуна фіксує трансформаторний датчик струму. Зі вторинної обмотки датчика струму сигнал подається на регулятор частоти струму,

від якого живиться двигун шнека-дозатора. Залежно від завантаження електродвигуна подрібнювача змінюється частота струму на виході частотного регулятора, а відповідно і частота обертання шнека-дозатора.



**Рис. 1. Функціональна схема автоматичного керування завантаженням подрібнювача**

Багато дослідників [2] дійшли висновку, що передаточна функція кормоприготувальних машин по каналу вхід – подача продукту  $Q$ , вихід – навантаження приводного електродвигуна є аперіодичною ланкою 1-го порядку із запізненням і має вигляд:

$$W_{op}(p) = \frac{K_{подр}}{T_{подр}p + 1} e^{-\tau p}, \quad (1)$$

де  $K_{подр}$  – коефіцієнт підсилення подрібнювача,  $K_{подр} = 59,0$ ;  $\tau$  – час чистого запізнення,  $\tau = 0,8$  с;  $T_{подр}$  – стала часу подрібнювача,  $T_{подр} = 2$  с.

Первинним перетворювачем у цій системі автоматичного керування є трансформаторний датчик струму, який вимірює струм в одній з обмоток двигуна привода барабана подрібнювача, вихідною величиною буде напруга, яка змінюється від 1 до 10 В залежно від навантаження.

Коефіцієнт трансформації буде визначатися залежно від номінального струму двигуна, який дорівнює 85 А. Тоді коефіцієнт трансформації буде:

$$K_{тр} = \frac{U_{макс.дс}}{I_{н.дв}} = \frac{10}{85} = 0,12, \quad (2)$$

де  $U_{макс.дс}$  – максимальна вихідна напруга датчика струму, В;  $I_{н.дв}$  – номінальний струм двигуна, А.

Вибираємо трансформаторний датчик струму з коефіцієнтом трансформації:  $K_{TP}=0,12$  марки ДТТ-58. У відносних одиницях з урахуванням чистого запізнення  $K_{TP}=1,0$ .

Передаточна функція первинного перетворювача для вибраного датчика:

$$W_{ПП}(p) = K_{TP} = 1,0. \quad (3)$$

Регулювальним органом в цій автоматичній системі є шнек-дозатор.

Передаточною функцією регулювального органу (дозатора) буде безінерційна ланка:

$$W_{PO}(p) = K_{PO}; \quad (4)$$

$$K_{PO} = \frac{I_C}{\omega_{H.ДВ}} = \frac{85}{294} = 0,29; \quad (5)$$

$$W_{PO}(p) = 0,29, \quad (6)$$

де  $I_C$  – навантаження на двигун, яке створює подрібнювач при номінальній роботі дозатора, А.

Виконавчим механізмом у даній системі є асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором, який приводить у рух дозатор. Передаточна функція виконавчого механізму

$$W_{BM}(p) = K_{BM}; \quad (7)$$

$$K_{BM} = \frac{\omega_{H.ДВ}}{f_{H.ДВ}} = \frac{294}{50} = 5,9; \quad (8)$$

$$W_{BM}(p) = 5,9, \quad (9)$$

де  $\omega_{H.ДВ}$  – номінальна частота обертання асинхронного двигуна з коротко замкнутим ротором,  $\omega_{H.ДВ}=294 \text{ с}^{-1}$ ;  $f_{H.ДВ}$  – номінальна частота струму.

Для об'єкта регулювання з аперіодичною функцією необхідний ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний). Для подрібнювача, що розглядається, коефіцієнти підсилення ПІ-регулятора будуть рівні:

$$k_P = 0,02; \quad k_I = 0,01.$$

Як регулятор вибираємо перетворювач частоти FR-E540-1.5K, який працює з асинхронним двигуном дозатора потужністю до 1,5 кВт. Передаточна функція якого:

$$W_p(p) = \frac{2p+1}{101p} = 0,02 + 0,01 \frac{1}{p}. \quad (10)$$

Результати розрахунків наведено нижче.

### 1. Параметри автоматичного керування.

Ланка	Параметри
Об'єкт управління (подрібнювач)	$W_{OP}(p) = \frac{59}{2p+1} e^{-0,8p}$
Регулятор (перетворювач частоти)	$W_p(p) = \frac{2p+1}{101p} = 0,02 + 0,01 \frac{1}{p}$
Регулювальний орган (дозатор)	$W_{PO}(p) = 0,29$
Виконавчий механізм (двигун дозатора)	$W_{BM}(p) = 5,9$
Первинний перетворювач (датчик струму)	$W_{III}(p) = 1,0$

Для дослідження перехідних процесів у системі автоматичного регулювання подрібнювача складаємо структурну алгоритмічну схему оптимальної САР, на основі якої будемо модель у системі MatLAB [1, 2] (рис. 2).

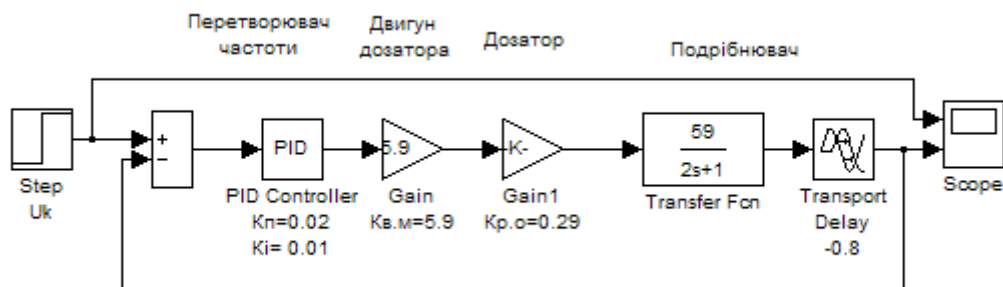


Рис. 2. Модель регульованого електропривода подрібнювача в MatLab.

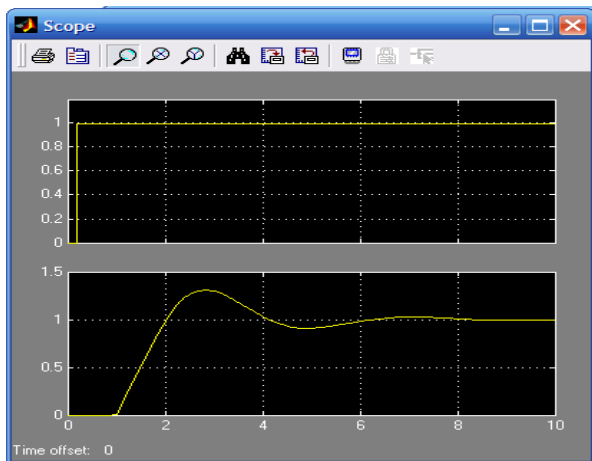
- 1 – перетворювач частоти; 2 – електродвигун дозатора; 3- дозатор;  
4 – подрібнювач;  $U_k$  – керуючий сигнал задатчика

Дослідження проводимо так. У відносних одиницях задаємо різні значення керуючого сигналу (блок  $U_k$ ) і за допомогою осцилографа (блок Scope) отримуємо результати досліджень.

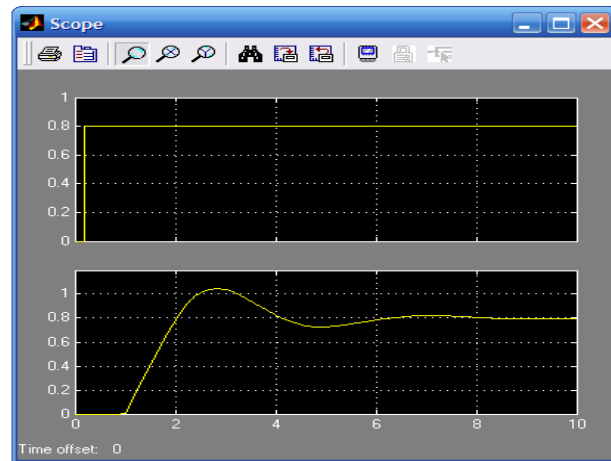
Перехідний процес при керуючому сигналі, відповідно,  $U_k=1,0$  в.о. і  $U_k=0,8$  в.о. наведено на рис. 3.

Аналізуючи криву перехідного процесу, можна оцінити показники якості регулювання, до яких належать:

- час регулювання:  $t_p$  – час, протягом якого змінюється регульовальна величина до значень у межах  $\varepsilon=\pm 3\%$ . Виходячи з цього  $t_p=4,5$  с;
- перерегулювання:  $\sigma$  – максимальне відхилення регульовальної величини від усталеного значення.



*a*



*б*

**Рис. 3. Перехідний процес регульованого електропривода (верхня крива – керуючий сигнал, нижня – вихідний із запізненням на 0,8 с):**

*a* –  $U_k = 1,0$  в.о.; *б* –  $U_k = 0,8$  в.о.

Перерегулювання визначаємо за формулою:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\infty}}{h_{\infty}} 100 \% = \frac{1,35 - 1,0}{1,0} 100 \% = 35 \%, \quad (11)$$

де  $h_{\max}$  – максимальне відхилення від усталеного значення;  $h_{\infty}$  – усталене значення.

Як видно з осцилограм (рис. 3) вихідний сигнал відповідає керуючому, відповідно 1,0 та 0,8 в.о., тобто керуючим сигналом можна задавати величину навантаження на електродвигуні подрібнювача. Час перехідного процесу (час регулювання) при цьому  $t_p = 4,5$  с, що задовольняє умови експлуатації електродвигуна з точки зору нагрівання його від струмів перехідного режиму. Тепловий режим електродвигуна не буде порушуватися, якщо тривалість перехідного процесу не перевищує 5 с.

Таким чином, на основі проведених розрахунків для системи автоматичного регулювання завантаження подрібнювача АПК-10А вибираємо таке апаратне забезпечення:

- шнек-дозатор з мотор-редуктором МПз-2-31,5-90-КУЗ та електродвигуном 4АХ71В2РЗ ( $P_H = 1,1$  кВт,  $n_H = 2810$  об/хв.  $I_H = 2,5$  А);
- перетворювач частоти FR-E-540-1.5К;
- трансформаторний датчик струму ДДТ-58.

**Висновки і перспективи.** Результатами досліджень встановлено, що при вибраному ПІ-регуляторі для системи керування завантаженням подрібнювача, з коефіцієнтами підсилення  $k_{II} = 0,02$  і  $k_I = 0,01$ , час перехідного періоду не перевищує 5 с, що задовольняє умови регулювання за нагріванням електродвигуна.

Згідно проведених досліджень на комп'ютерній моделі вибрано обладнання для реалізації рекомендованої схеми керування приводом.

### **Список літератури**

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0 / Герман-Галкин С.Г. – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
2. Регульований електропривод: підручник для студ. вищ. навч. закладів / за ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.

### **References**

1. German-Galkin, S.G. (2002). Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK [Power Electronics: Laboratory work on the PC]. St. Petersburg: CROWN print, 304.

2. Golodnyi, I.M. ed. (2015). *Rehulovanyi elektropryvod [Adjustable Electric]*. Kyiv: Ltd. "ZP "Komprynt ", 509.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ АГРЕГАТА АПК-10А**

*И.М. Голодный*

**Аннотация.** *Современный асинхронный регулируемый электропривод базируется на использовании полупроводниковых преобразователей напряжения различных типов, для которых, из-за сложности или высокой стоимости, мало уделено внимания исследованию различных рабочих характеристик. С развитием компьютерного моделирования появилась возможность углубить исследования данных процессов.*

*Целью работы является уменьшение времени и затрат при исследованиях регулируемого электропривода с помощью компьютерного моделирования.*

*Анализ электромагнитных процессов регулируемого электропривода проводился с использованием положений теории электропривода и статистических методов обработки результатов исследований на физической и компьютерной модели в системе MatLab [1].*

*Для проведения исследований работы системы автоматического регулирования электроприводом агрегата АПК-10А разработана компьютерная модель. На модели определены коэффициенты усиления для ПИ-регулятора и время переходного процесса регулирования.*

*Результатами исследований установлено, что при выбранном ПИ-регулятора для системы управления нагрузкой измельчителя, с коэффициентами усиления  $k_{II} = 0,02$  и  $k_I = 0,01$ , время переходного периода не превышает 5 с, что удовлетворяет условиям регулирования за нагревом электродвигателя.*

*Согласно проведенных исследований на компьютерной модели выбрано оборудования для реализации рекомендуемой схемы управления приводом.*

**Ключевые слова:** *измельчитель кормов, электропривод, преобразователь частоты, передаточные функции, регуляторы*

## **MODELING OF OPERATION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BY DOWNLOADING OF APK-10A AGGREGAT**

*I. Golodnyi*

**Abstract.** *Modern asynchronous adjustable electric drive is based on the use of semiconductor voltage converters of various types, for which, due to complexity or high cost, little attention is paid to the study of various performance characteristics. With the development of computer modeling, it became possible to deepen the study of these processes.*

*The aim of the work is to reduce the time and cost of researching an adjustable asynchronous electric drive using computer simulation.*

*Methods and materials.* *Analysis of the electromagnetic processes of a controlled electric drive was carried out using the provisions of the theory of the electric drive and*



*statistical methods for processing the results of research on the physical and computer model in the MatLab system [1].*

*Research results. A computer model has been developed for conducting research on the operation of the automatic control system by the electric drive of the APK-10A unit. The model determines the gain for the PI controller and the time of the transient control process.*

*Conclusions and perspectives. The results of research have shown that with the selected PI controller for the chopper loading control system, with gains  $k_P = 0.02$  and  $k_I = 0.01$ , the transition period does not exceed 5 s, which satisfies the control conditions after the heating of the electric motor.*

*According to the research carried out on a computer model, equipment was chosen to implement the recommended drive control scheme.*

**Keywords:** *feed chopper, electric drive, frequency converter, transfer functions, regulators*