

**V. Stetsyuk,  
M. Kokhanenko**

**Annotation.** *Provides a technical solution for drying of crushed wood with simultaneous fractionation and experimental results using the fine fraction in the mixtures that undergo wet form followed by obtaining the dried granules of fertilizer and fuel.*

**Keywords:** *waste wood, fuel chips, filler, dust-like fraction*

УДК 621.313

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ СИНТЕЗ РЕГУЛЬОВАНИХ ЗА НАПРУГОЮ  
АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗІ СТОХАСТИЧНИМ  
НАВАНТАЖЕННЯМ**

**Ю. В. ШУРУБ**, кандидат технічних наук, доцент  
**А. О. ДУДНИК**, кандидат технічних наук  
**Національний університет біоресурсів  
і природокористування України**  
**mail:shurub@bigmir.net**

**Анотація.** *Розроблено методику синтезу статистично оптимальних регуляторів асинхронних електроприводів, що забезпечують мінімум середньоквадратичної похибки регулювання параметру, що стабілізується та збереження номінальних пускового та максимального моментів за дії стохастичних моментів навантаження.*

**Ключові слова:** *асинхронний електропривод, перетворювач напруги, стохастичне навантаження*

Значний клас електроприводів має стохастичні моменти навантаження, які суттєво погіршують їх техніко-економічні показники. Підвищити ефективність роботи таких електроприводів можливо за рахунок створення замкнених систем із оптимальними регуляторами. Для цього треба сформулювати критерії оптимізації та обмеження законів регулювання асинхронними електроприводами із стохастичними навантаженнями, що забезпечують оптимальне енергоспоживання у робочих режимах за умови збереження номінальних пускового моменту та перевантажувальної здатності. Для замкнених систем «перетворювач напруги – асинхронний двигун», «перетворювач частоти – асинхронний двигун» можна показати, що мінімальним втратам у динамічних режимах з навантаженнями, що інтенсивно змінюються за випадковими законами, відповідає критерій мінімуму середньоквадратичної похибки регулювання оптимального параметру, який слід стабілізувати. У випадку регульованого за напругою

електропривода в режимі оптимізації енергоспоживання таким параметром є оптимальне ковзання.

**Мета досліджень** – розробка методики синтезу регулятора електропривода за системою «перетворювач напруги – асинхронний двигун» за випадкових збурень, що застосовує методи статистично оптимального синтезу стохастичних динамічних систем.

**Матеріали та методика досліджень.** У роботі [1] показано, що у системі «перетворювач напруги – асинхронний двигун» для забезпечення мінімальних втрат потужності в асинхронному двигуні у разі зміни статичного навантаження необхідно підтримувати оптимальне ковзання, яке визначається за формулою:

$$s_{opt} = s_n \sqrt{\frac{\Delta P_{const_n}}{\Delta P_{var_n}}}, \quad (1)$$

де  $\Delta P_{const_n}$  - номінальні сталі втрати в двигуні;

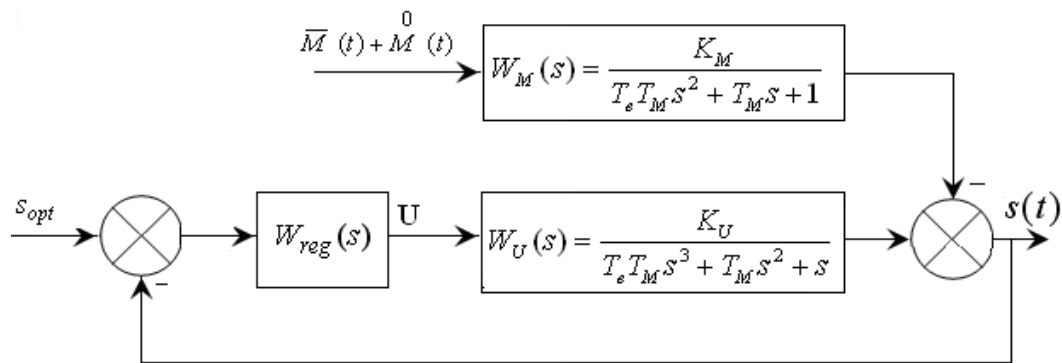
$\Delta P_{var_n}$  - номінальні змінні втрати в двигуні;

$s_n$  - номінальне ковзання двигуна.

Це можливо зробити за допомогою зворотного зв'язку за швидкістю. За умови виконання закону (1) двигун в статичному режимі буде працювати на оптимальній механічній характеристиці із мінімальними втратами потужності. В динамічних режимах за різко змінного навантаження внаслідок електромагнітної та електромеханічної інерцій динамічні механічні характеристики будуть значно відхилятися від оптимальної характеристики, що не дозволяє досягти мінімальних втрат за регулятора швидкості, спроектованого з умов статичного режиму, наприклад, за регулятора, який реалізує пропорційно-інтегральний закон керування, що рекомендується для таких систем [1].

Лінеаризована структурна схема [2] електроприводу за системою «перетворювач напруги – асинхронний двигун» в режимі оптимізації енергоспоживання подана на рисунку.

На цій схемі:  $s_{opt}$  - сигнал завдання (оптимальне ковзання);  $s(t)$  - вихідна регульована величина електроприводу за системою «перетворювач напруги – асинхронний двигун» (миттєве значення дійсного ковзання);  $U$  - амплітуда першої гармоніки вихідної напруги перетворювача (сигнал керування електроприводом);  $M(t) = \bar{M}(t) + \overset{0}{M}(t)$  - випадковий сигнал збурення, що поданий у вигляді суми середнього значення  $\bar{M}(t)$  та центрованого випадкового процесу  $\overset{0}{M}(t)$ ,  $W_{reg}(s)$  - передаточна функція регулятора,  $W_U(s)$  - передаточна функція двигуна за сигналом керування,  $W_M(s)$  - передаточна функція двигуна за збуренням (моментом опору).



**Рис. Структурна схема електроприводу за системою «перетворювач напруги – асинхронний двигун»**

Особливістю запропонованої тут методики оптимізації є розкладання випадкового процесу навантаження на середнє значення  $\bar{M}(t)$ , що подається як корисний сигнал, та високочастотні флуктуації навколо середнього значення  $M(t)$ , що подаються як перешкоди – центрований стаціонарний випадковий процес. Зауважимо, що статичну складову частину збурення  $\bar{M}(t)$ , в даному випадку, вважаємо корисним сигналом тільки тому, що для нього вже є відомим закон оптимізації (1) і відповідний сигнал завдання  $s_{opt}$ , що є справжнім корисним сигналом у фізичному сенсі, відпрацьовує саме цю складову. А вже для компенсації високочастотних флуктуацій збурення за оптимізації енергоспоживання електроприводу вважатимемо сигнал завдання таким, що дорівнює нулю  $s_{opt} = 0$ . При цьому сам регулятор можливо також розкласти на дві частини, одна з яких компенсує дію статичного моменту  $\bar{M}(t)$  (інтегруюча складова регулятора, що входить до передаточної функції  $W_U(s)$ ), а друга - компенсує дію високочастотних флуктуацій  $M(t)$  (статистично оптимальна складова регулятора  $W_{reg}(s)$  на рис.).

Розроблена методика статистично оптимального синтезу асинхронних електроприводів, яка полягає у визначенні передаточної функції регулятора  $W_{reg}(s)$ , що забезпечує мінімум середньоквадратичної похибки  $\varepsilon_{rms}$  за виконання обмежень на перевантажувальну здатність та пусковий момент. Для стаціонарного випадкового процесу  $M(t)$  середньоквадратична похибка дорівнюватиме кореню з дисперсії випадкової похибки системи:

$$\varepsilon_{rms} = \sqrt{D_\varepsilon}, \quad (2)$$

яка може бути знайдена, виходячи із закону перетворення випадкових сигналів динамічною системою:

$$D_\varepsilon = \int_0^\infty \left| \frac{W_M(j\omega)}{1 + W_{reg}(j\omega) \cdot W_U(j\omega)} \right|^2 S_M(\omega) d\omega, \quad (3)$$

де  $W_U(j\omega)$ ,  $W_M(j\omega)$  - частотні передаточні функції лінеаризованої моделі електродвигуна за керуванням та збуренням відповідно;

$W_{reg}(j\omega)$  - частотна передаточна функція регулятора;

$S_M(\omega)$  - спектральна густина навантаження.

Отже, критерієм оптимізації у режимі енергозбереження буде умова  $D_\varepsilon \rightarrow \min$ .

Забезпечення номінальних максимального  $M_{max}$  та пускового  $M_n$  моментів при цьому забезпечується системою дискретного багатокритеріального оптимального керування електроприводом. На основі методів варіаційного числення розроблена методика синтезу багатокритеріальних оптимальних законів регулювання асинхронних електроприводів із стохастичними навантаженнями, яка полягає у визначенні діапазонів дій кожного з критеріїв оптимізації ( $D_\varepsilon \rightarrow \min$ ,  $M_{max} \rightarrow \max$ ,  $M_n \rightarrow \max$ ), алгоритмів керування на кожному з діапазонів та функцій перемикання цих алгоритмів.

**Результати досліджень.** Розрахунки, проведені за даною методикою, показали, що за навантаження, що має експоненціальну кореляційну функцію, передаточною функцією статистично оптимального регулятора буде послідовне з'єднання аперіодичної ланки першого порядку та форсуючої ланки, а за навантаження з експоненціально-косінусною кореляційною функцією – послідовне з'єднання аперіодичної ланки другого порядку та форсуючої ланки.

Моделювання роботи електроприводу прямої дробарки зерна у випадку застосування статистично оптимального регулятора показало збільшення циклових показників енергоефективності електроприводу порівняно із електроприводами без регулятора, таких як цикловий ККД (на 8-12%) та коефіцієнт потужності (на 10-14%) та зменшення дисперсії вихідних параметрів електроприводу – електромагнітного моменту, струму, швидкості (на 60-70%), що свідчить про суттєву фільтрацію оптимальним регулятором високочастотних складових збурення.

## Висновки

Визначені оптимальні структури регуляторів замкнутих асинхронних електроприводів із стохастичними навантаженнями в залежності від виду випадкових збурень.

Показано покращення показників енергоефективності електроприводу прямої дробарки зерна за рахунок застосування методів багатокритеріального синтезу.

### Список літератури

1. Андрущенко О. А. Особенности режимов минимизации потерь в асинхронных двигателях. / О. А. Андрущенко, А. А. Бойко, О. Б. Бабийчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2004. – Вип.62. – С. 24-28.
2. Шуруб Ю. В. Математична модель регульованого за напругою асинхронного двигуна для статистично оптимального синтезу замкнених систем електропривода. / Ю. В. Шуруб // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – Вип.184. - Ч. 2 – С. 189-192.

### References

1. Andryushenko O. A., Boyko A. A., Babiichuk O. B. (2004). Osobennosti rezhimov minimizatsii poter' v asinhronnih dvigateliah [Modes features for losses minimizing in induction motors]. Electrical machinery and electrical equipment, 62, 24 – 28.
2. Shurub Yu. V. (2013). Matematychna model reguliovanogo za naprugou asinhronnogo dviguna dlia statistichno optimal'nogo sintezu zamknutih system elektroprivodu [Mathematical model of a voltage regulated induction drive for statistically optimal synthesis of closed electric drive systems]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 184/2, 189 – 192.

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПО НАПРЯЖЕНИЮ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СТОХАСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

**Ю. В. Шуруб,  
А. А. Дудник**

**Аннотация.** *Разработана методика синтеза статистически оптимальных регуляторов асинхронных электроприводов, обеспечивающих минимум среднеквадратичной ошибки регулирования стабилизируемого параметра и сохранения номинальных пускового и максимального моментов при действии стохастических моментов нагрузки.*

**Ключевые слова:** *асинхронный электропривод, преобразователь напряжения, стохастическая нагрузка*

## MULTICRITERION SYNTHESIS OF VOLTAGE REGULATED INDUCTION ELECTRIC DRIVES WITH STOCHASTIC LOADS

**Yu. Shurub,  
A. Dudnyk**

**Annotation.** *The technique of synthesizing a statistically optimal controllers of induction electric drives, providing a minimum mean-square error*