

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-55>

**DETERMINATION OF THE LAW OF MOTION  
FOR AN UNSTEADY MODE OF A MACHINE UNIT  
WITH A NON-LINEAR MECHANICAL CHARACTERISTIC**

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ДЛЯ НЕУСТАЛЕНОГО  
РЕЖИМУ МАШИННОГО АГРЕГАТУ З НЕЛІНІЙНОЮ  
МЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ**

**Kaidash M.D.,**

*PhD (Engineering),  
Associate Professor, LLC «Technical  
university «Metinvest polytechnic»,  
Zaporizhzhia, Ukraine*

**Кайдаш М.Д.,**

*к.т.н., доцент,  
ТОВ «Технічний університет  
«Метінвест політехніка»,  
м. Запоріжжя, Україна*

Процес розбігу (запуску) машинного агрегату є одним з неусталених режимів руху, що характеризуються неперіодичними змінами швидкості головного вала машини. При запуску агрегату кутова швидкість головного вала  $\omega$  монотонно зростає від нуля до певного усталеного значення  $\omega_y$ , при якому обертання вала є рівномірним. В окремих випадках динамічного дослідження режиму розбігу сили та моменти є функціями швидкості, що не залежать від переміщень, а зведений до головного вала момент інерції машини  $J$  є сталою величиною:  $J = const$ . Типовими прикладами для таких режимів є турбо– та гідрогенераторні агрегати, вантажопідіймальні машини з електричним приводом, відцентрові помпи, вентиляторні установки та ін. Для дослідження процесу розбігу зазначених машин використовується рівняння руху в диференціальній формі [1].

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_z(\omega), \quad (1)$$

де  $M_z(\omega)$  – момент, зведений до валу двигуна або валу робочої машини, що визначається, як алгебраїчна сума моментів двигуна  $M_d(\omega)$  та опору  $M_{op}(\omega)$ .

На сьогодні в дослідженнях режимів неусталеного руху, як правило, використовують характеристики двигуна та робочої машини, для яких функція  $M_z(\omega)$  близька до лінійної, що дозволяє отримати наближене рішення в аналітичній формі [1].

Основним завданням даної роботи є дослідження процесу розбігу, що виконується асинхронним двигуном з нелінійною механічною характеристикою [2].

$$M_d(\omega) = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (2)$$

де  $M_k$  – критичний момент;  $S$  і  $S_k$  – значення поточного та критичного ковзання, що визначаються через синхронну та критичну швидкості обертання  $\omega_0$  і  $\omega_k$  відповідно:  $S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ ,  $S_k = (\omega_0 - \omega_k) / \omega_0$ .

Механічну характеристику робочої машини прийнято, як лінійну функцію:

$$M_{on}(\omega) = a + b\omega. \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) рівняння (1) можна представити у вигляді

$$\frac{t}{J} = \int_0^{\omega} F(\omega) d\omega, \quad (4)$$

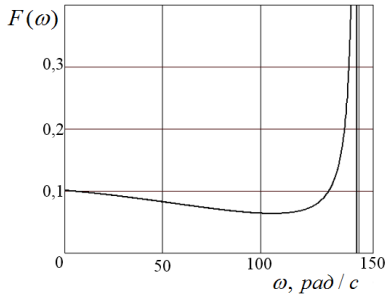
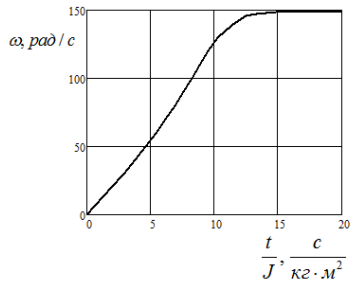
$$\text{де } F(\omega) = \frac{1}{M_s(\omega)} = \frac{(S_k\omega_0)^2 + (\omega_0 - \omega)^2}{2M_k S_k \omega_0 (\omega_0 - \omega) + (a + b\omega)((S_k\omega_0)^2 + (\omega_0 - \omega)^2)}.$$

Оскільки функція  $F(\omega)$  (рис.1) не може бути проінтегрована з отриманням аналітичного виразу, то для розв'язку рівняння (4) було застосовано чисельне інтегрування. Розрахунок виконано для асинхронного двигуна та робочої машини з характеристиками:

$$M_k = 21,6 \text{ H} \cdot \text{м}; S_k = 0,30; \omega_0 = 157 \text{ рад} / \text{с}; a = -2; b = -0,036.$$

Усталене значення кутової швидкості  $\omega_y = 148,7 \text{ рад} / \text{с}$  визначено з умови:  $M_{on}(\omega_y) + M_d(\omega_y) = 0$ .

В результаті обчислення визначеного інтеграла для кожного із вибраних значень кутової швидкості в межах  $0 \leq \omega < 0,98\omega_y$ , отримано ряд дискретних значень функції  $\frac{t}{J}(\omega)$ , за якими визначено обернену залежність  $\omega(\frac{t}{J})$ , (рис. 2).

Рис. 1. Графік функції  $F(\omega)$ Рис. 2 – Графік функції  $\omega\left(\frac{t}{J}\right)$ 

Викладений в роботі підхід до динамічного синтезу машини з нелінійною функцією зведеного моменту дозволяє по вибраним умовам руху визначати її параметри.

Зокрема, якщо задати час розбігу машини від нуля до кутової швидкості усталеного руху, то можна визначити відповідну величину зведеного моменту інерції  $J$  та характер зміни зведеного моменту машини  $M_z(\omega)$ .

Наведений метод розрахунку є прийнятним, як для фази розбігу машинного агрегату, так і для фази зупинки для будь-яких нелінійних механічних характеристик двигуна та робочої машини.

Отримані в роботі результати можуть бути використані при викладанні курсів «Теоретична і прикладна механіка», «Теорія механізмів і машин».

### Перелік використаних джерел

1. Theory of mechanisms and machines. In 2 parts. [Electronic resource]: Textbook / O. P. Zakhovaiko. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – Part 1. : Classification and analysis of mechanisms. – Electronic text data (1 file: 9,13 MB). 188 p.

2. Ю. О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко. Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8. Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кропивницький, 2010. № 23. С. 71–77.