

# ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІБРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

**І. А. Гаврилюк**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**І. П. Ільчов**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**Ю. М. Хандола**

Кандидат технічних наук, доцент\*

\*Кафедра автоматизованих електромеханічних систем  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка  
вул. Енгельса, 19, м. Харків, 61052  
Контактний тел.: (057) 712-50-56

**Ю. М. Федюшко**

Доктор технічних наук, доцент

Кафедра електрифікованих технологій АПК  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
пр. Б.Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312  
Контактний тел.: (06192) 6-37-61

*Розглянуті параметри регульованого електроприводу вібраційних робочих органів ґрунтообробних машин. Встановлено, що приводні масивно-роторні двигуни дають можливість зменшити пульсацію струму та моменту за рахунок підвищеного опору роторного кола, в результаті чого втрати енергії в приводах зменшуються*

*Ключові слова: вібруючий орган, момент опору, втрати потужності, активний опір, електромагнітний момент*

*Рассмотрены параметры регулируемого электропривода вибрационных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Установлено, что приводные массивно-роторные двигатели дают возможность, за счет повышенного сопротивления ротора, уменьшить пульсацию тока и момента, в результате этого потери энергии в приводах уменьшаются*

*Ключевые слова: вибрирующий орган, момент сопротивления, потери мощности, активное сопротивление, электромагнитный момент*

*The Considered parameters controlled electric drive vibratory worker organ processing ground of the machines. It Is Installed that drive massive- rotors to engines enable, to account of the raised resistance of the rotor, reduce the pulsation of the current and moment, as a result this loss to energy in drive decrease*

*Key words: vibrating organ, moment of the resistance, loss to powers, active resistance, electromagnetic moment*

## 1. Вступ

В сучасному сільськогосподарському виробництві, у сфері рослинництва, одним із основних технологічних процесів є обробка ґрунту, що виконується мобільними агрегатами: тракторами у сукупності з сільськогосподарськими машинами та іншими пристроями.

Автоматизація мобільних машин дозволяє підтримувати задані агротехнічні норми, а також збільшувати продуктивність агрегатів та економію палива, підвищуючи цим самим врожайність.

При обробці ґрунту доцільно застосовувати машини та механізми з активними робочими органами, зокрема з вібруючими, що дає можливість значно зменшити тягове зусилля (до 60%), поліпшити повітряно-вологе середовище в ґрунті та зменшити втрати енергії при обробці.

## 2. Аналіз останніх досліджень

Згідно аналізу літературних джерел, для підтримання оптимальної вібрації робочих органів ґрунтообробних машин, в залежності від швидкості її пересування та фізико-механічних властивостей ґрунту, необхідно змінювати частоту коливань робочих органів.

Для виконання поставленої задачі необхідно змінювати частоту обертання ексцентриків за рахунок зміни частоти обертання приводного двигуна, враховуючи при цьому такі величини, як момент опору, електромагнітний момент, струми ротора і статора для двигунів з масивним ротором. Встановлено, що асинхронні двигуни зі змінними параметрами більш ефективні з точки зору зменшення пульсуючих струмів та моментів, що в свою чергу зменшує втрати енергії в даних приводах.

### 3. Формулювання мети статті

Метою даної статті є необхідність показати, як змінюються струми і моменти в електроприводах з вібруючими робочими органами при зміні частоти обертання двигунів у процесі підтримання оптимальної частоти коливань робочого органу.

### 4. Основні матеріали досліджень

Відмінною особливістю вібраційних робочих органів при обробці ґрунту є їх кінематична невизначеність. Це значить, що закон руху робочого органу залежить від динамічних факторів: реакцій ґрунту та його жорсткості. У зв'язку з цим вібруючі робочі органи ґрунтообробних машин змінюють свій режим роботи.

Цікавим і практично важливим завданням є розробка системи автоматичного налаштування вібруючих робочих органів на оптимальний режим роботи, забезпечення якого можна отримати при виконанні наступної нерівності:

$$\frac{V}{v^2} \leq \frac{cab}{d}, \tag{1}$$

де  $V$  – швидкість руху вібруючого органу;  
 $v$  – кутова частота обертання ексцентриків вібратора;

$cab$  – величини, що характеризують геометричні розміри робочого органу;

$d$  – параметр, що залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Сучасні трактори, що мають всережимні регулятори, забезпечують сталість поступової швидкості руху на відповідній передачі. Таким чином, для підтримки умови (1), при зміні фізико-механічних властивостей ґрунту необхідно змінювати частоту обертання ексцентриків (частоту коливань робочого органу) за рахунок зміни частоти обертання приводного двигуна.

Зміну частоти обертання приводного двигуна можна здійснити, змінюючи величину напруги і частоту струму мережі живлення або параметри самого двигуна. Розглядаючи асинхронну машину як основний вид приводу сільськогосподарських механізмів в даний час і найбільш перспективну у майбутньому, слід відзначити її незаперечні переваги: досконалу і просту конструкцію, відпрацьовану технологію виробництва, високу надійність та невелику вартість. Зміна параметрів живильної мережі з метою регулювання частоти обертання, як правило, викликає підвищення струмів ротора і статора та подальший перегрів ізоляції. Струм статора асинхронної машини визначається наступним виразом:

$$I_1 = I_0 + I_2', \tag{2}$$

де  $I_1$  – струм статора;

$I_0$  – струм холостого ходу;

$I_2'$  – приведений струм ротора до статора.

$$I_2' = \frac{I_2}{K_i}, \tag{3}$$

де  $K_i$  – коефіцієнт трансформації по струму.

Діюче значення струму статора можна визначити з виразу:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (K_\sigma)^2 (-I_2')^2}, \tag{4}$$

де  $K_\sigma$  – коефіцієнт збільшення струму від розсіювання.

$$K_\sigma = 1,1 \dots 1,2.$$

Зміна напруги або частоти мережі живлення впливає на загальний струм холостого ходу. Для визначення цієї зміни існують точні теоретичні методи й імперичні формули. Так при зміні напруги в межах від  $(0,6 \dots 1,25)U_n$  струм холостого ходу визначається з виразу:

$$I_o = \frac{0,18 + 0,16K_U I_{0n}}{1 - 0,66K_U}, \tag{5}$$

де  $K_U$  – відносна напруга у в.о. від номінальної;

$I_{0n}$  – струм холостого ходу при номінальній напрузі.

Друга складова струму статора залежить від електромагнітного моменту, який розвиває машина і дорівнює моменту навантаження і входить у вираз для електричних втрат роторного ланцюга:

$$P_{e2} = m_1 (I_2')^2 R_2' = M \omega_0 s_n, \tag{6}$$

де  $m_1$  – число фаз статора

$R_2'$  – приведений активний опір ротора до статора;

$M$  – електромагнітний момент;

$\omega_0$  – синхронна частота обертання поля статора;

$s$  – поточне значення ковзання двигуна.

Нехтуючи механічними та додатковими втратами, які, як правило, не перевищують одного відсотка від номінальної потужності, приймаємо:

$$M = M_c \tag{7}$$

Залежно від типу механізму або машини момент її опору при зміні частоти обертання можна представити рівнянням:

$$M_{on} = M_{cn} \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \tag{8}$$

де  $M_{cn}$  – момент опору машини при номінальній частоті обертання;

$\omega$  – потокове значення частоти обертання робочого органу машини;

$\omega_n$  – номінальна частота обертання робочого органу машини;

$E$  – показник ступеня залежить від виду механізму або машини.

Рівняння (6) з урахуванням виразу (7) можна записати:

$$m_1 (I_2')^2 R_2' = M_{cn} \omega_0 s_n \tag{9}$$

Для ковзань, відмінних від номінальних з урахуванням характеру зміни моменту отримаємо:

$$m_1 (I_{2x}')^2 R_{2x}' = M_{cn} \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \omega_0 s_x, \tag{10}$$

Враховуючи, що  $\omega_x = \omega_0 (1 - s_x)$ , а  $\omega_n = \omega_0 (1 - s_n)$  в межах зміни ковзання двигуна можна записати:

$$(I_{2x}')^2 R_{2x}' = (I_{2n}')^2 R_{2n}' \frac{s_x}{s_n} \left( \frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x \tag{11}$$

Незначний вплив ефекту витіснення струму при зміні ковзання в межах  $s_x = 0 \dots 0,4$  в двигуні з корот-

козакненим ротором дозволяє прийняти рівність:  $R'_{2n} = R'_{2x}$ .

У цьому випадку вираз (11) приймає вигляд:

$$(I'_{2x})^2 = (I'_{2n})^2 \frac{s_x}{s_n} \left( \frac{1-s_x}{1-s_n} \right)^x \quad (12)$$

Розділивши ліву і праву частину рівності на  $(I'_{2n})^2$  отримаємо:

$$\frac{(I'_{2x})^2}{(I'_{2n})^2} = \frac{s_x}{s_n} \left( \frac{1-s_x}{1-s_n} \right)^x \quad (13)$$

Відношення

$$\frac{(I'_{2x})^2}{(I'_{2n})^2} = K_p, \quad (14)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт завищення габаритної потужності двигуна.

Ковзання в рівнянні (13) може бути задано або розраховане відомими методами. Рішення рівняння (13) з урахуванням зміни характеру моменту опору, дозволяє визначити відносну зміну струму, а отже і втрати у приводному двигуні.

У двигунах з масивним ротором змінюється жорсткість механічної характеристики при зміні величини підведеної напруги, що призводить до плавного регулювання частоти обертання. Особливість двигуна такої конструкції полягає у зміні активного опору ротора в залежності від ковзання та магнітної проникності:

$$R'_{2x} = \sqrt{\mu_x S_x} R'_{2k} \quad (15)$$

де  $R'_{2k}$  – приведений активний опір масивного ротора при  $s=1$ ;

$\mu_x$  – магнітна проникність, що відповідає струму ротора при ковзанні  $s_x$ .

Підставивши значення  $R'_{2x}$  у вираз (11), отримаємо:

$$(I'_{2x})^2 R'_{2k} \sqrt{\mu_x S_x} = (I'_{2n})^2 \sqrt{\mu_n S_n} \left( \frac{1-s_x}{1-s_n} \right)^x, \quad (16)$$

де  $s_n$  – номінальне ковзання двигуна з масивним ротором,  $s_n = 0,1 \dots 0,2$ ;

$I'_2$  – наведений струм ротора, що відповідає номінальному ковзанню при напрузі рівній номінальному значенню  $U = U_n$ .

Зробивши перетворення виразу (16), отримаємо:

$$\left( \frac{I'_{2x}}{I'_{2n}} \right)^2 = \sqrt{\frac{\mu_n}{\mu_x}} \sqrt{\frac{s_x}{s_n}} \left( \frac{1-s_x}{1-s_n} \right)^x = K_p, \quad (17)$$

де  $\mu_n$ ,  $\mu_x$  – відповідно, відносна магнітна проникність при номінальному значенні струму ротора  $I'_{2n}$ , при будь-якому значенні струму  $I'_{2x}$ .

Значення струму  $I'_{2x}$  при пульсуючому навантаженні, яке обумовлене роботою віброуючих робочих органів ґрунтообробних машин (плоскорізи, культиватори, котки для ущільнення ґрунту), можна визначити з виразу:

$$I_{2x} = \sqrt{(I'_{2cp})^2 + (\Delta I_2)^2}, \quad (18)$$

де  $I'_{2cp}$  – середнє значення струму роторного ланцюга при пульсуючому навантаженні, приведеного до статора;

$\Delta I_2$  – пульсуюча складова струму при зміні напруги в мережі, приведена до статора.

Величина пульсуючої складової струму дорівнює:

$$\Delta I_2 = \sqrt{(\Delta I_{2+})^2 + (\Delta I_{2-})^2}, \quad (19)$$

$$\Delta I_{2+} = \frac{K_U E}{\sqrt{\left( \frac{R_{2m} \sqrt{1/s+v}}{s+v} \right)^2 + (X_{2m})^2}} \quad (20)$$

$$\Delta I_{2-} = \frac{K_U E}{\sqrt{\left( \frac{R_{2m} \sqrt{1/s-v}}{s-v} \right)^2 + (X_{2m})^2}} \quad (21)$$

де  $E$  – пульсуюча е.р.с. ротора, приведена до статора двигуна;

$R_{2m}$  – активний і реактивний перехідний опір ротора приведений до статора двигуна;

$s$  – ковзання, відповідне середньому значенню;

$v$  – відносна частота вимушених коливань.

Середнє значення струму ротора при пульсуючому навантаженні дорівнює:

$$I'_{2cp} = \frac{K_U U_n}{J X'_{2m}} \cdot \frac{-JK_s S}{(R'_{2m} X'_{2sm} + s R_s X'_{2m}) + J(s X'_{sm} X'_{2m} - \sigma R_3 R'_{2m})}, \quad (22)$$

де  $\sigma$  – результуючий коефіцієнт розсіювання;

$X_{sm}$  – перехідний реактивний опір статора;

$K_s$  – коефіцієнт електромагнітного зв'язку статора.

Для кількісної оцінки коефіцієнта завищення потужності асинхронних двигунів різних модифікацій використовуються в регульованому приводі. Значення струму  $I'_{2n}$  та магнітної проникності необхідно приймати з умови допустимого перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища при тривалому режимі роботи. Використання виразу (17) для розрахунку відносної зміни струмів трохи ускладнюється залежністю магнітної проникності  $\mu_x$  від шуканого струму  $I'_{2x}$ . Розрахунки спрощуються, якщо на початку прийняти магнітну проникність незмінною, а надалі провести уточнення з урахуванням конкретної машини з певною магнітною характеристикою матеріалу ротора.

Так, для вібратора потужністю  $P_n = 600$ Вт з номінальним ковзанням  $s_n = 0,07$  при поточному значенні ковзання  $s_x = 0,21$ , коефіцієнт завищення потужності двигуна дорівнює  $K_p = 1,5$ , а для такого ж вібратора, що має масивний ротор, виконаний, з електротехнічної сталі при інших рівних умовах  $K_p = 1$ .

Таким чином, асинхронна машина із змінними параметрами роторної ланцюга відчуває менші струмові перевантаження при регулюванні частоти обертання за рахунок зміни величини підведеної напруги.

## Висновки

Аналіз режимів роботи різних асинхронних двигунів при регулюванні частоти обертання віброуючих робочих органів ґрунтообробних машин показує, що необхідно застосовувати двигуни з підвищеним опором роторного кола. Застосування таких електроприводів приводить до зменшення пульсуючих струмів та моментів, а це, в свою чергу, приводить до поліпшення їх енергетичних показників.

Література

1. Мартыненко И.И. Методика определения момента сопротивления рабочих машин с переменной нагрузкой. / И. И. Мартыненко, Н. А. Корчемный. // Сб. «Вопросы электрификации сельского хозяйства». – К.: Урожай, 1970. – Вып.30.
2. Гаврилюк И.А. Исследования режимов работы и энергитических показателей электроприводов вибрирующих рабочих органов почвообрабатывающих машин. / И. А. Гаврилюк // Сб. научн. тр. БЧМЭСХ. – Минск. – ч.II. – 1979.
3. Гаврилюк І.А. Електроприводи машин та механізмів, які працюють зі змінним навантаженням в АПК / І. А. Гаврилюк, І. П. Гльбчов, Ю. М. Хандола. – Харків: ХНТУСГ, 2004. – С.72-76.

УДК 621.9.01:534

# ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ВІБРАЦІЙ ПРИ РІЗАННІ

**О.Л. Кондратюк**  
Кандидат технічних наук, доцент\*

**А.О. Скоркін**  
Аспірант, асистент\*

**О.О. Литвинова**  
Магістр\*  
Контактний тел.: (057) 733-78-26  
E-mail: Kondr20071@i.ua

\*Кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем  
Українська інженерно-педагогічна академія  
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

*Розглянуто вплив регенеративних вібрацій при різанні, наведені експериментальні дослідження, в яких визначали вплив швидкості різання, глибини і переднього кута різця*

*Ключові слова: регенеративні вібрації, демпфірування «фактор швидкості»*

*Рассмотрено влияние регенеративных вибраций при резании, приведены экспериментальные исследования, в которых определяли влияние скорости резания, глубины и переднего угла резца*

*Ключевые слова: регенеративные вибрации, демпфирование, «фактор скорости»*

*The impact of recovery vibrations during cutting are considered, the experimental researching, in which the impact of cutting speed, depth and face angle was determined, are given*

*Key words: regenerative vibrations, damping, «speed factor»*

**Вступ**

Відомо багато робіт, присвячених дослідженню впливу регенеративних вібрацій на точність розмірів, шорсткість поверхні оброблюваних деталей і стійкість інструменту. Ряд дослідників надали характеристики регенеративних коливань, визначені на основі аналізу динамічної сили різання. Проте виконаний в цих дослідженнях аналіз дуже складний, а результати не завжди перевірені експериментально.

**Моделювання процесу ортогонального точіння**

Описуваний теоретичний аналіз вібрацій виконаний шляхом моделювання процесу ортогонального точіння з врахуванням динамічної сили різання. От-

римані границі стійкості підтверджені експериментами при ортогональному різанні, в яких визначали вплив швидкості різання, глибини і переднього кута різця. Правомірність моделі перевіряли також для регенеративних коливань при невірному різанні. Якщо розглядати відносно простий процес різання, в якому результуюча сила різання  $F(t)$  пропорційна миттєвій повній товщині зрізу  $u(t)$ , то умови абсолютної стійкості можуть бути виражені нерівністю:

$$\operatorname{Re} \left[ \frac{k_c}{k_m} G_m(S) \right]_{\min} > \frac{1}{2} \tag{1}$$

де  $k_c$  - статична жорсткість різання;

$\frac{G_m(S)}{k_m}$  - динамічна податливість системи;

$S$  - параметр перетворення Лапласа.