

ПОКРАЩАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Проведено порівняльний аналіз законів керування в замкнених системах керування гібридними транспортними засобами з урахуванням однієї або декількох основних власних частот коливань електромеханічної системи.

Выполнен сравнительный анализ законов управления в замкнутых системах управления гибридными транспортными средствами с учетом одной или нескольких собственных частот колебаний электромеханической системы.

The comparative analysis of management laws is executed in the closed systems of management hybrid transport vehicles taking into account one or a few eigenfrequencies of vibrations of the electromechanics system.

Вступ. Зменшення динамічних навантажень в електромеханічних системах потужних гібридних транспортних засобів (ГТЗ) підвищує надійність та безпеку руху при зниженні зносу силового обладнання. ГТЗ мають значну перспективу в гірничій галузі, тому слід привернути більше уваги розробці новітніх законів руху, що забезпечують зменшення динамічних навантажень, особливо в розгалужених електромеханічних системах зі слабким або відсутнім демпфіруванням (рис.1).

Огляд стану питання. Відомо [1 – 6], що закони керування, які обмежують ривок основного рушійного органу на шахтних підйомних установках (ШПУ), забезпечують покращання динаміки електромеханічної системи, отже на ГТЗ слід скористатися певним досвідом ШПУ.

В [6] запропоновані різноманітні закони керування ШПУ, що забезпечують мінімізацію перерегулювання прискорення барабану. Закони керування [6] базуються на інформації про основні (та кратних їм) власні частоти коливань електромеханічної системи та дозволяють забезпечити їх демпфірування.

Мета роботи та задачі дослідження покращення динамічних характеристик електромеханічних систем ГТЗ за рахунок демпфірування певного гармонійного складу коливань системи. З метою покращання динаміки електромеханічних систем ГТЗ розробити спосіб демпфірування певного гармонійного складу коливань.

Матеріали дослідження. Проаналізуємо розглянуті в [6] закони керування, що враховують дві та три основні власні частоти коливань електромеханічної системи рис.1.

Для закону керування за двома основними власними частотами коливань, функція керування у часі записується так (для періоду розгону до номінальної швидкості):

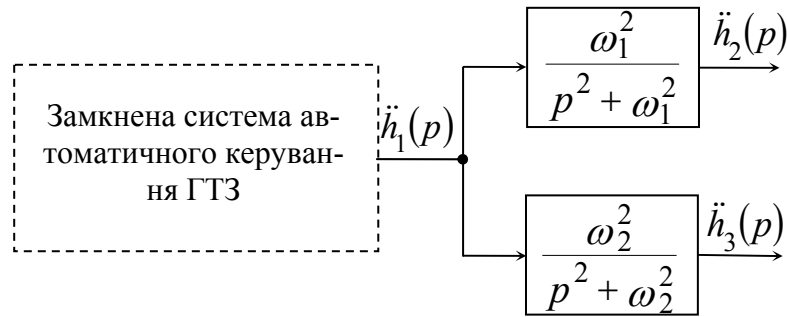


Рис. 1. Спрощена структурна схема розгалужених електромеханічних системах зі слабким або відсутнім демпфіруванням

$$\begin{aligned} \dot{h}_1(t) &= \int_t^{t+\tau_p} \ddot{h}_1(t) dt; & \ddot{h}_1(t) &= \int_t^{t+\tau_p} \ddot{h}_1(t) dt; & \ddot{h}_{1\max} &= f_{\max}(t)\tau_0; \\ \ddot{h}_1 &= \frac{1}{2} \left\{ f(t) + f\left(t - \frac{\tau_1}{2}\right) + f(t - t_{yc}) + f\left(t - \frac{\tau_1'}{2} - t_{yc}\right) \right\}; & \omega_0 &= \frac{2\pi}{\tau_0}; & \omega_1 &= \frac{2\pi}{\tau_1}, \end{aligned} \quad (1)$$

де \ddot{h}_1, \ddot{h}_1 – завдання на прискорення та ривок основного рушійного органу, відповідно, м/с²; $f(t)$ – імпульсна функція (довжина імпульсу – τ_0 , максимальне значення – $\frac{\ddot{h}_{1\max}}{\tau_0}$); t_p – час досягнення номінальної (максимальної) швидкості, с;

t_{yc} – час до моменту зменшення прискорення основного рушійного органу, с; τ_1, τ_1' – відповідно основний період коливань електромеханічної системи на момент збільшення та зменшення прискорення основного рушійного органу, с; ω_0, ω_1 – основні (найменші) власні частоти коливань електромеханічної системи ГТЗ, рад/с.

Недолік такого закону керування – залежність максимального значення завдання на ривок та прискорення основного рушійного органу від періоду коливань однієї з налагоджуваних власних частот (у даному випадку ω_0).

Закон керування за трьома основними власними частотами коливань не має такого недоліку, причому функція керування ривком основного рушійного органу у часі має наступний вигляд:

$$\ddot{h}_1 = \frac{1}{4} \left\{ f(t) + f\left(t - \frac{\tau_1}{2}\right) + f\left(t - \frac{\tau_2}{2}\right) + f(t - t_{yc}) + f\left(t - t_{yc} - \frac{\tau_1'}{2}\right) + f\left(t - t_{yc} - \frac{\tau_2'}{2}\right) \right\}, \quad (2)$$

де τ_2, τ_2' – один з основних періодів коливань електромеханічної системи ГТЗ на момент збільшення та зменшення прискорення основного рушійного органу, відповідно, с.

В табл. 1 представлені результати порівняння двох розглянутих законів керування ГТЗ.

Слід зазначити, що параметри τ_0 та τ_1, τ_2 можна взаємно варіювати, змінюючи час зростання (зменшення) прискорення основного рушійного органу.

Відповідно до (2), оптимальним за швидкістю буде рух за умов:

$$\tau_1 < \tau_2 \text{ та } \frac{2\tau_0 + \tau_1 + \tau_2}{2\tau_1 + \tau_0 + \tau_2} > 1.$$

Таблиця 1

Порівняльна характеристика законів керування ГТЗ

Закон	Час зміни прискорення основного рушійного органу \ddot{h}_1 , с	Максимальне значення завдання на ривок основного рушійного органу \ddot{h}_1^* , м/с ³	Час зміни прискорення основного рушійного органу менш, ніж за лінійним законом керування, якщо:
за двома основними власними частотами коливань	$\frac{\tau_1}{2} + \tau_0$	$\frac{\dot{h}_{1\max}}{2\tau_0}$, при $\tau_0 \leq \frac{\tau_1}{2}$; $\frac{\dot{h}_{1\max}}{\tau_2}$, при $\tau_0 > \frac{\tau_1}{2}$	$\frac{\tau_1}{2} > \tau_0$
за трьома основними власними частотами коливань	$\frac{\tau_1}{2} + \frac{\tau_2}{2} + \tau_0$	$\ddot{h}_{1\max} = \frac{f_{\max}}{4}$, якщо $\frac{\tau_2}{2} \geq \tau_i$ и $\frac{\tau_2}{2} + \tau_0 \leq \frac{\tau_1}{2}$; $\ddot{h}_{1\max} = \frac{f_{\max}}{2}$, якщо $\begin{cases} \frac{\tau_2}{2} + \tau_0 \leq \frac{\tau_1}{2} \text{ и } \frac{\tau_2}{2} < \tau_0; \\ \tau_0 \leq \frac{\tau_1}{2} < \tau_0 + \frac{\tau_2}{2}; \end{cases}$ $\ddot{h}_{1\max} = \frac{3f_{\max}}{4}$, якщо $\frac{\tau_2}{2} + \frac{\tau_1}{2} \geq \tau_0 > \frac{\tau_1}{2}$; $\ddot{h}_{1\max} = f_{\max}$, якщо $\frac{\tau_2}{2} + \frac{\tau_1}{2} < \tau_0$	$\tau_0 + \frac{\tau_1}{2} < \frac{\tau_2}{2}$

Проаналізуємо відносну амплітуду коливань прискорень \ddot{h}_2 , \ddot{h}_3 в електро-механічній системі ГТЗ зі слабким або відсутнім демпфіруванням (рис. 1):

$$\Delta \dot{h}_2 = \left| \frac{\dot{h}_{\max}}{\pi k_{11}} \sin \pi k_{11} \cos \frac{\pi k_{12}}{2} \right|;$$

$$\Delta \dot{h}_3 = \left| \frac{\dot{h}_{\max}}{\pi k_{21}} \sin \pi k_{21} \cos \frac{\pi k_{22}}{2} \right|;$$

де $\Delta \ddot{h}_2$, $\Delta \ddot{h}_3$ – відносні амплітуди коливань відповідних ланок ГТЗ, м/с; $k_{11} = \frac{t_i}{\tau'_1}$;

$k_{12} = \frac{\tau'_1}{\tau'_1}$; $k_{21} = \frac{t_i}{\tau'_2}$; $k_{22} = \frac{\tau'_1}{\tau'_2}$; τ'_1 – розраховане (задане) значення сталої часу τ'_1 , що

використовується в задаючому пристрої для формоутворення сигналу керування, с.

З урахуванням попередніх зауважень при використанні закону керування за трьома власними частотами коливань ГТЗ відносна амплітуда коливань різних ланок розраховується:

$$\Delta \dot{h}_2 = \left| \frac{\dot{h}_{\max}}{2\pi k_{11}} \sin \pi k_{11} \left[\cos \frac{\pi}{2} (k_{12} + k_{13}) + \cos \frac{\pi}{2} (k_{12} - k_{13}) \right] \right|;$$

$$\Delta \dot{h}_3 = \left| \frac{\dot{h}_{\max}}{2\pi k_{21}} \sin \pi k_{21} \left[\cos \frac{\pi}{2} (k_{22} + k_{23}) + \cos \frac{\pi}{2} (k_{22} - k_{23}) \right] \right|,$$

де $k_{13} = \frac{\tau_2^*}{\tau_1'}$; $k_{23} = \frac{\tau_2^*}{\tau_2'}$; τ_2^* – розраховане (задане) значення сталої часу τ_2' , що використовується в задаючому пристрої, с.

Висновки. На підставі проведених досліджень необхідно відзначити:

– закон керування, що задовольняє умовам (1), забезпечує демпфірування коливань електромеханічної системи ГТЗ зі слабким або відсутнім демпфіруванням за наступними власними частотами коливань: $\omega_2 \cdot k_1$; $\omega_1 \cdot k_2$, де $k_1 = 1, 2, 3, \dots$; $k_2 = 1, 3, 5, \dots$ та в порівнянні з лінійним законом за умов $\frac{\tau_1}{2} > \tau_0$ забезпечує менший час зміни прискорення (табл. 1);

– демпфірування коливань електромеханічної системи ГТЗ зі слабким або відсутнім демпфіруванням за наступними власними частотами коливань: $\omega_0 \cdot k_1$; $\omega_1 \cdot k_2$; $\omega_2 \cdot k_2$, де $k_1 = 1, 2, 3, \dots$; $k_2 = 1, 3, 5, \dots$, забезпечує закон керування, який задовольняє умові (2);

– при виконанні умови $\tau_0 + \frac{\tau_1}{2} < \frac{\tau_2}{2}$, закон керування за трьома власними частотами коливань забезпечує менший час зміни прискорення основноо рушійного органу в порівнянні з лінійним законом (табл. 1);

– отримані аналітичні залежності дозволяють зв'язати параметри електромеханічної системи ГТЗ з законами керування за двома і трьома основними власними частотами коливань.

Список літератури

1. Киричок Ю.Г., Чермалых В.М. Привод шахтных подъемных установок большой мощности. - М.: Недра, 1979. - 336 с.
2. Тулин В. С. Электропривод и автоматика многоканатных рудничных подъемных машин. - М.: Недра, 1964.
3. Электрооборудование лифтов массового применения/ П. И. Чутчиков, Н. И. Алексеев, А. К. Прокофьев. - М.: Машиностроение, 1983. - 168 с.
4. Оптимизация по динамическим нагрузкам электромеханических систем с задающей моделью/ В. М. Чермалых, Т. Е. Чермалых, О. Я. Яценко, Аль Юсеф Ахмад// Сб. Проблемы автоматизи-рованного электропривода. Теория и практика. - Харьков.: Основа, 1996. С. 79 - 80.
5. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. - М.: Энергия, 1971. 320 с.
6. Довгань С. М., Самойленко А. А. Способы формирования задающих воздействий в системах управления подъемными установками, обеспечивающие отсутствие колебаний в конце периода разгона// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. Кременчук: КДПУ, 2003. Вип. 2(19), Т. 1. С. 68 - 72.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.
Надійшла до редакції 18.10.10*