

# АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАДАНОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ СКІПА В ТОЧЦІ ВХОДУ В РОЗВАНТАЖУВАЛЬНІ КРИВІ

**Печеник М.В., к.т.н., доц., Бур'ян С.О., к.т.н., доц., Воят Г.Я., магістрант**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** Одною з основних ланок технологічного комплексу підземних гірських підприємств являються шахтні вантажні (скіпові) підйомні установки, від надійного і безвідмовного функціонування яких залежить продуктивність підприємства в цілому.

Розвиток гірничорудної промисловості здійснюється в двох напрямках: за рахунок розробки корисних копалин відкритим способом і за рахунок підвищення продуктивності підземних гірських виробок, в результаті реконструкції і модифікації їх окремих механізмів [1, 2].

Одним із перспективних напрямків вдосконалення шахтного підйому являється використання сучасних систем автоматизованого електропривода, в тому числі побудованих на базі векторно-керованого асинхронного електропривода, який володіє цілим рядом переваг порівняно з існуючими системами керування шахтними підйомними установками [3, 4].

Разом з тим, одним із головних питань при експлуатації підйомних установок залишається забезпечення необхідного рівня надійності і безпеки їх функціонування. Одним із проблемних питань при відпрацюванні діаграми швидкості є момент входу скіпа в розвантажувальні криві, рух в яких здійснюється по криволінійним направляючим, при цьому жорстко регламентується рівень швидкості.

З ціллю досягнення необхідної точності відпрацювання швидкості для відміченої точки шляху скіпа в існуючих системах управління вводиться період дотягування, який потребує наявності додаткового обладнання, що збільшує час циклу і знижує продуктивність підйомної установки.

Слід також врахувати, що одним із факторів, який впливає на величину похибки при відпрацюванні заданої швидкості являється величина транспортованого вантажу, яка може змінюватися в межах від 0 до 1.2 номінального значення.

Таким чином, вельми актуальним є дослідження рівня похибки по швидкості в точці входу в розвантажувальні криві на всьому діапазоні коливання вантажу в підйомній посудині.

**Мета роботи.** Провести аналіз впливу коливання навантаження шахтної скіпової підйомної установки на точність відпрацювання завдання швидкості в точці входу в розвантажувальні криві при використанні векторно-керованого асинхронного електропривода.

**Матеріали і результати досліджень.** Функціональна схема електромеханічної системи шахтної підйомної установки (ШПУ) приведена на рис. 1.

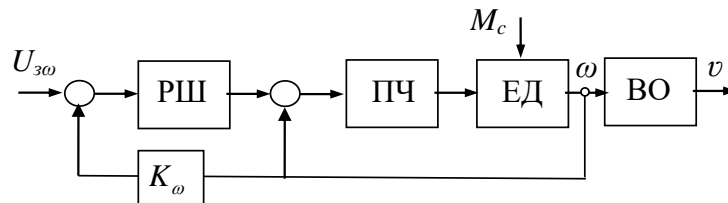


Рисунок 1 – Функціональна схема електромеханічної системи ШПУ.

На рис. 1 введені наступні позначення: РШ - регулятор швидкості; ПЧ - перетворювач частоти; ЕД - електродвигун; ВО - виконавчий орган;  $M_c$  - статичний момент навантаження;  $U_{3\omega}$  - напруга керування,  $K_\omega$  - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку,  $\omega$  - кутова швидкість двигуна,  $v$  - лінійна швидкість вантажного скіпа.

Характер зміни величини статичного навантаження ШПУ можемо представити в наступному вигляді [3]:

$$F_c(x) = G_n - \alpha \cdot G_n + q_{kan} \cdot (H - 2 \cdot X), \quad (1)$$

де  $G_n$  - номінальна вага вантажу,  $\alpha$  - коефіцієнт врівноваженості підйомної установки,  $q_{kan}$  - вага 1 метра канату,  $H$  - висота підйому,  $X$  - поточна довжина канату при переміщенні скіпу.

Величина статичного моменту на валу електродвигуна виражається у відповідності з наступним виразом:

$$M_c = \frac{F_c(x) \cdot D_\sigma}{i \cdot 2}, \quad (2)$$

де  $D_\sigma$  - діаметр барабана,  $i$  - передаточне число редуктора.

Графіки зміни статичного моменту в межах технологічного циклу підйому для різної завантаженості скіпа наведені на рис. 2.

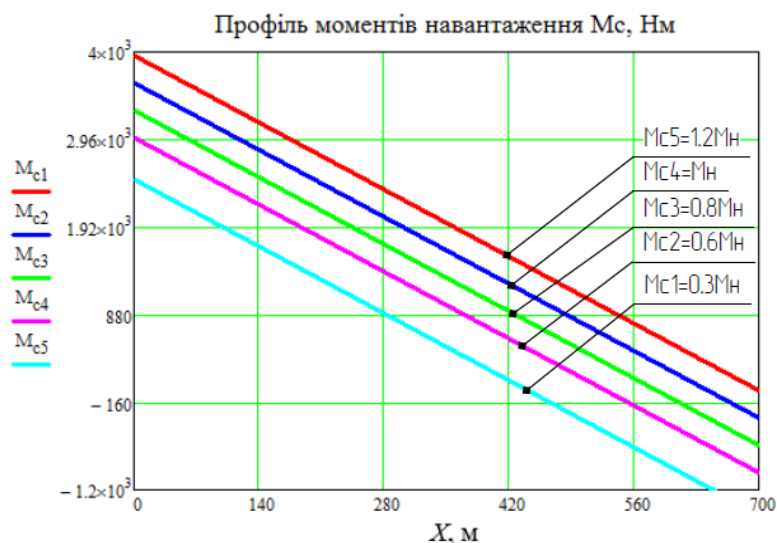


Рисунок 2 – Графік зміни моментів навантаження

Для дослідження прийнята шахтна скіпова підйомна установка з векторно-керованим електродвигуном потужністю 315 кВт. Висота підйому  $H = 540 \text{ м}$ , маса вантажу 6000 кг, маса скіпа 6400 кг, маса противаги 9400, погонна маса канату 4.7 кг/м. Вантаж рухається з максимальною лінійною швидкістю переміщення скіпа 7.7 кг/м.

Математичний опис елементів функціональної схеми рис.1 отримано відомими методами [3].

Для дослідження динамічних процесів в електромеханічній системі ШПУ розроблена модель при використанні пакету прикладних програм «MATLAB» Simulink.

Дослідження проведені для наступних значень статичного моменту  $M_{C1} = 0.3 \cdot M_H$ ,  $M_{C2} = 0.6 \cdot M_H$ ,  $M_{C3} = 0.8 \cdot M_H$ ,  $M_{C4} = M_H$ ,  $M_{C5} = 1.2 \cdot M_H$ .

Під час дослідження використовувалася наступна послідовність відпрацювання заданої діаграми швидкості: відповідно до діаграми руху рис.3, скіп починає прискорення  $0.3 \text{ (м/с}^2\text{)}$ , через 4 секунди прискорення збільшується до  $1 \text{ (м/с}^2\text{)}$ , і через 6.5 секунди досягає номінальної швидкості  $7.7 \text{ (м/с)}$ . На 72 секунд руху починається режим гальмування з величиною уповільнення  $-1 \text{ (м/с}^2\text{)}$ . В час рівний 79.481 секунд з моменту початку руху, скіп досягає точки входу в розвантажувальні криві із заданою швидкістю  $0.5 \text{ (м/с)}$ .

Графіки відпрацювання заданої діаграми швидкості в межах циклу підйому ШПУ і помилки швидкості при номінальному моменті навантаження  $M_H$  приведені на рис. 3 і рис. 4.

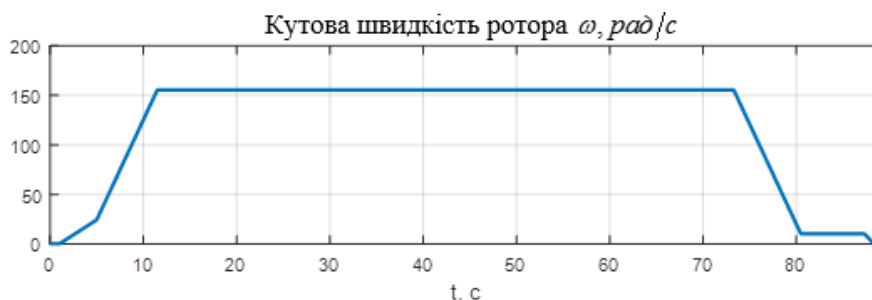


Рисунок 3 – Графік відпрацювання кутової швидкості при моменті навантаження рівному  $M_H$

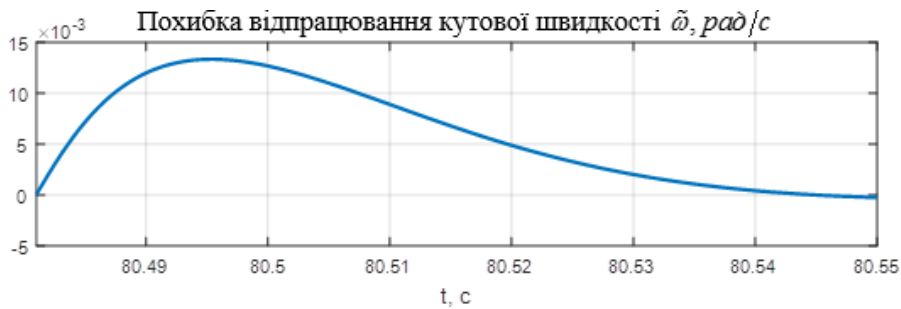


Рисунок 4 – Похибка відпрацювання кутової швидкості при моменті навантаження рівному  $M_H$

З рис. 3 і рис. 4 видно, що при навантаженні  $M_C = M_H$  величина похибки в точці входу в розвантажувальні криві складає 0.013 рад/с, що відповідає 0.13% від заданої швидкості. При цьому час відпрацювання помилки складає 0.07 с, після чого швидкість стабілізується на рівні заданого значення. Аналогічно отримані перехідні процеси для випадків  $M_C = 0.3 \cdot M_H$ ,  $M_C = 0.6 \cdot M_H$ ,  $M_C = 0.8 \cdot M_H$ ,  $M_C = 1.2 \cdot M_H$ .

Результати дослідження похибок відпрацювання швидкості при варіаціях момента навантаження рівних  $0.3M_H - 1.2M_H$  зображені на рис.5-6 і табл.1.

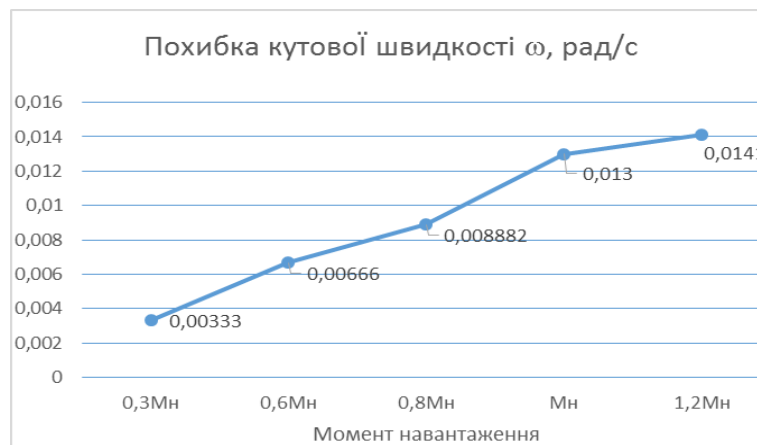


Рисунок 5 – Похибки відпрацювання кутової швидкості при навантаженні від  $0.3 \cdot M_H$  до  $1.2 \cdot M_H$

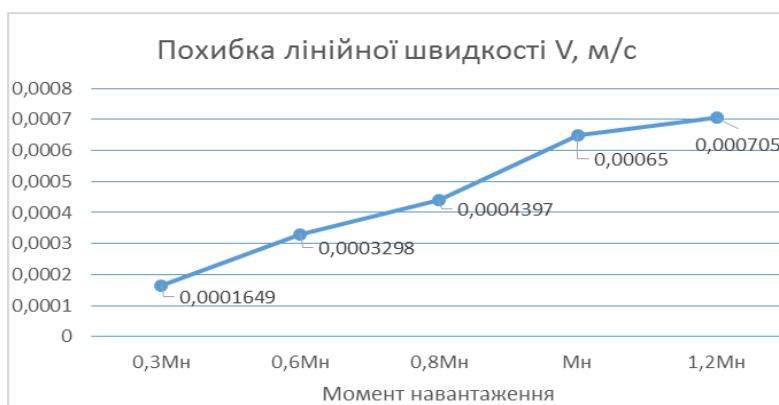


Рисунок 6 – Похибки відпрацювання лінійної швидкості при навантаженні від  $0.3 \cdot M_H$  до  $1.2 \cdot M_H$

Таблиця 1 – Похибки при підйомі вантажу

Навантаження	Похибка кутової швидкості, рад/с	Похибка лінійної швидкості V, м/с	Похибка швидкості $\Delta$ , %
$0.3 \cdot M_H$	0.00333	0.0001649	0.658
$0.6 \cdot M_H$	0.00666	0.0003298	0.657
$0.8 \cdot M_H$	0.008882	0.0004397	0.6564
$M_H$	0.013	0.00065	0.69
$1.2 \cdot M_H$	0.0141	0.000705	0.75

Похибка відпрацювання лінійної швидкості підйомної посудини у відсотках розрахована у відповідності з виразом:

$$\Delta = \frac{V_i}{V_j} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $V_i$  - похибка відпрацювання лінійної швидкості,  $V_j$  - задана лінійна швидкість.

Аналіз отриманих результатів досліджень показує, що при коливанні завантаженості підйомної посудини від  $M_C = 0.3 \cdot M_H$  до  $M_C = 1.2 \cdot M_H$ , максимальне відхилення лінійної швидкості від заданого значення в точці входу в розвантажувальні криві не перевищує значення 0.75%, що знаходиться в межах рівня допустимої похибки і передбаченої правилами безпеки для шахтного підйому. При цьому час відпрацювання похибки не перевищує 0.07 с.

**Висновки.** Отримані результати дають можливість зробити висновки про доцільність використання векторно-керованого асинхронного електропривода для привода шахтної підйомної установки. Висока точність відпрацювання заданої діаграми руху дозволяє рекомендувати відмовитися від періоду дотягування вантажного скіпа, тим самим зменшити час циклу підйому і підвищити продуктивність гірського підприємства в цілому.

#### Перелік посилань

1. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – С. 409-448.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.
3. Пересада С. М. Обобщенная теория косвенного векторного управления асинхронным электроприводом. В трех частях // Техническая электродинамика. – 1999 р, 52-70 с.
4. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп., 2002. – 832 с. – (Лаборатория базовых знаний)