

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ШАХТНИХ КЛІТЬОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

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

**Вступ.** Одним із важливих частин технологічного процесу гірничого підприємства є шахтні підйомні установки. Особливі вимоги з точки зору безпеки і надійності пред'являють до клітьових підйомних установок, призначених для перевезення людей і вантажів [1]. Одним із напрямків підвищення рівня безпеки і надійності є забезпечення точності відпрацювання заданої діаграми швидкості.

В даний час більшість шахтних підйомників оснащені асинхронним електроприводом з реостатним пуском і електродинамічним гальмуванням. При цьому, похибка по шляху, яка накопичується в межах робочого циклу компенсується за рахунок ведення періоду дотягування, що спричиняє необхідність використовувати додаткове обладнання та приводить до збільшення часу циклу роботи і зменшенню продуктивності в цілому.

Головною причиною виникнення даних похибок являється нерівномірність завантаження підйомної установки при кожному циклі роботи [1]. Тому досить актуальним є завдання підвищення точності позиціонування за рахунок компенсації впливу зміни статичного навантаження електромеханічної системи.

**Мета роботи.** Дослідження системи керування шахтних клітьових підйомних установок з метою підвищення точності позиціонування за рахунок компенсації збурень від нерівномірності завантаження підйомної системи.

**Матеріали та результати дослідження.** При проведенні дослідження орієнтуємося на електромеханічні системи існуючих шахтних підйомних установок з асинхронним електроприводом, в яких використовується режим електродинамічного гальмування. Спрощена функціональна схема системи керування, яка забезпечує даний режим приведена на рисунку 1.

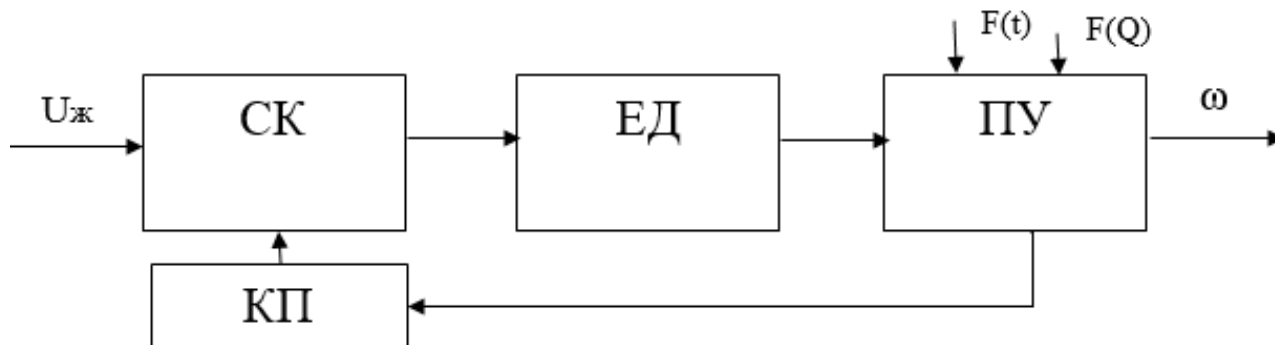


Рисунок 1 – Функціональна схема електроприводу

де СК – система керування, ЕД – електродвигун, ПУ – підйомна установка, КП – компенсуючий пристрій,  $F(t)$  – випадкові збурення,  $F(Q)$  – збурення,

обумовлені фактичним навантаженням установки,  $U_{ж}$  – напруга живлення,  $\omega$  – швидкість руху кліті.

На основі рівняння динаміки шахтної підйомної установки [2], величина зусилля при гальмуванні має вигляд:

$$F_{\text{дв.н}} = F_{\text{ст}} - F_{\text{дин}} = [kQ + q(H - 2h_i)]g - m_{\text{ні}} j_{\text{н}}, \quad (1)$$

$$j_{\text{н}} = \frac{-F_{\text{дв.н}} + [kQ + q(H - 2h_i)]g}{m_{\text{ні}}}, \quad (2)$$

де  $F_{\text{ст}}$  – статичне зусилля,  $F_{\text{дин}}$  – динамічне зусилля,  $k=1.2$  – коефіцієнт шахтного опору,  $Q$  – фактична вага вантажу,  $q$  – вага одного метру головного каната,  $H$  – висота підйому,  $h_i$  – пройдений шлях гальмування,  $m_{\text{ні}}$  – приведена до ободу барабану вага рухомих частин установки,  $j_{\text{н}}$  – номінальне прискорення при гальмуванні.

Як видно із рівняння (1), для забезпечення підходу кліті до точної зупинки потрібно щоб  $j_{\text{н}} = \text{const}$  і відповідно кліть буде проходити однаковий шлях від моменту початку гальмування і матиме точне позиціонування. При цьому кліть буде проходити однаковий шлях при фіксованій точці початку гальмування. Для досягнення цього потрібно щоб при зміні  $Q$  регулювалася величина  $F_{\text{дв.н}}$ .

Це досягається за рахунок введення в компенсуючий пристрій (КП) (рис.1), інформації про реальну завантаженість кліті на основі якої формується потрібне зусилля електродинамічного гальмування.

Дослідження проведені на прикладі підйомних установок глибиною від 300 до 600 метрів, основні параметри яких, отримані в результаті розрахунку по методиці [1], та приведені в табл. 1.

Таблиця 1

№	1	2	3	4	5
Висота підйому, м	300	372	500	550	600
Прискорення, $\text{м} / \text{с}^2$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Максимальна швидкість руху, м/с	4	5.5	6	6.5	7
Потужність привідного двигуна, кВт	75	110	112	150	160

Продовження таблиці 1

Час гальмування, с	5.2	7.9	8.6	9.3	10
Пройдений шлях при гальмуванні, м	11.4	21.6	25.7	30.2	35
Тип кліті і її мертва вага	УКН – 2.55 – 1, $Q_{кл}$ = 2700 кг.				
Тип вагонетки і її мертва вага	УВГ – 1.4, $Q_{ваг}$ = 700 кг.				
Максимальна вага в вагонетці, кг	230 0	230 0	2300	230 0	230 0

Для дослідження показників точності позиціонування підйомної установки розроблена модель електромеханічної системи підйомної установки в середовищі SimPowerSystems прикладного пакету програм Matlab 2009, структурна схема якої приведена на рис. 2.

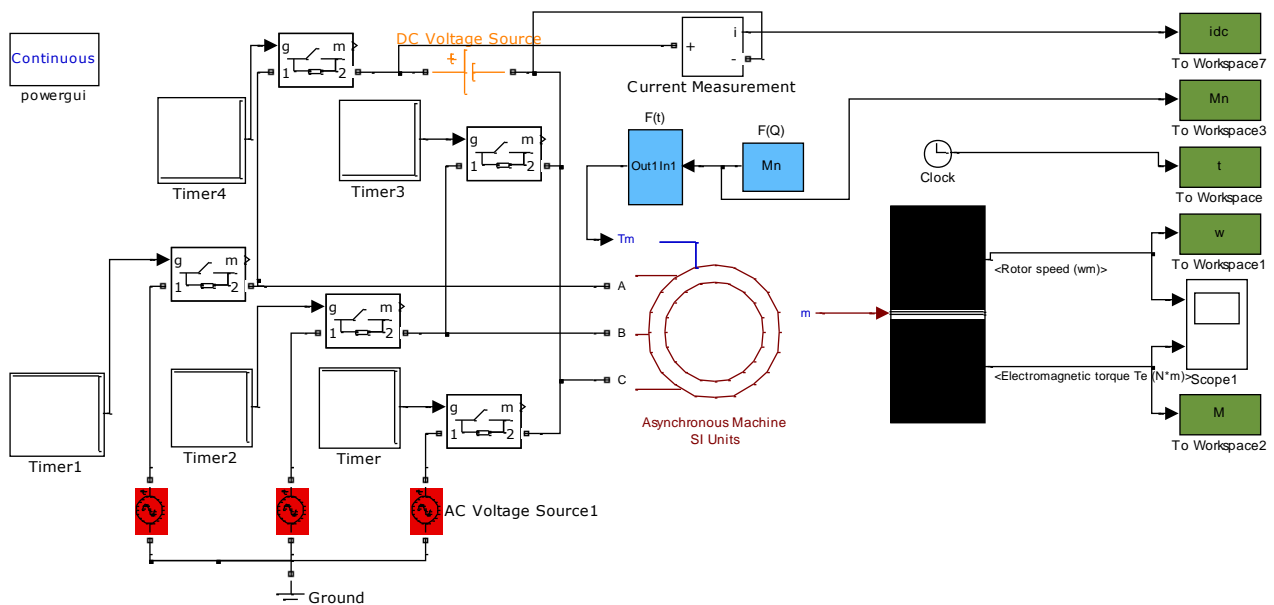
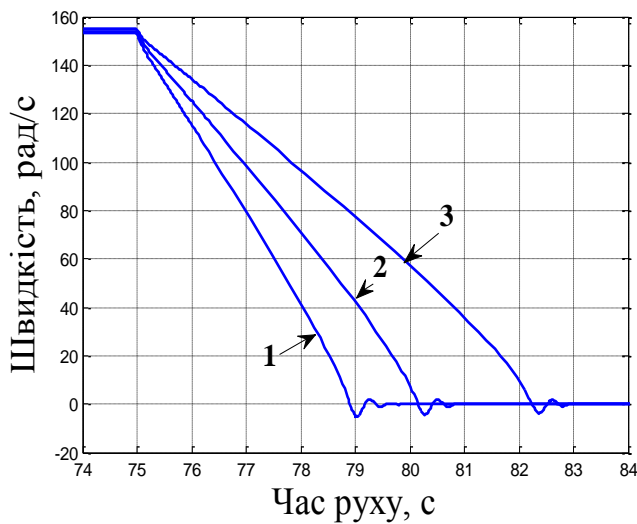


Рисунок 2 – Модель дослідної установки

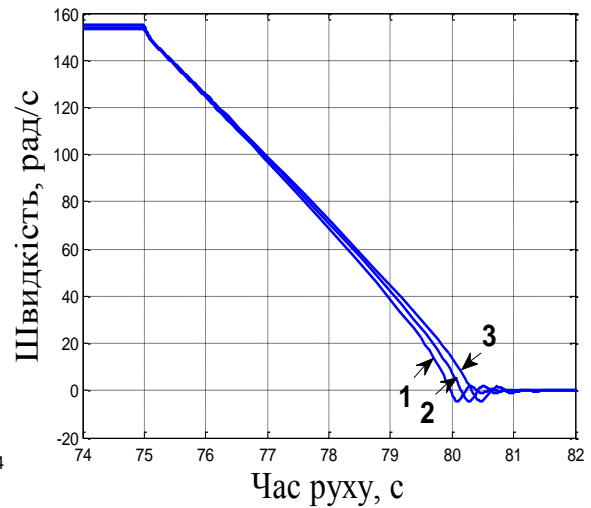
Дана модель вміщує: режим пуску і електродинамічного гальмування, асинхронний двигун описаний для двофазної (d,q - осі) системи координат [3].

Дослідження характеру руху підйомної установки здійснювалося для значень завантаженості кліті  $0,3Q_n$ ,  $Q_n$ ,  $1,7Q_n$ .

Графіки перехідних процесів при гальмуванні для глибин підйомних установок 300 і 600 метрів, приведені на рисунку 3 і 4, де позначка 1 відповідає завантаженню  $0,3Q_n$ , 2 –  $Q_n$ , 3 –  $1,7Q_n$ .



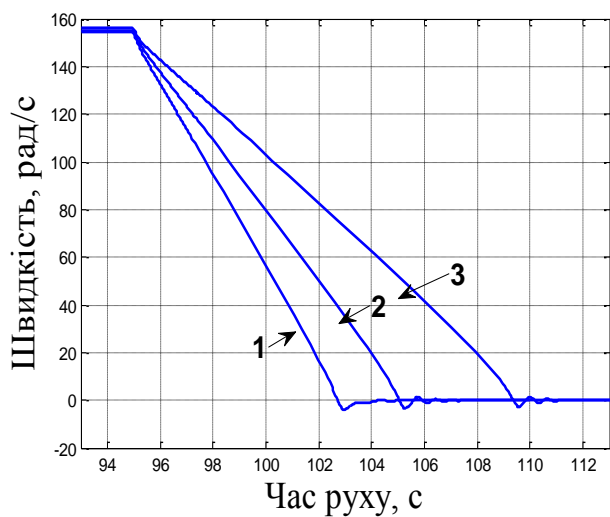
а)



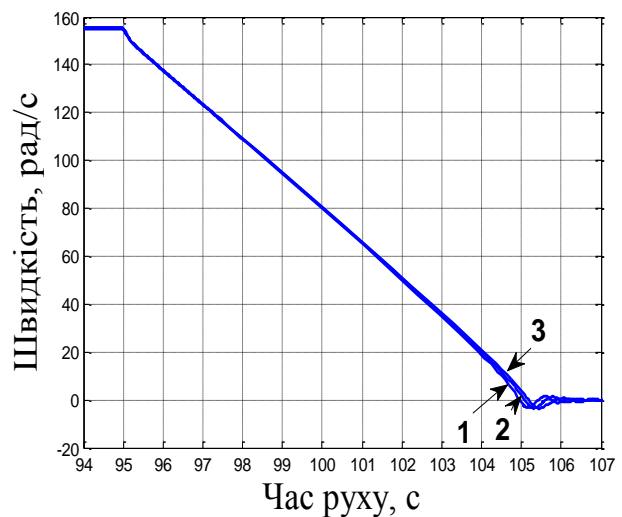
б)

Рисунок 3 – Діаграми швидкості для шахти глибиною 300 м.:

а) без компенсації зміни навантаження, б) з компенсацією зміни навантаження.



а)



б)

Рисунок 4 – Діаграми швидкості для шахти глибиною 600 м.:

а) без компенсації зміни навантаження, б) з компенсацією зміни навантаження.

На рисунках 3а і 4а приведені характеристики перехідних процесів при гальмуванні для випадку постійного номінального тормозного зусилля і фіксованої точки початку гальмування.

На рисунках 3б, 4б характеристики при постійному прискоренню  $j_m = j_{m.n.}$  і корегуванні  $F_m$  в функції завантаження ( $Q_i$ ) підйомної установки.

Аналогічно отримані перехідні процеси для інших підйомів глибинами 372 м., 500 м., 550 м.

Результати аналізу параметрів їх руху в період гальмування при відсутності компенсації тормозного зусилля приведені в табл. 2, де відхилення

в % визначалося по відношенню до параметрів переміщення номінального вантажу.

Таблиця 2

Глибина шахти	300	372	500	550	600
Прискорення при $0.3 Q_n$ , %	-14.3	-24.3	-32.9	-38.6	-21.4
Прискорення при $1.7 Q_n$ , %	15.7	22.9	31.4	50.1	41.4
Пройдений шлях при $0.3 Q_n$ , %	35.8	32.9	30.4	45.0	59.7
Пройдений шлях при $1.7 Q_n$ , %	-41.8	-29.6	-34.2	-25.5	-34.0
Час гальмування при $0.3 Q_n$ , %	30.7	31.7	38.6	53.5	42.6
Час гальмування при $1.7 Q_n$ , %	-28.6	24.7	-29.5	-29.6	-31.7

Як видно, при відсутності компенсації гальмівного зусилля похибка по швидкості досягає 60 %, по прискоренню до 50% і до 53% по часу. Отриманий характер зміни навантаження показує що при його збільшенні до 70% кліть може мати прискорення яке в 1.5 рази більше номінального значення, що перевищує допустиме по умовам безпеки переміщення для людських підйомів. При цьому збільшується шлях дотягування і як наслідок тривалість підйомного циклу

Зменшення завантаження на 70% від  $Q_n$  приводить до збільшення часу гальмування і зменшенню шляху дотягування, при цьому похибка накопичена в процесі переміщення не компенсується в повній мірі і неминуче приведе до перепідйому кліті вище нульової відмітки.

Результати оцінювання похибок параметрів руху кліті при компенсації гальмівного зусилля в функції завантаження підйомної установки для випадків крайніх глибин шахт 300м. і 600м. приведені в табл. 3.

Таблиця 3

Глибина шахти, м	Прискорення при $0.3 Q_n$ , %	Прискорення при $1.7 Q_n$ , %	Пройдений шлях при $0.3 Q_n$ , %	Пройдений шлях при $1.7 Q_n$ , %	Час гальмування при $0.3 Q_n$ , %	Час гальмування при $1.7 Q_n$ , %
300	2.4	-2.3	2.4	-2.3	2.5	-2.4
600	2.2	-2.4	2.2	-2.4	2.1	-2.4

Як видно, при компенсації збурення від відхилення завантаження кліті, для шахти глибиною 300м. максимальне відхилення прискорення в середньому становить  $\pm 2.4\%$  при нерівномірності рівня завантаження  $\pm 70\% Q_n$ , при цьому похибка по пройденому шляху не перевищує 2.4%, відхилення часу відпрацювання етапу гальмування від розрахункового значення в середньому відрізняється на  $\pm 2.4\%$ . При збільшенні висоти підйому відхилення розглянутих вище параметрів від номінальних величин залишається приблизно на тому ж рівні і не перевищує 2.5%,

Як видно, при компенсації збурення від відхилення завантаження кліті у вказаному діапазоні похибки параметрів переміщення знаходяться в межах (2% - 3%), що є допустимих по умовам точного позиціонування.

**Висновки.** Дослідження принципу компенсації впливу коливання завантаження підйомної установки на точність відпрацювання заданої діаграми переміщення дозволяє зменшити похибки показників точності позиціонування в середньому на 3%.

Отримані результати дають можливість стверджувати, що використання компенсуючого каналу керування дозволить відмовитися від періоду дотягування, що приведе до зменшення експлуатаційних затрат, підвищення продуктивності і рівня безпеки шахтного клітьового підйому.

#### Перелік посилань

1. Бондарев В.С. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин / В.С. Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колеснік та ін. // К: Вища школа, 2009.С. 30-45.
2. Попович Н.Г. Комбинированние САУ шахтных подъемных машин – средство повышения их надежности и безопасности. / Попович Н.Г. Дубровина М.А., Печеник М.В. //К. «Уголь Украина», 1975 р. №2. С. 15-30.
3. Leonhard W. Control of Electric Drives (2nd edition). – Berlin: Springer- Verlag, 1995. С. 142-145.