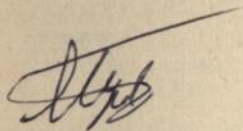


КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

на правах рукопису



ГУМАНУК Ярослав Метиславович

УДК 622.673.1:691.513.2

РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ
ПІДЪОМНИМИ УСТАНОВКАМИ ГЛИБОКИХ ШАХТ

Спеціальність 05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів і
виробництв

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ -1994 р.

ДБ 2930

Дисертація є рукопис

Роботу виконано на кафедрі автоматизації гірничої промисловості
Київського політехнічного інституту

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Данильчук Г.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кадук В.Г.

кандидат технічних наук, доцент
Шульга Ю.І.

Провідна організація: Інститут "Автоматвуглерудіром" при НВО
"Червоний металіст" (м. Конотоп)

Захист дисертації відбудеться "21" березня 1994 року
о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої Ради ДОВВ.14.07 у
Київському політехнічному інституті (252056, м.Київ, пр.Перемоги 37).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат розісланий "Р" лютого 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради

В.Д. Романенко

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777776 (+)

4B - 29.307

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є розробка, теоретичне та експериментальне дослідження цифроаналогової системи автоматичного керування (САК) шахтною підйомною установкою (ШПУ), яка дозволяє реалізувати програмне керування транспортуванням вантажів шляхами з вертикальним та похилим профілем оптимальне за швидкістю та динамічними навантаженнями та має високу точність установки у задане кінцеве положення підйомних посудин.

Для здійснення цієї мети розв'язані наступні задачі:

1. Розроблено цифрову модель статично зрівноваженої шахтної підйомної установки з урахуванням пружностей та розподіленості мас усіх чотирьох галузей канатів, а також зміни параметрів під час руху, яка дозволяє досліджувати на БОМ динаміку ШПУ всіх типів.
2. Досліджено САК положенням підйомних посудин шахтної підйомної установки, яка має електропривод з підпорядкованими контурами регулювання, та запропоновано спосіб оптимізації роботи ШПУ за швидкістю та динамічністю в допоміжній багатоканальній задавальній пристрої (ЗП).
3. Розроблено методику цифрового моделювання та синтезу цифрових ЗП, які формують оптимальні за швидкістю тахограми складної форми при довільних обмеженнях фазових координат та забезпечують точне регулювання положення підйомних посудин.
4. Розроблено принципи побудови, функціональну структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення мікропроцесорної САК ШПУ, яка здійснює переміщення оптимальною за швидкістю для заданих обмежень тахограмою з високою точністю позиціонування.

Автор захищає:

1. Метод дискретного опису й алгоритм чисельного моделювання статично зрівноваженої системи підйому з урахуванням розподіленості та несталості параметрів пружних ланок.
2. Метод оптимізації за швидкістю та точністю багатоконтурних систем регулювання положення (СРП) з підпорядкованими контурами регулювання координат, оснований на принципі комбінованого за задавальною дією керування.
3. Функціональну та алгоритмічну структури багатоканального задавального пристрою, який автоматично формує оптимальні тахограми складної форми при довільних значеннях обмежень параметрів цих тахограм.
4. Спосіб оптимізації динамічних режимів з елементах ШПУ за допомо-

гов багатоканальних задавальних пристроїв.

5. Принцип побудови, функціональну структуру й алгоритм функціонування мікропроцесорної оптимальної САК ШПУ.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Енергетична криза, в якій опинилась Україна, значною мірою підвищує роль паливновидобувних галузей промисловості, розвинутих на її території, зокрема, вугільної промисловості, не дивлячись на велику глибину залягання вугільних пластів.

Умови роботи сучасних шахтних підйомних установок, як і є однією в основних ланок гірничого виробництва, мають певні особливості. Разом із глибиною шахт, як правило, зростає й кількість горисонтів, які обслуговує ШПУ. Це призводить до зміни діаграм швидкості від циклу до циклу підйому. Із збільшенням вантажності та швидкості руху підйомних посудин значно зростають динамічні дії в елементах установок, а за наявності додаткових навантажень, пов'язаних з коливаннями, що виникають у підйомних канатах глибоких шахт, сумарні динамічні навантаження можуть виявитись аварійними.

Вельми актуальними задачами теорії та практики автоматизації ШПУ є розробка та дослідження сучасних САК, які б враховували згадані особливості та забезпечували підвищення продуктивності праці, надійності та довговічності обладнання завдяки оптимізації за швидкістю та динамічними навантаженнями. Враховуючи вимоги уніфікації та зручності в обслуговуванні, розв'язання цієї задачі важко здійснити без застосування сучасних засобів керування обчислювальної техніки.

Оскільки підйомна установка глибокої шахти являє собою складну електромеханічну систему з розподіленими змінними параметрами, аналітичне дослідження перехідних процесів (ПП), що проходять в її елементах, є практично невідносним. Отже для дослідження роботи різнорівневних систем керування необхідно використовувати ЕОМ. Однак, механічна частина ШПУ, яка включає головні та зрівноважувальні канати й має змінні параметри, дотепер не була описана у вигляді, придатного для чисельного моделювання на ЕОМ.

Ця робота є складовою частиною науково-дослідних робіт, що виконуються кафедрою автоматизації гірничої промисловості (АГП) Київського політехнічного інституту.

Методи досліджень. Основними методами досліджень у цій роботі є математичне моделювання й чисельне моделювання на ЕОМ з подальшою

експериментальною перевіркою одержаних результатів на спеціально розробленому стенді. Поставлені у роботі задачі розв'язані за допомогою методів теоретичної механіки, теорії автоматичного керування лінійними, нелінійними та цифровими системами, теорії алгоритмів, неперервного та дискретного операційного числення.

Наукова новизна. Розроблено цифрову модель статично зрівноваженої ШПУ як складної електромеханічної системи з розподіленими пружними зв'язками змінної довжини, що дозволило досліджувати за допомогою ЕОМ динаміку роботи як статично зрівноважених підйомних установок глибоких шахт, так і ШПУ всіх інших типів.

Розроблено методичу синтезу та цифрового моделювання ЕЗП, за допомогою якої на ЕОМ проведено дослідження функціонування комбінованих САК ШПУ, а також синтезовано цифроаналогову систему автоматичного керування підйомною установкою.

Розроблено принцип побудови та алгоритмічну структуру універсальних цифрових задавальних пристроїв, які автоматично формують оптимальні діаграми швидкості складної форми в залежності від величини заданого переміщення.

Запропоновано спосіб оптимізації роботи ШПУ як СРП за швидкодією та динамічними режимами з допомогою ЕЗП.

Розроблено принцип побудови, функціональну структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення мікропроцесорної системи керування ШПУ, яка здійснює переміщення оптимальною за швидкодією для заданих обмежень тахограмою з високою точністю позиціонування, а також досліджено роботу цієї системи.

Практична цінність роботи. Основні результати дисертації можуть бути використані при створенні уніфікованої цифроаналогової системи оптимального керування ШПУ та інших аналогічних пристроїв, або застосовані при комплексній автоматизації шахтного підйому на базі обчислювальних комплексів, що призведе до підвищення продуктивності праці, збільшення довговічності дорогого механічного обладнання та полегшення обслуговування САК. Програма моделювання динаміки ШПУ дає змогу підвищити ефективність наукових робіт по дослідженню систем підйому, дозволяє визначати оптимальні закони керування як для працюючих ШПУ, так і для тих, що проєктуються, а також може бути використана в улюбеному почесі вузів.

Реалізація результатів роботи. Матеріали дисертації використані на кафедрі АГП при розробці на замовлення Науково-дослідного Інституту гірничої механіки (НДГМ) ім. М.М.Федорова (м.Донецьк) цифроаналогової системи оптимального керування приводом шахтної підйомної

машини. Очікуваний економоефект від впровадження системи на одній установці складає 44404,273 тис. крб. на рік у цінах на 1.10.93 р.

Крім того, запропоновані автором цифрова модель статично зрівноваженої ШПУ та методика побудови мікропроцесорної системи оптимального керування електроприводом підйому використані при розробці універсальної САК ШПУ, яка створюється на замовлення Держкомітету України в вугільної промисловості.

Анотація роботи. Основні положення дисертації доповідались та обговорювались у межах наукових досліджень САК ШПУ, що проводяться на кафедрі, в НДІІМ ім. М.М.Федорова та на наукових семінарах у Київському політехнічному Інституті, на сорок п'ятій студентській науково-технічній конференції (секція гірничої електромеханіки та автоматички) Київського політехнічного Інституту (м.Київ, 1987), на семінарі "Мікропроцесорні системи керування та контролю електроприводами одноковшових екскаваторів" (м. Сverdловськ, 1991), на одинадцятій міжнародній конференції з автоматизації у гірництві (м. Єкатеринбург, 1992 р.).

Дублікації. Зміст роботи викладено у 9 публікаціях.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів та висновку. Зміст роботи викладено на 146 сторінках машинписного тексту, ілюстровано 48 рисунками. Перелік використаної літератури вміщує 164 найменування. Додатки показані на 31 сторінці.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета, і наведені основні положення роботи.

Перший розділ присвячений аналізу літературних джерел, на основі якого визначено задачу, що вирішується у роботі.

У другому розділі визначені основні принципи та методика чисельного моделювання механічної частини вахтного підйому.

У третьому розділі побудована чисельна модель статично зрівноваженої ШПУ з урахуванням зміни її параметрів. Досліджена робота одержаної моделі.

У четвертому розділі досліджена комбінована система автоматичного керування положенням, яка включає електропривод з підпорядкованими контурами регулювання. Розроблені оптимальні САК ШПУ, одержані з застосуванням синтезованих спеціальних БЗП.

У п'ятому розділі описані розроблена мікропроцесорна система оптимального керування ШПУ та її дослідження.

У висновку узагальнені результати роботи.

У додатках наведені програми обчислень, вирази для визначення деяких величин, а також документи, що підтверджують впровадження.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Досліджуючи перехідні процеси в елементах статично зрівноваженої багатогоризонтної ШПУ, необхідно враховувати пружності всіх чотирьох галузей канатів та зміну її параметрів під час руху. В цьому випадку застосування аналітичних методів затруднене. Доцільно використовувати ЕОМ, моделюючи на ній процеси, що досліджуються. У наявних цифрових моделях ШПУ, як правило, врахована пружність не більш як двох галузей канатів, та проігнорована зміна параметрів ШПУ під час її руху. При цьому викривляються перехідні процеси, що моделюються, ігноруються можливі резонансні явища, що не дозволяє використовувати ці моделі для дослідження підйомних установок глибоких шахт. Це визначило необхідність розробки цифрової моделі ШПУ, позбавленої наявних недоліків.

Механічна частина статично зрівноваженої ШПУ може бути представлена системою, складеною із зосереджених мас та чотирьох пружних ланок із розподіленими уадовх масами. Точно кажучи, кожна з галузей канатів має бути описана передавальною функцією безкінечного порядку, але за допомогою методу граничних пружних зв'язків без великих втрат у точності вона може бути описана передавальною функцією другого порядку. Для підтвердження вірогідності одержаної безперервної математичної моделі статично зрівноваженої ШПУ використано метод Лагранжа з урахуванням розподіленості мас канатів за принципом Релея. Доведено, що одержаний за методом граничних пружних зв'язків математичний опис системи, що розглядається, є найбільш точним, отже може бути прийнятий за основу при побудові цифрової моделі ШПУ.

Для визначення основних принципів цифрового моделювання розглянуто просту систему, яка являє собою однокінцеву ШПУ. Одержані аналітичні залежності динамічних зусиль $F_{IV}^*(t)$ та $F_{IV}^*(t)$ в точках з'єднання канатів, відповідно, з верхньою та нижньою зосередженими масами при ступінчастій вхідній дії. Визначено, що для реальних ШПУ в головних канатах перехідні процеси завжди коливальні, а у зрівноважувальних - можливий аперіодичний їх характер в положеннях близьких до крайніх.

З числа розглянутих методів чисельного інтегрування вибрано метод з-форм, який має найбільшу точність, що підтвердилося для різних співвідношень параметрів системи при порівнянні результатів, одержаних чисельно на основі дискретного зображення $F_{IV}^*(z^{-1})$, з результатами, одержаними аналітично.

З огляду на те, що для статично зрівноваженої ІІІУ зображення кожного з зусиль являє собою дрібно-раціональну функцію восьмого порядку із змінними коефіцієнтами, метод z-форм доцільно застосовувати до передавальних функцій канатів, складаючи алгоритм безпосередньо за структурною схемою. Показано, що для збіжності обчислювального процесу необхідно дискретну передавальну функцію каната $W_1(z^{-1})$ звести до вигляду

$$W_1(z^{-1}) = K_{z1} + W_{z1}(z^{-1}),$$

де K_{z1} доданок, який не вміщує запікановань z^{-1} .

Дискретно описуючи у такий спосіб тримасову систему з чотирма канатами, отримуємо розгорнуту дискретну структурну схему механічної частини статично зрівноваженої ІІІУ. За нею складені від'ємні рівняння для визначення вихідних величин $y_{z1}^{(k)} \dots y_{z4}^{(k)}$ дискретних передавальних функцій $W_{z1}(z^{-1}) \dots W_{z4}(z^{-1})$ на k-тому кроці обчислень, які мають вигляд аналогічний наведеним для $y_{z1}^{(k)}$:

$$y_{z1}^{(k)} = X_1^{(k)} C_1' + X_2^{(k)} C_2', \text{ де } X_2^{(k)} = X_1^{(k-1)}; X_1^{(k)} = X_0^{(k-1)};$$

$$X_0^{(k-1)} = F_{1y}^{r(k-1)} + F_{2y}^{r(k-1)} - X_1^{(k-1)} a_1' - X_2^{(k-1)} a_2'; X_1^{(0)} = X_2^{(0)} = 0.$$

Значення зусиль у головних $F_{1y}^{r(k)}, F_{2y}^{r(k)}, F_{1y}^{r(k)}, F_{2y}^{r(k)}$ та зрівноважувальних $F_{3y}^{r(k)}, F_{3y}^{r(k)}$ канатах на відповідному кроці обчислень визначаються шляхом розв'язання матричного рівняння восьмого порядку

$$A \cdot B = F, \text{ де}$$

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} + 2K_{z1} + 1 & 2K_{z1} - 1 & -\alpha_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 2K_{z1} - 1 & \alpha_{21} + 2K_{z1} + 1 & 0 & 0 & -\alpha_{12} & 0 \\ -\alpha_{12} & 0 & \alpha_{21} + 1 + 2K_{z2} & 2K_{z2} - 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2K_{z2} - 1 & \alpha_{23} + 2K_{z2} + 1 & 0 & -\alpha_{23} \\ 0 & -K_{z3} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K_{z4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$F = \begin{pmatrix} F_{1y}^{r(k)} \\ F_{2y}^{r(k)} \\ F_{1y}^{r(k)} \\ F_{2y}^{r(k)} \\ F_{1y}^{r(k)} \\ F_{2y}^{r(k)} \\ F_{3y}^{r(k)} \\ F_{3y}^{r(k)} \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} \alpha_{11} F_1 - 2y_{z1}^{(k)} \\ -2y_{z1}^{(k)} \\ -F_1 \alpha_{21} - 2y_{z2}^{(k)} \\ -2y_{z2}^{(k)} \\ y_{z3}^{(k)} \\ y_{z4}^{(k)} \end{pmatrix}.$$

Елементи від'ємних рівнянь C_1', C_2', a_1', a_2' та величини $K_{z1} \dots K_{z4}$ залежать від параметрів $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{23}, \alpha_{22}, \alpha_{31} \dots \alpha_{34}$, у свою чергу залежних від співвідношення мас ІІІУ та довжин канатів. На засаді формалізованих виразів складена програма обчислення ІІІ для усіх зусиль при ступінчастій вхідній дії F_1 . Для зусиль $F_{3y}^{r(k)}$ при різних співвідношеннях параметрів співставлено

результати, одержані за допомогою чисельного моделювання та аналітично. Співставлення показало високу точність моделі.

Аналітичний розв'язок було отримано за допомогою зворотного перетворення Карсона-Хевісайда, застосованого до зображення $F_{iv}^{-1}(t)$, яке є функцією восьмого порядку, попередньо розкладеного на елементарні доданки. Для цього була використана програма, наведена у додатку 1.4 до дисертації, яка вміщує підпрограму перемноження поліномів, підпрограму чисельного розв'язання алгебраїчних поліноміальних рівнянь, засновану на методі Хічкока, та підпрограму розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, складену за методом Гауса з вибором головного елемента.

Врахування пружностей та розподіленості мас усіх чотирьох галузей канатів статично зрівноваженої ШПУ дозволяє одержати криві перехідних процесів з характеристиками близькими до реальних. Проте на параметрах перехідних процесів відображується також зміна довжин канатів під час руху ШПУ. Зокрема змінюється тривалість перехідних процесів. Крім того, перехідні процеси у канатах глибоких шахт можуть тривати до кількох хвилин, тому можливе наложення, наприклад, перехідного процесу при сповільненні підйомної машини на незавершений перехідний процес, що почався у період її прискорення. За період рівномірного руху довжини канатів змінюються, що треба враховувати, досліджуючи динаміку ШПУ. Вудуючи цифрову модель, зміну довжин канатів враховуємо на основі переміщення системи в цілому у відповідності до виразу

$$S(t) = \frac{1}{M_1} \int_0^t \int_0^t (F_{iv}^{(k)}(t) + F_{iv}^{(k)}(t) + F_1(t)) dt dt,$$

або, переходячи до від'ємних рівнянь, для k-го кроку обчислень

$$S^{(k)} = S_0^{(k)} + 10S_1^{(k)} + S_2^{(k)},$$

де

$$S_0^{(k)} = (F_1^{(k)} + F_{iv}^{(k)} - F_{iv}^{(k-1)}) / (12m_1) + 2S_1^{(k-1)} - S_2^{(k-1)};$$

$$S_2^{(k)} = S_1^{(k-1)}; \quad S_1^{(k)} = S_0^{(k-1)}.$$

Відповідно, довжини канатів

$$l_1^{(k+1)} = l_1^{(k)} - S^{(k)}; \quad l_2^{(k+1)} = l_2 - l_1^{(k+1)}; \quad l_2^{(k+1)} = l_2 + S^{(k)}; \quad l_3^{(k+1)} = l_3 - l_2^{(k+1)},$$

де $l_3 = l_1^{(k)} + l_3^{(k)} = l_2^{(k)} + l_4^{(k)}$ для кожного k.

На підставі цих величин визначаємо поточні параметри системи

$$\alpha_{11}^{(k)} = m_{0k} / m_1; \quad \alpha_{12}^{(k)} = m_{0k} / m_2 \cdot l_1^{(k)}; \quad \alpha_{22}^{(k)} = m_{0k} / m_2 \cdot l_2^{(k)};$$

$$\alpha_{21}^{(k)} = m_{0k} / m_1 \cdot l_2^{(k)}; \quad \alpha_{23}^{(k)} = m_{0k} / m_3 \cdot l_2^{(k)}; \quad \alpha_{42}^{(k)} = m_{0k} / m_3 \cdot l_4^{(k)};$$

$$\delta_{ki}^{(k)} = \alpha_k \pi / l_i \quad (i = 1 \dots 4),$$

де m_{0k}, m_{0x} - маси одного метра головних та зрівноважувальних канатів; m_2, m_3 - маси кінцевих вантажів, відповідно, m_1

піднімається та що опускається; m_i - зведена до радіуса канатопривідного шківа маса частин, що обертаються; a_k - швидкість розповсюдження пружних деформацій уздовж каната, та усі інші параметри, залежні від цих.

На підставі аналізу визначено, що дотримуючись вимог усталеності для швидко згасаючих складових перехідного процесу та вимог потрібної точності 0,01...0,1% - для повільно згасаючих складових, маємо оптимальну за швидкодією тривалість періоду квантування для довільного положення резальної ШПУ, яка складає 0,01 с. Досліджуючи Ш на невеликій ділянці шляху неприлеглий до крайніх положень підійсних посудин, доцільно визначати оптимальне значення T за пропонуванням у роботі алгоритмом.

Враховуючи зміну зусилля F_i на обводі канатопривідного органу, а також зміну довжин канатів у залежності від переміщення системи, маємо таку загальну послідовність чисельного моделювання об'єкта, що розглядається: 1) введення вихідних значень мас та довжин канатів; 2) визначення періоду квантування T (або встановлення $T=0,01$ с); 3) обчислення значень параметрів розгорнутої дискретної структурної схеми й елементів матричного рівняння; 4) розв'язання матричного рівняння з метою визначення поточного значення зусиль; 5) визначення величини переміщення за час T та нових значень довжин канатів; 6) обчислення значення F_i на наступному кроці; 7) перехід до пункту 3. На конкретних прикладах показана робота цифрової моделі при моделюванні статично зрівноваженої, незрівноваженої двокінцевої та однокінцевої ШПУ. Одержані за допомогою моделі графіки перехідних процесів для зусиль у канатах при трапецеїдальній триперіодній тахограмі показані на рисунках наведених у дисертації. Програма наведена у додатку 1.6 до дисертації.

Однією з основних вимог до САК ШПУ є вимога точної зупинки лідійомної посудини у заданому положенні. В зв'язку з цим в дисертації розроблені та досліджені методи оптимізації роботи ШПУ як системи регулювання положення.

У роботі розглянута триконтурна система регулювання положення робочого органу. Вся являє собою однократно інтегрувчу систему регулювання швидкості підійомної машини, яка має привод системи тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д) з підпорядкованим контуром регулювання струму, до якої додані інтегратор, що формує сигнал переміщення φ , зворотний зв'язок за положенням з коефіцієнтом передачі K_n і регулятор положення. Показано, що в оптимізованому контурі регулювання положення величини переміщення та швидкості у мо-

мент замикання цього контура мають бути обмежені значеннями, при яких струм якоря не досягає граничної величини. Щоб уникнути додаткової похибки регулювання, необхідно ввести обмеження змінних стану системи (швидкості, прискорення, струму). Для здійснення точного відпрацювання завдань по усім змінним стану треба компенсувати інерційність ланок системи з допомогою комбінованого за задавальною дією керування.

Для підвищення динамічної точності САК по завданням та для заглушення пружних коливань у механічній частині ШПУ мають бути розв'язані задачі синтезу додаткових коректуючих дій. Тому в роботі проведені подальші дослідження комбінованих систем підпорядкованого керування шахтним підйомом.

Щоб оцінити вплив додаткових каналів керування по діях завдання швидкості $U_{2,c}$ та струму $U_{2,c}$, що формуються спеціальним БЗП на підставі обмежень швидкості U_m та прискорення ϵ_m , проведено аналіз системи, структурна схема якої показана на рис. 1. Визначено, що коли регулятори струму (РС) та швидкості (РН) вибрані за критерієм модульного оптимуму, а регулятор положення (РП) - за критерієм симетричного оптимуму, перехідний процес, викликаний зміною задавальної дії, буде оптимальним за якістю регулювання.

При аналізі залежності статичної похибки пореміщення $\Delta \varphi_c$ від струму I_c , відповідної величині моменту статичного опору, визначено, що розглянута система має другий порядок астатизму, а отже $\Delta \varphi_c = 0$ як у випадку сталого навантаження, так і у випадку його лінійної зміни у часі.

В канатах ШПУ можуть виникати коливання, які примушують збільшувати тривалість періоду дотягування, тобто знижувати продуктивність установки. Значні динамічні навантаження, породжені цими коливаннями, зменшують довговічність обладнання. Крім того, наявність таких коливань обмежує величини розрахункових прискорень, які застосовуються на ШПУ зі шківми тертя, тому що сумарні кінцеві значення прискорень можуть досягати величин, при яких можливе аварійне прослизання канатів. Через несталість довжин та мас канатів та відсутність зворотного зв'язку за положенням підйомних посудин у стовбурі з допомогою самих регуляторів мінімізувати динамічні навантаження в системі практично неможливо. Тому в роботі запропоновано використати для цього БЗП.

Змінюючи задавальну дію $U_{2,c}$, яку визначає коефіцієнт передачі k_c і яку подають на регулятор струму, за лінійним або ступінчастим законом, залежним від частот коливань у канатах, формують оптимальне

за динамічність керування. В роботі наведена діаграма зміни аусиль для такого керування підйомною установкою, взятою за приклад при дослідженні розробленої цифрової моделі. Порівнюючи діаграми, неважко помітити значне, практично до нуля, зниження коливальності. Оптимальний закон керування був визначений за допомогою цифрової моделі ШПУ.

Відомо, що оптимальні за швидкістю та динамічність тахограми руху ШПУ з урахуванням обмежень можуть виявлятися досить складними та змінюватись у залежності від початкового положення установки й заданого переміщення. В зв'язку з цим, в роботі розроблені та досліджені багатоканальні задавальні пристрої, які автоматично формують та точно реалізують такі тахограми.

При цифровому моделюванні або синтезі цифрових БЗП інтегрувальники подаються у вигляді певних дискретних передавальних функцій. Як показано у роботі, від вигляду передавальних функцій, одержаних за допомогою z-форм, залежить точність чисельного інтегрування. Запропоновано цифровий еквівалент лінійної частини задавального пристрою третього порядку (ЗП-3) (рис.2), яка являє собою три послідовно сполучених інтегратора K_i / p з виходами U_{i-1} при $i=1...3$.

У багатьох випадках оптимальна діаграма швидкості виявляється несиметричною. Для реалізації таких діаграм розроблений ЗП-3, який автоматично формує оптимальну за швидкістю для заданого переміщення діаграму швидкості при довільних несиметричних обмеженнях швидкості, прискорення та ривка. В дисертації докладно описано алгоритм роботи такого ЗП-3, наведена програма, що моделює його роботу, та діаграми зміни вихідних керувальних сигналів.

Для ШПУ має практичний інтерес синтез структури САК з семи-періодною діаграмою швидкості. Така система відрізняється наявністю трьох ділянок руху з постійною швидкістю (V_H, V_M, V_K) та чотирьох ділянок з постійним ненульовим прискоренням (A_H, A_1, A_2, A_K). Структурна схема такої системи, побудованої на основі ЗП-2, показана на рис.3.

Функціональні перетворювачі ФП1...ФП4 реалізують наступні залежності:

ФП1:

$$V^* = \begin{cases} V_H & \text{при } S \leq S_H, S_M > \varepsilon_H + S_K; \\ V_M & \text{при } S_H < S < S_M - S_K, \varepsilon_M > S_H + S_K; \\ V_K & \text{при } S \geq S_M - S_K; S_M \leq S_H + S_K; \end{cases}$$

$$\text{ФПЗ: } a^* = \begin{cases} a_n \text{ при } S \leq S_n, \Delta V \geq 0; \\ a_1 \text{ при } S_n < S < S_m - S_k, \Delta V \geq 0; \\ a_2 \text{ при } S_n < S < S_m - S_k, \Delta V < 0; \\ a_k \text{ при } S \geq S_m - S_k, \Delta V < 0; \end{cases}$$

$$\text{ФПЗ: } S_0 = \begin{cases} S_k + (V_2^2 - V_k^2) / (2a_2) \text{ при } S < S_m - S_k; \\ 0 \text{ при } S \geq S_m - S_k; \end{cases}$$

$$\text{ФПЗ: } S_c = \begin{cases} S_m - S \text{ при } V \leq 0; \\ 0 \text{ при } V > 0; \end{cases}$$

де S_n, S_k, S_m - величини переміщень із зниженою швидкістю на початку і в кінці циклу та задане переміщення.

Реалізація описаної САК на аналоговій елементній базі має певні складнощі з точки зору налаштування та гнучкості системи. Тому такий задавальний пристрій доцільно реалізовувати на базі обчислювальної техніки. При цьому, крім обмежень, до обчислювальної системи подається тільки перетворене у цифровий код справжнє переміщення робочого органа S . В роботі наведені блок-схема алгоритму такої системи, програма, до її моделює, та сформовані нею діаграми для різних значень заданого переміщення.

Формули семіперіоду діаграму швидкості з обмеженням величини рівня, частину алгоритму, яка реалізує ФП-2, замінюємо алгоритмом, який реалізує ФП-3 з несиметричними обмеженнями.

Як було зазначено, створюючи розглянуті задавальні пристрої, доцільно використовувати обчислювальну техніку, зокрема мікропроцесорні засоби. Для САК МПВ покладення функцій програмного керування пристроєм та регуляторів на єдиний обчислювальний пристрій, як правило, виявляється недоцільним. Сільш доцільно здійснювати розробку цифрового керування із здійсненням частин або усіх регуляторів в аналоговому вигляді.

У роботі описано створення мікропроцесорну САК МПВ, призначену для формування керування дії, яка подається на стандартні аналогові регулятори з метою формування оптимальної за швидкістю діаграми швидкості та здійснення точного позиціонування підйомних посудин.

При реалізації мікропроцесорної системи керування для досягнення потрібної точності її роботи необхідно, щоб форма подання операндів обчислень забезпечувала досить малу похибку, утворення із здійсненнями арифметичних операцій. Також необхідно, щоб у випадкових мелях з'являлась похибка дискретизації за часом, для чого повинен мати відповідне значення період квантування T . Комплексне розв'язання цих двох задач зводиться до вибору апаратних засобів та розробки ефек-

тивного алгоритму обчислень.

У зв'язку з цим, алгоритм побудови семиперіодної тахограми було оптимізовано так, щоб усі обчислення, які не залежать від переміщення S , виконувались до початку руху ШПУ. Крім того введенням до алгоритму величин поточних приростів швидкості dV та переміщення dS за період T було мінімізовано похибку, пов'язану з наявністю часу запланування між введенням вхідної інформації та виводом керувально-го сигналу.

Структурна схема розробленої системи складена з блоків керування та обчислень, лічильника імпульсів путі, двох вхідних та двох вихідних логічних портів, порта виводу цифрового сигналу заданої швидкості, який подається на двополярний цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), який формує аналоговий сигнал. Для квантування часу використовуються таймер та вузол переривань. Для збереження керувальної програми та констант призначений постійний запам'ятовувальний пристрій (ПЗП), а для зберігання змінних - оперативний запам'ятовувальний пристрій (ОЗП). До системи також входять блок живлення та блок зв'язку по каналу ІРПС, призначений для обміну інформацією з ЕОМ вищого рівня.

В результаті аналізу припустимих похибок квантування рівня та часу були встановлені значення одиниць молодшого розряду для прискорення, швидкості та переміщення, потрібні розрядності ЦАП та лічильника імпульсів путі, а також величин, що фігурують в обчисленнях, на підставі можливого діапазону їх значень. Період квантування T може знаходитись у межах від 0,01 до 0,05 с та приймати, у загальному випадку, чотири значення за цикл підйому у відповідності до значень прискорень.

Для реалізації мікропроцесорної керувальної системи використаний серійний мікропроцесорний контролер (МК) "Електроніка MC2721". В роботі показана функціональна схема розробленої системи. Три наявних таймера використані, відповідно, для завдання періоду квантування, для рехування імпульсів путі та для завдання опорної частоти каналу зв'язку ІРПС, або для перетворення напруга-частота при використанні аналогового зворотного зв'язку по швидкості. В роботі наведена функціональна схема пристрою сполучення МК з аналоговими регуляторами електропривода ШПУ та технологічною схемою керування шахтним підйомом.

Основний алгоритм роботи системи починається з введення до ОЗУ параметрів тахограми в один із трьох можливих способів: з пульта керування МК, по каналу ІРПС чи з ПЗП. Потім обчислюються сталі для

даного циклу підйому величини та ініціалізуються пристрої МК. Після надходження сигналу "Пуск" запускається таймер завдання періоду T , та починається циклічне виконання вводу поточного значення S на дисплей пульта керування МК або у канал ІРС. Вивід значення S припиняється, коли надходить запит на переривання.

По перериванню, яке ініціюється таймером завдання T , здійснюються считування значення S з лічильника, обчислення та видача сигналу завдання швидкості на ЦАП. Друге переривання ініціюється таймером, який виконує функцію лічильника путьових імпульсів, коли він переповнюється. Програма обробки цього переривання інкрементує старший байт трибайтного слова величини пройденої путі, який розміщений в ОЗП.

Під час роботи системи за описаним алгоритмом використовуються спеціально розроблені максимально швидкодійні при потрібній точності підпрограми арифметичних дій для операндів різних розмірностей, підпрограми перетворення даних в двійково-десятькової форми у двійкову та навпаки, котрі використовуються для вводу даних в клавіатури пульта керування МК та виводу чисельних даних на дисплей у вигляді десяткових чисел. Крім того, для контролера і для ІЕМ сумісної ЕОМ розроблені підпрограми, які забезпечують обмін даними по каналу ІРС.

Розроблена мікропроцесорна система оптимального керування ШТУ була досліджена на лабораторному стенді. У роботі наведені осцилограми швидкості обертання двигуна для різних завдань переміщення при різних параметрах тахограми для випадків системи ТП-Д без регуляторів та ТП-Д у системі підпорядкованого регулювання швидкості та струму. Показання лічильника імпульсів під час експерименту відображаються на дисплеї пульта керування мікроконтролера.

Експериментальні дослідження показали, що тривалості періодів діаграм швидкості співпадають з розрахунковими для різних обмежень і форм цих діаграм. При цьому контрольоване за показаннями лічильника путьових імпульсів відхилення відпрацьованого переміщення від заданого для системи підпорядкованого керування не перевищує 1 - 2 путьових імпульси, тобто не більше 0,02 м. Точність відпрацювання діаграм швидкості у період сповільнення значною мірою залежить від величини коефіцієнта компенсації відхилення реальної діаграми від ідеальної K_f .

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Розроблено цифрову модель статично зрівноваженої ШТУ, в якій

враховані пружності усіх чотирьох галузей канатів та зміна параметрів установки при переміщенні вантажів. Ця модель має високу точність при максимальній швидкодії і дозволяє досліджувати на ЕОМ динаміку роботи всяких систем шахтного підйому, визначати параметри оптимальних законів керування з урахуванням взаємного впливу перехідних процесів, що проходять в усіх чотирьох галузях канатів та починаються у різні періоди циклу підйому при різних положеннях ШПУ.

2. Досліджено САК ШПУ як систему керування положенням з підпорядкованими контурами регулювання координат струму та швидкості. Показано, що в момент замикання контура положення величини переміщення та швидкості не повинні перевищувати певних граничних значень, тобто діаграма швидкості має відпрацьовуватись з досить високою точністю.

3. Показано, що застосовуючи комбіноване керування положенням робочого органу в системі підпорядкованого регулювання координат і вибравши відповідні регулятори, можна практично повністю скомпенсувати сталі часу системи. Таким чином, за допомогою додаткових каналів регулювання реально замкнута система за своїми властивостями наближається до безінерційної ланки.

4. Розроблено функціональну та алгоритмічну структури багатоканального задавального пристрою третього порядку, який формує оптимальну для заданого переміщення тахограму з довільними несиметричними обмеженнями координат. Розроблено методику чисельного моделювання такого ЕЗП, яка разом з цифровими моделями механічної частини ШПУ та систем електропривода дозволяє досліджувати на ЕОМ роботу комбінованих САК шахтним підйомом.

5. Запропоновано спосіб оптимізації керування ШПУ за динамічними навантаженнями з допомогою багатоканальних задавальних пристроїв шляхом безпосереднього керування координатою струму по відповідному закону, який виключає або значно знижує коливальність перехідних процесів у підйомних канатах.

6. Розроблено структуру й алгоритм функціонування цифрового задавального пристрою, який формує оптимальну за швидкістю для заданого переміщення семіперодну тахограму та забезпечує високу точність регулювання положення підйомних посудин. Система електропривода підпорядкованого регулювання з робочим органом у деяких випадках розглядається як один з інтеграторів задавального пристрою. На підставі даних імпульсного датчика переміщення здійснюється робота системи за алгоритмом.

7. Розроблено та випробувано мікропроцесорну цифроаналогову оптимальну САК положенням підйомних посудин, яка дозволяє підвищити

ДІД ім. В. Стефанів
Київ, Україна

продуктивність шахтного підйому, довговічність обладнання та зручність в обслуговуванні. Очікуваний економічний ефект від впровадження системи складає 444042,73 тис. крб. на рік у цінах на 1.10.93 р.

8. Результати проведених досліджень використовуються на кафедрі АПІ при проведенні наукових робіт, а також у навчальному процесі.

Основні положення дисертації опубліковані у наступних роботах:

1. Лисовский В.С., Гуманюк Я.М. Снижение энергопотребления шахтными подъемными установками//Горная электромеханика и автоматика. 1989. - №55. - С.7-9.

2. Чермалых В.М., Тышевич Б.Л., Гуманюк Я.М. Многоканальное задающее устройство с несимметричными диаграммами управляющих сигналов// Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика, 1989, вып.20. - С.3-7.

3. Пермяков В.Н., Гуманюк Я.М., Шуляк А.А., Джагут З. Выбор математической модели статически уравновешенной шахтной подъемной установки как единой электромеханической системы//Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика, 1991. Вып.22. - С.19-26.

4. Пермяков В.Н., Козьякова Л.А., Гуманюк Я.М., Джагут З. Расчет параметров и исследование режимов асинхронного привода с тиристорным регулятором тока ротора//Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика, 1991. Вып.22. - С.13-19.

5. Чермалых А.В., Гуманюк Я.М., Джагут З. Микропроцессорная система оптимального управления шахтной подъемной установкой//Деп. в УкрНИИТИ 08.06.91, №44. Ук. 91. - 9 с.

6. Гуманюк Я.М., Чермалых А.В., Шуляк А.А. Построение микропроцессорной системы управления позиционным электроприводом с подчиненными контурами регулирования координат//Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика, 1992. Вып. 23. - С.8-13.

7. Гуманюк Я.М., Тышевич Б.Л., Чермалых А.В. Моделирование и оптимизация управления подъемными установками глубоких шахт// Тезисы докладов одиннадцатой международной конференции по автоматизации в горном деле. - Екатеринбург, ISAMC, 1992. - С.25,26.

8. Чермалых В.М., Гуманюк Я.М. Моделирование динамики подъемных установок глубоких шахт//Вісн. Київ. політехн. ін-ту. Гірн. електромеханіка й автоматика, 1993, вип.24. - С.3-13.

9. Гудзь Ю.В., Чермалых О.В., Тышевич Б.Л., Гуманюк Я.М. Побудова микропроцессорної системи керування позиційним електроприводом// Вісн. Київ. політехн. ін-ту. Гірн. електромеханіка й автоматика, 1993, вип.24. - С.13-20.

KHI 31.01.94.30.83-100.

116078

AB 29.307

AB 29.307