

УДК 621.3.078.4

Каганюк О.К. к.т.н. доц.

Луцький національний технічний університет

## РІВНЯННЯ НЕКЕРОВАНОГО РУХУ ВУГЛЕВИДОБУВНИХ МАШИН

**Каганюк О.К. Рівняння некерованого руху вуглевидобувних машин.** Одним з основних шляхів підвищення продуктивності праці і інтенсифікації виробництва є автоматизація технологічних процесів, впровадження промислових роботів і маніпуляторів. Інтенсифікація видобутку вугілля без постійної присутності людей в забої висувають нові вимоги до рішення сучасних систем автоматичного управління забійним устаткуванням.

Однією з важливих підсистем управління є автоматичне управління вуглевидобувним комбайном у вугільному пласту.

**Ключові слова:** Система автоматичного керування, профіль пласта, безлюдна виїмка вугілля

**Kaganiuk A.K. The equation of motion uncontrolled mining machinery.** One of the main ways to increase productivity and intensification of production is automation of technological processes, implementation of industrial robots and manipulators. Intensification of coal without the constant presence of people in the mine put forward new requirements for modern solution Automatic Control Systems slaughter equipment.

One of the major subsystems of management control is automatically Mining equipment in coal seams.

**Keywords:** Automatic control layer profile, lonely dredging coal

**Каганюк А.К. Уравнения нерегулируемого движения угледобывающими машинами.** Одним из основных путей повышения производительности труда и интенсификации производства есть автоматизация технологических процессов, внедрение промышленных роботов и манипуляторов. Интенсификация добычи полезного ископаемого без постоянного присутствия людей в забое, выдвигает новые требования по совершенствованию современных систем автоматического управления угледобывающими комбайнами. Одной из наиболее важной подсистем есть подсистема управления угледобывающими комбайнами в профиле пласта

**Ключові слова:** Система автоматичного керування, профіль пласта, безлюдна виїмка вугілля

Одним з основних шляхів підвищення продуктивності праці і інтенсифікації виробництва є автоматизація технологічних процесів, впровадження промислових роботів і маніпуляторів.

**Актуальність** цієї статті полягає в тому, що з пошуком альтернативних джерел енергії, стає необхідним займатися розробкою вугільних сховищ, побудовою систем автоматичного управління вугільним комбайнами з використанням нових технологій і можливостей швидкого впровадження систем автоматичного управління вугільними комбайнами.

**Проблеми** інтенсивного і високопродуктивного видобутку вугілля без постійної присутності людей в забої висувають нові вимоги до рішення сучасних систем автоматичного управління забійним устаткуванням.

Однією з важливих підсистем управління є автоматичне управління вуглевидобувним комбайном у вугільному пласту. Досі це завдання не вирішене, що ставить неможливим виведення машиніста із забою. Необхідність постійно стежити за процесом різання і положенням різальних елементів обумовлює перебування машиніста комбайна в зоні підвищеної небезпеки.

На рішення цієї задачі були спрямовані зусилля великої кількості вчених і наукових колективів, які в радянські часи працювали над створенням систем автоматичного управління вугільними комбайнами не лише в Україні, але і в інших країнах світу.

Розглянемо управління об'ємної моделі об'єкту при переміщенні цієї моделі в повздовжньому напрямі. Для складання рівняння руху моделі використовуємо траєкторію руху утворюючої точки С робочого елемента цієї моделі некерованої машини в повздовжньому напрямі.

З урахуванням прийнятих допущень, об'ємна модель об'єкту представлена на рис. 1.

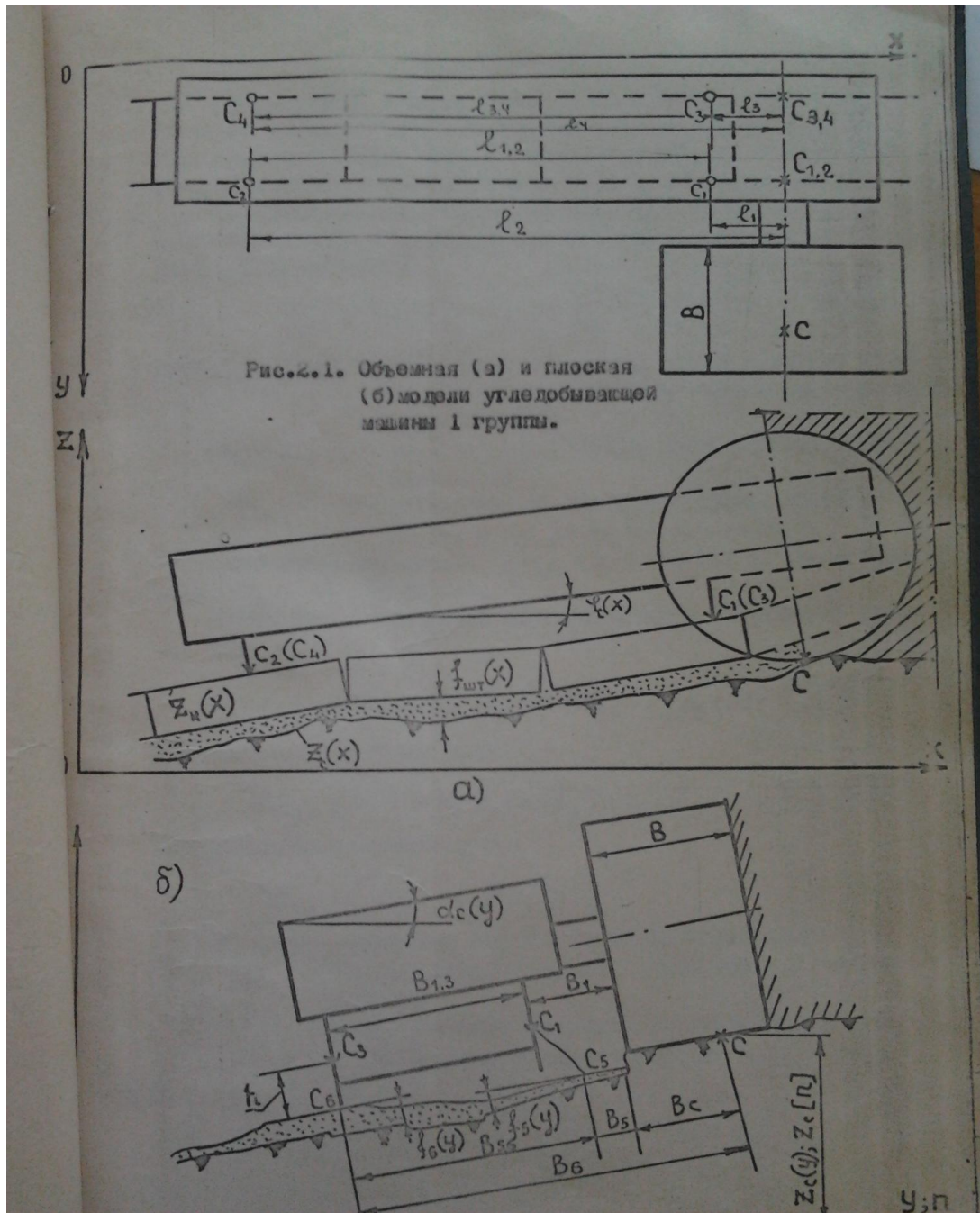


Рис. 1

Розглянемо варіант побудови моделі, коли забійні опори  $C_1, C_2$ ; завальні  $C_3, C_4$  обладнані зворотними тримачами і кінематично не пов'язаних між собою.

Оскільки усі опори обладнані зворотними тримачами, то для безперешкодного руху машини по конвєсу повинна виконуватися умова:

$$\frac{Z_{C_1}^K(x) - Z_{C_2}^K(x)}{l_{1,2}} = \frac{Z_{C_3}^K(x) - Z_{C_4}^K(x)}{l_{3,4}} \quad (1)$$

де  $Z_{C_{1,2,3,4}}^K(x)$  — координати відповідні забійного і завального бортів конвєсу;

$l_{1,2}, l_{3,4}$  — відстані між опорами  $C_1$  і  $C_2, C_3$  і  $C_4$ .

Проте в переважній більшості випадків рівняння (1) не виконується. У наслідку цього і наявності обмежених проміжків в опорах відбувається заклинювання такого об'єкту, що призводить до появи додаткових навантажень на конвеєр. При цьому об'єкт стає неприцездатним.

Розглянемо об'ємну модель, коли опори  $C_3, C_4$  обладнані зворотними тримачами, а забійні опори  $C_1, C_2$  не мають їх і опори кінематично не пов'язані між собою.

Умова безперервного ковзання опор  $C_1$  і  $C_2$  по борту конвеєра виражається рівнянням (1), яке може бути виконане тільки в окремих випадках. Звідси витікає невизначеність в положенні опор  $C_1$  і  $C_2$  на борту конвеєра.

Невизначеність в положенні опор  $C_1$  і  $C_2$  машини породжує невизначеність положення робочого елемента. З урахуванням невеликих кутів можна записати:

$$Z_C(x) = Z_{C_{3,4}}(x) + B_6 \cdot \alpha_C(x) \quad (2)$$

де  $Z_{C_{3,4}}(x)$  — узагальнена координата центру повороту робочого елемента в поперечній площині, що проходить через точку  $C$ ;

$\alpha_C(x)$  — кут нахилу робочого елемента в поперечній площині;

$B_6$  — відстань від завального борту конвеєра (точки  $C_{3,4}$  і  $C_6$ ) до утворюючої точки  $C$ .

Узагальнена координата  $Z_{C_{3,4}}(x)$  залежить від розташування опор  $C_3$  і  $C_4$  на машині.

Тоді при розташуванні утворюючої точки  $C$  робочого елемента поза опорами  $C_3$  і  $C_4$  маємо наступні співвідношення:

$$Z_{C_{3,4}}(x) = K_3 \cdot Z_K(x - l_3) - K_4 \cdot Z_K(x - l_4) \quad (3)$$

при розташуванні між опор

$$Z_{C_{3,4}}(x) = K_3 \cdot Z_K(x + l_3) - K_4 \cdot Z_K(x - l_4) \quad (4)$$

при розташуванні проти опор

$$Z_{C_{3,4}}(x) = Z_K(x) \quad (5)$$

де  $Z_K(x)$  — координати завального борту конвеєра;

$x$  — поточна координата утворюючої точки робочого елемента;

$l_3$  — геометричний параметр, що враховує розташування опори  $C_3$  відносно точки  $C$ ;

$Z_K(x - l_3); Z_K(x + l_3)$  — координати  $Z_{C_3}(x)$  опори  $C_3$ ;

$Z_K(x - l_4)$  — координати  $Z_{C_4}(x)$  опори  $C_4$ ;

$K_3, K_4$  — коефіцієнти, що враховують взаємне розташування опор  $C_3, C_4$  і утворюючої точки  $C$  причому :

$$K_3 = \frac{l_4}{l_{3,4}}, K_4 = \frac{l_3}{l_{3,4}} \text{ — для рівняння (3)}$$

$$K_3 = \frac{l_4}{l_{3,4}}, K_4 = -\frac{l_3}{l_{3,4}} \text{ — для рівняння (4) і}$$

$$K_3 = 1, K_4 = 0 \text{ — для рівняння (5).}$$

Провівши заміну змінних ( $t = \frac{x}{v_n}$ ) і застосувавши перетворення Лапласа за нульових

початкових умов, для загального випадку отримуємо:

$$Z_{C_{3,4}}(p) = K_3 \cdot Z_K(p) \cdot e^{-\tau_3 p} - K_4 \cdot Z_K(p) \cdot e^{-\tau_4 p} \quad (6)$$

де  $v_n$  — швидкість руху машини по конвеєру;

$$\tau_3 = \frac{l_3}{v_n}, \tau_4 = \frac{l_4}{v_n} \text{ — при розташуванні утворюючої точки С поза опорами;}$$

$$\tau_3 = -\frac{l_3}{v_n}, \tau_4 = \frac{l_4}{v_n} \text{ — при розташуванні утворюючої точки С між опорами;}$$

$$\tau_3 = 0, \tau_4 = \frac{l_4}{v_n} \text{ — при розташуванні утворюючої точки С проти опори С}_3.$$

Кут нахилу робочого органу в поперечній площині у разі опор, жорстко пов'язаних з корпусом машини, визначається нахилом секцій конвеєра під опорами  $C_1$  і  $C_3$  або  $C_2$  і  $C_4$  по рівняннях :

$$\alpha_c(p) = \alpha_k(p) \cdot e^{-\tau_3 p} \quad (7)$$

при

$$\varphi_{1,2}(p) = \frac{Z_{C_1}^K(p) - Z_{C_2}^K(p)}{l_{3,4}} \geq \frac{Z_{C_3}^K(p) - Z_{C_4}^K(p)}{l_{3,4}} \quad (8)$$

і

$$\alpha_c(p) = \alpha_k(p) \cdot e^{-\tau_4 p} \quad (9)$$

при

$$\varphi_{1,2}(p) \langle \varphi_c(p) \quad (10)$$

де  $\varphi_c(p)$  — оператор, що характеризує кут траєкторії робочого елемента в повздовжньому напрямі;

$\varphi_{1,2}(p)$  — оператор, що характеризує нахил уявної лінії, що сполучає точки конвеєра під опорами  $C_1$  і  $C_2$ ;

$Z_{C_{1,2,3,4}}^K$  — оператори, що характеризують положення бортів конвеєра під опорами  $C_{1,2,3,4}$ ;

$\alpha_k(p)$  — оператор, що характеризує кутове положення конвеєра в поперечному напрямі.

З виразу (8) виходить, що

$$\varphi_c(p) = \frac{e^{-\tau_3 p} - e^{-\tau_4 p}}{l_{3,4}} Z_K(p) \quad (11)$$

Підставимо рівняння (6) і (7), (9) в перетворений по Лапласу вираз (2), отримаємо:

$$Z_C(p) = (K_3 \cdot e^{-\tau_3 p} - K_4 \cdot e^{-\tau_4 p}) \cdot Z_K(p) + B_6 \cdot \alpha_k(p) \cdot e^{-\tau_3 p} \quad (12)$$

при  $\varphi_{1,2}(p) \geq \varphi_c(p)$  і

$$Z_C(p) = (K_3 \cdot e^{-\tau_3 p} - K_4 \cdot e^{-\tau_4 p}) \cdot Z_K(p) + B_6 \cdot \alpha_k(p) \cdot e^{-\tau_4 p} \quad (13)$$

при  $\varphi_{1,2}(p) \langle \varphi_c(p)$ ,

де коефіцієнти  $K_3, K_4$  і запізнення  $\tau_3, \tau_4$  слід брати відповідно до розташування робочого елемента відносно опор машини (див. рівняння, наведені вище).

З рівнянь (7), (9), (13) випливає, що в загальному випадку кожна з вихідних змінних об'єкту  $Z_C(p)$  і  $\alpha_c(p)$  визначається величинами двох вхідних змінних  $Z_K(p)$  і  $\alpha_k(p)$ . Такий об'єкт є взаємозв'язним.

Відповідно до теореми багатозв'язного регулювання [1] виділимо в нашому об'єкті прямі або сепаратні канали передачі дії і перехресні зв'язки, в яких дія одного сепаратного каналу прикладена до іншого.

У загальному випадку в об'єктах, що розглядаються нами, можна виділити три сепаратні канали і не менше двох перехресних прямих або зворотних зв'язків. Прямий перехресний зв'язок

передає дії з одного сепаратного каналу на інший в напрямі, співпадаючому з напрямом передачі сигналів сепаратними каналами. У зворотному перехресному зв'язку ці напрями протилежні.

Домовимося передавальні функції сепаратних каналів означати далі  $W$ , прямих перехресних зв'язків - через  $M$ , а зворотних - через  $L$ .

Залежності  $Z_c(p) = f_k[Z_k(p)]$  і  $\alpha_c(p) = f_k[\alpha_k(p)]$  характеризують сепаратні канали об'єкту, а залежності  $Z_c(p) = f_\alpha[\alpha_k(p)]$ ,  $\alpha_c(p) = f_k[Z_k(p)]$ ,  $\varphi_c(p) = f_k[Z_k(p)]$  і  $\varphi_c(p) = f_\alpha[\alpha_k(p)]$  — природні перехресні зв'язки.

Введемо наступні позначення для передавальних функцій сепаратних каналів об'єкту і його перехресних зв'язків :

$W_{zz}(p) = \frac{Z_c(p)}{Z_k(p)}$  — власна передавальна функція сепаратного каналу вертикальної координати

об'єкту;

$W_{\alpha\alpha}(p) = \frac{\alpha_c(p)}{\alpha_k(p)}$  — власна передавальна функція сепаратного каналу кутової координати

об'єкту в поперечному напрямі;

$W_{\varphi\varphi}(p) = \frac{\varphi_c(p)}{\varphi_k(p)}$  — власна передавальна функція сепаратного каналу кутової координати

об'єкту в повздовжньому напрямі;

$M_{\alpha z}(p) = \frac{\alpha_c(p)}{Z_k(p)}$  — передавальна функція перехресного зв'язку першого каналу з другим

(невласна передавальна функція сепаратного каналу кутової координати об'єкту в поперечному напрямі);

$M_{z\alpha}(p) = \frac{Z_c(p)}{\alpha_k(p)}$  — невласна передавальна функція сепаратного каналу вертикальної

координати об'єкту;

$M_{\varphi z}(p) = \frac{\varphi_c(p)}{Z_k(p)}$  — невласна передавальна функція сепаратного каналу кутової координати

об'єкту в подовжньому напрямі по дії  $Z_k(p)$ ;

$M_{\varphi\alpha}(p) = \frac{\varphi_c(p)}{\alpha_k(p)}$  — те ж, але по дії  $Z_k(p)$ .

Тут  $\varphi_k(p)$  — оператор, що характеризує кутове положення конвеєра в повздовжньому напрямі. Проте дія  $\varphi_k(p)$  являється похідною від  $Z_k(p)$ . У зв'язку з цим  $\varphi_k(p)$  і в окремому випадку в розрахунках не бере участь, а тому  $W_{\varphi\varphi}(p), W_{z\varphi}(p), W_{\varphi\alpha}(p)$  рівні 0.

Багатозв'язний об'єкт зручно описувати як матричний функціональний блок, який відповідає залежності кожного виходу об'єкту від кожного його входу. Причому, число рівнянь матричного блоку дорівнює числу виходів об'єкту.

Запишемо рівняння матричного блоку :

$$Z_c(p) = W_{zz}(p) \cdot Z_k(p) + M_{z\alpha}(p) \cdot \alpha_k(p) \quad (14)$$

$$\alpha_c(p) = W_{\alpha\alpha}(p) \cdot \alpha_k(p) + M_{\alpha z}(p) \cdot Z_k(p) \quad (15)$$

$$\varphi_c(p) = W_{\varphi z}(p) \cdot Z_k(p) + M_{\varphi\alpha}(p) \cdot \alpha_k(p) \quad (16)$$

Тоді передавальна матриця об'єкту буде рівна:

$$W_{\sigma\delta}(p) = \begin{vmatrix} W_{zz}(p) & M_{z\alpha}(p) & 0 \\ M_{\alpha z}(p) & W_{\alpha\alpha}(p) & 0 \\ M_{\varphi z}(p) & M_{\varphi\alpha}(p) & 0 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Об'єкти даної групи не мають зворотних перехресних зв'язків, і тому вони не входять в приведену передавальну матрицю. Вхідними і вихідними сигналами матричної ланки є вектори відповідно входу і виходу.

Для цього варіанту передавальні функції матриці (1) рівні:

$$W_{zz}(p) = K_3 \cdot e^{-\tau_3 p} - K_4 \cdot e^{-\tau_4 p} \quad (18)$$

$$W_{\alpha\alpha}(p) = \begin{cases} e^{-\tau_3 p} & \varphi_{1,2}(p) \geq \varphi_c(p) \\ e^{-\tau_4 p} & \varphi_{1,2}(p) < \varphi_c(p) \end{cases} \quad (19)$$

$$M_{\alpha z}(p) = 0 \quad (20)$$

$$M_{z\alpha}(p) = \begin{cases} B_6 \cdot e^{-\tau_3 p} & \varphi_{1,2}(p) \geq \varphi_c(p) \\ B_6 \cdot e^{-\tau_4 p} & \varphi_{1,2}(p) < \varphi_c(p) \end{cases} \quad (21)$$

$$M_{\varphi z}(p) = \frac{e^{-\tau_3 p} - e^{-\tau_4 p}}{l_{3,4}} \quad (22)$$

$$M_{\varphi\alpha}(p) = 0 \quad (23)$$

Висновки:

Розглянуті об'єкти є багатозв'язними і характеризуються чотирма ненульовими передавальними функціями. Оскільки кожна з передавальних функцій (13) - (22) є пропорційною ланкою, а перехресні зв'язки в об'єкті тільки прямі, то увесь об'єкт, як матрична ланка, є стійким. Проте, параметри цього об'єкту змінні, оскільки  $W_{\alpha\alpha}(p)$  і  $W_{z\alpha}(p)$  залежать від значень  $\varphi_{1,2}(p)$ . Наявність змінної структури дещо ускладнює управління таким об'єктом і вимагає введення в систему управління додаткових корегуючи ланок, які будуть розглянуті в наступних статтях.

1. Морозовский В.Т. Многосвязанные системы автоматического регулирования. Энергия, М., 1970г.
2. Картавий Н.Г., Шаев Л.В. Серов В.А. Расположение рабочих органов угледобывающих комбайнов относительно опор. Горные машины и автоматика, №10 «Недра», М. 1966г.
3. [WWW.COAL.IN.UA](http://www.coal.in.ua) .
4. MiningWiki Шахтерская энциклопедия.
5. <http://rozrobkinauchni.vsocorh.org>.