

танційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів синтезовані зображення мають більш високу якість та збільшену інформативність порівняно з первинними знімками.

Під час вейвлет-оброблення зображень варто враховувати, що попередня обробка підвищує ступінь схожості первинних та синтезованих зображень, а для підвищення інформативності зображень слід використовувати вейвлети Добеші високих порядків, наприклад, четвертого порядку, бо порівняно з вейвлетами Добеші першого порядку їх використання забезпечує найкращі показники інформативності синтезованих зображень.

Результати можуть бути застосовані для оброблення видової інформації дистанційного зондування Землі з аерокосмічних носіїв, зокрема і в процесі попереднього оброблення супутникових космічних знімків лісових пожеж, що прискорює і робить більш якісним процес розпізнання джерела лісової пожежі людиною-оператором.

### Література

1. Дремін І.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремін, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. , 171, № 5–С. 465-501.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике : пер. с англ. / К. Шеннон. – М. : Изд-во "Наука", 1963. – 830 с.
3. Кравец О.В. Вейвлет – технологии преобразования цифровых сигналов в обработке данных ДЗЗ / О.В. Кравец, В.М. Корчинский, Д.К. Мозговой // Передовые космические технологии на благо человечества : матер. 2-ой Междунар. конф., апрель, 2009 г. – Днепропетровск : ГП "КБ "Южное", Национальное космическое агентство Украины. – 2009. – С. 23-24, 103.
4. Кравец О.В. Підвищення інформативності даних ДЗЗ / О.В. Кравец, В.М. Корчинський, Д.К. Мозговой // Людина і космос : матер. XI-ої Міжнар. наук.-практ. конф. квітень, 2009 р. – Дніпропетровськ : Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О.М. Макарова. – 2009. – С. 483.
5. Гречищев А.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / А.В. Гречищев, Ю.А. Лихачев // Ежегодный обзор. – М. : ГИС-Ассоциация, 1999. – Вып. 4 (1998). – С. 83-92.
6. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование / В.П. Цымбал. – К. : Вид-во "Либідь", 1977. – 288 с.
7. Kravets O.V. Wavelet Transform in remote sensing data processing / O.V. Kravets, D.K. Mozgovoy // The VII Students' Scientific Conference "Engineer of the 3rd Millennium". May, 2009, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan: Abstracts – 2009. – Pp. 49-50.
8. Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, and E.P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. – 2004. – Vol. 13. – Pp. 600-612.

### **Вершигора В.Г., Гусак Е.М. Применение методики вейвлет-анализа для обработки спутниковых снимков лесных пожаров**

Оценена возможность применения вейвлет-технологий обработки цифровых сигналов. Рассмотрен алгоритм повышения информативности видовых данных дистанционного зондирования Земли на основании вейвлет-технологий обработки цифровых сигналов. Применение описанной методики способствует повышению эффективности операторской деятельности по распознаванию объектов на космических снимках, в частности эпицентров лесных пожаров.

**Ключевые слова:** вейвлет-технологии, алгоритм вейвлетного преобразования, распознавание образов, индекс структурного сходства, информационная энтропия изображений, спутниковые снимки.

### **Vershygora V.G., Husak H.M. Application methods wavelet analysis for processing satellite shots forest fires**

The paper evaluated the possibility of using wavelet technology processing digital signals. The algorithm more informative generic remote sensing data based on wavelet technology processing digital signals. The described technique improves the efficiency of operator activity in discerning the objects in satellite images, including epicentres of forest fires.

**Keywords:** wavelet technology, algorithm of wavelet transform, pattern recognition, index structural similarity, information entropy images, satellite images.

УДК 622.67:534.11

Викл. Л.В. Семчук, канд. техн. наук –  
ДНВЗ "Червоноградський гірничо-економічний коледж"

### **ВПЛИВ ПРУЖНО-ІНЕРЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАНАТА НА ДИНАМІКУ ШАХТНИХ ПІДЙІМАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Запропоновано математичну модель режимів пуску шахтної підйімальної установи з урахуванням пружно-інерційних властивостей каната. Рівняння руху системи записано на основі застосування дискретної розрахункової моделі зі змінними пружно-інерційними параметрами. Враховано електромагнітні явища в асинхронному двигуні. Наведено результати числової реалізації побудованої моделі залежно від глибини шахти і числа ланок.

**Ключові слова:** математична модель, рівняння руху, шахтна підймальна установка, підймальний канат, пружно-інерційні властивості.

**Загальна характеристика проблеми і постановка задач дослідження.** Аналіз основних тенденцій розвитку шахтних підйімальних установок показує, що перспективними напрямками їх вдосконалення є: збільшення висоти піднімання, зростання швидкості руху підйімальних посудин, збільшення вантажності. Існує необхідність зменшення періоду циклу піднімання, який складається з часових інтервалів пуску, усталеного руху, гальмування і пауз [3].

Багато шахт працює на глибинах понад 1000 м. Маса віток канатів таких установок є цілком сумірною з масами підйімальних посудин і становить понад 10 т. Це свідчить про істотний вплив інерційних сил, викликаних рухом каната, на загальну характеристику динамічних процесів. У математичній моделі підйімальної установки необхідно врахувати також несталість довжин робочих віток каната.

**Аналіз відомих досліджень.** Основи динаміки шахтних підйімальних установок заклав академік М.М. Федоров [10] і досліджували у працях акад. Г.Н. Савін [2] і професора Ф.В. Флоринський [11].

Одним з основних етапів дослідження є складання розрахункових схем. Реальні гірничі машини відрізняються складністю розподілу мас. Маси шківів, барабанів, кліток можна розглядати як зосереджені (дискретні), а масу підйімального каната прийнято розглядати як розподілену. Це призводить до застосування складних континуально-дискретних розрахункових моделей, які одночасно включають як розподілені, так і дискретні маси. Складність відомих методів розрахунку вимушених коливань [1, 6] утруднює широке застосування континуально-дискретних розрахункових моделей в інженерній

практиці. Тому в дослідженнях динамічних процесів нерідко застосовують спрощені моделі з обмеженим числом ступенів вільності [8, 13].

Серед наукових проблем динаміки та міцності гірничих машин і механізмів особливе місце відводиться дослідженням динамічних явищ у шахтних підймальних канатах, як найбільш відповідальних і важливих елементах підймальних машин. Правильне добирання мінімально необхідного діаметра підймального каната – важливий етап з огляду як на безпеку експлуатації, так і на економність всієї шахтної підймальної установки [2, 3, 10].

Основний матеріал. Побудована в попередній статті [13] математична модель і алгоритм розрахунку неусталених режимів роботи привідної системи шахтної підймальної установки з урахуванням пружно-інерційних властивостей каната, довжина вітки якого змінюється залежно від координати руху барабана, а також взаємозв'язку електромагнітних і механічних коливальних явищ. Модель включає рівняння руху пружної механічної системи зі змінними пружно-інерційними характеристиками елементів, а також рівняння електромагнітних явищ в асинхронному двигуні.

Розрахункова схема шахтної підймальної установки (рис. 1) включає дві підймальні посудини масами  $m_1$  і  $m_2$ , що утримуються за допомогою віток каната з початковими довжинами  $l_{01}$  і  $l_{02}$ . Одна з віток каната намотується на привідний барабан, а інша – розмотується. Підймальні посудини масами  $m_1$  і  $m_2$  переміщуються у напрямках координат  $x_1$  і  $x_2$  відповідно. Першу вітку каната розбиваємо на  $p$  ділянок однакової довжини  $l = l_{01}/n$ , а її розподілену масу подаємо у вигляді зосереджених на межах ділянок точкових вантажів  $m_i = p \cdot l$  ( $p$  – погонна маса каната). Другу вітку каната моделюємо однією ділянкою, оскільки її довжина на початку перехідного процесу є значно меншою, порівняно з довжиною першої вітки. Довжини частин каната, що прилягають до привідного барабана змінюються з часом і визначаються як функції координати руху барабана

$$l_{11} = l - r_3 \cdot \varphi_3, \quad l_{21} = l_{02} + r_3 \cdot \varphi_3.$$

Маси цих частин

$$m_{11} = p \cdot l_{11}, \quad m_{21} = p \cdot l_{21}.$$

Барабан приводиться в рух за допомогою електродвигуна, що розвиває момент  $M_E$ , та редуктора.

На рис. 1 позначено:  $I_1, I_2, I_3$  – зведені до барабана моменти інерції ротора двигуна, обертових частин редуктора і момент інерції привідного барабана;  $c_1, v_1$  – зведені до барабана жорсткість і коефіцієнт дисипації муфти, що з'єднує двигун зі швидкохідним валом редуктора;  $c_2, v_2$  – жорсткість і коефіцієнт дисипації з'єднання тихохідного вала редуктора і привідного барабана;  $c_{1i}, v_{1i}, c_{21}, v_{21}$  – жорсткості та коефіцієнти дисипації робочих частин віток каната;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, x_{1i}, x_{21}$  – зведена координата руху ротора двигуна, та координати руху веденого вала редуктора, привідного барабана, точкових вантажів, що моделюють канат, і підймальних посудин.

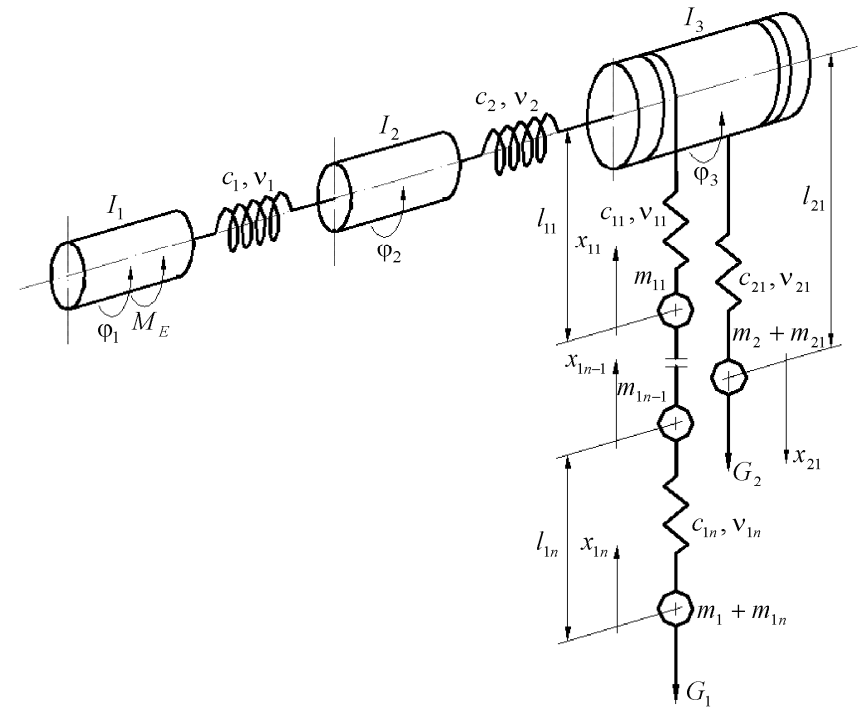


Рис. 1. Розрахункова схема шахтної підймальної установки

Диференціюючи вирази кінетичної (2-[13]) і потенціальної (4-[13]) енергії, записані у статті [13], та підставляючи отримані залежності в рівність (1-[13]), отримуємо рівняння руху:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_1 &= \frac{1}{I_1} [M_E - v_1(\omega_1 - \omega_2) - c_1(\varphi_1 - \varphi_2)]; \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{I_2} [-c_1(\varphi_2 - \varphi_1) - c_2(\varphi_2 - \varphi_3) - v_1(\omega_2 - \omega_1) - v_2(\omega_2 - \omega_3)]; \\ \dot{\omega}_3 &= \frac{1}{I_3} [-c_2(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{E \cdot A}{2} \cdot \frac{2 \cdot r_3(r_3\varphi_3 - x_{11}) \cdot (l - r_3\varphi_3) + (r_3\varphi_3 - x_{11})^2 r_3}{(l - r_3\varphi_3)^2} - \\ &\quad - \frac{E \cdot A}{2} \cdot \frac{2 \cdot r_3(r_3\varphi_3 - x_{21}) \cdot (l_{02} + r_3\varphi_3) - (r_3\varphi_3 - x_{21})^2 r_3}{(l_{02} + r_3\varphi_3)^2} - \\ &\quad - r_3 v_{11} \left( \frac{r_3 \omega_3 (l - x_{11})}{(l - r_3 \varphi_3)^2} - \frac{v_{11}}{(l - r_3 \varphi_3)} \right) + r_3 v_{21} \left( \frac{-r_3 \omega_3 (l_{02} + x_{21})}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)^2} + \frac{v_{21}}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)} \right) - v_2 (\omega_3 - \omega_2)]; \\ \dot{v}_{11} &= \frac{1}{m_{11}} \left( -\frac{E \cdot A (x_{11} - r_3 \varphi_3)}{(l - r_3 \varphi_3)} - \frac{E \cdot A (x_{11} - x_{12})}{l} + v_{11} \left( \frac{r_3 \omega_3 (l - x_{11})}{(l - r_3 \varphi_3)^2} - \frac{v_{11}}{(l - r_3 \varphi_3)} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{v_{12}}{l} (v_{11} - v_{12}) - m_{11} \cdot g \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{v}_{21} &= \frac{1}{(m_2 + m_{21})} \left[ -\frac{E \cdot A(x_{21} - r_3 \varphi_3)}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)} - v_{21} \left( \frac{-r_3 \omega_3 (l_{02} + x_{21})}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)^2} + \frac{v_{21}}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)} \right) + (m_2 + m_{21}) \cdot g \right]; \\ \dot{v}_{1n} &= \frac{1}{(m_1 + \frac{m_i}{2})} \left[ -\frac{E \cdot A(x_{1n} - x_{1,(n-1)})}{l} - (m_1 + \frac{m_i}{2}) \cdot g - \frac{v_{1n}}{l} (v_{1n} - v_{1,(n-1)}) \right]; \\ \dot{v}_{li} &= \frac{1}{m_i} \left[ -\frac{E \cdot A(x_{li} - x_{1,(i-1)})}{l} - \frac{E \cdot A(x_{li} - x_{1,(i+1)})}{l} - m_i \cdot g - \frac{v_{li}}{l} (v_{li} - v_{1,(i-1)}) - \frac{v_{1,(i+1)}}{l} (v_{li} - v_{1,(i+1)}) \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Одержані рівності (1) та співвідношення (3-[13]) утворюють сукупність рівнянь руху. Сумісно з рівняннями електромагнітного стану асинхронного двигуна вони становлять замкнену систему нелінійних диференціальних рівнянь, що підлягають числовому інтегруванню.

Зведений електромагнітний момент двигуна визначаємо як

$$M_{E3} = M_E \cdot u,$$

де:  $M_E$  – електромагнітний момент на валі двигуна;  $u$  – передавальне відношення приводу.

Початкові умови інтегрування рівнянь (1) мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_{01} = 0; \varphi_{02} = 0; \varphi_{03} = 0; x_{011} &= -\frac{(m_1 + p \cdot l \cdot (n - 0,5))g \cdot l}{E \cdot A}; x_{021} = \frac{(m_2 + p \cdot l_{02}/3)g \cdot l_{02}}{E \cdot A}; \\ x_{0li} &= x_{01,(i-1)} - \frac{(m_1 + p \cdot l \cdot (n - i - 0,5))g \cdot l}{E \cdot A}. \end{aligned} \quad (2)$$

Дослідження режимів пуску у привідній системі шахтної підйомної установки зводиться до інтегрування рівнянь (1) і (12-[13]) з урахуванням залежностей (14-[13]), (16-[13]), (17-[13]) та початкових умов (2), (18-[13]).

Моменти в пружних ланках 1 і 2 визначаються за залежностями:

$$M_1 = v_1(\omega_1 - \omega_2) + c_1(\varphi_1 - \varphi_2); M_2 = c_2(\varphi_2 - \varphi_3) + v_2(\omega_2 - \omega_3); \quad (3)$$

Зусилля у вітках каната визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} N_{11} &= \frac{E \cdot A(r_3 \varphi_3 - x_{11})}{(l_{01} - r_3 \varphi_3)} + v_{11} \left( \frac{r_3 \omega_3 (l_{01} - x_{11})}{(l_{01} - r_3 \varphi_3)^2} - \frac{v_{11}}{(l_{01} - r_3 \varphi_3)} \right); \\ N_{21} &= \frac{E \cdot A(x_{21} - r_3 \varphi_3)}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)} + v_{21} \left( \frac{-r_3 \omega_3 (l_{02} + x_{21})}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)^2} + \frac{v_{21}}{(l_{02} + r_3 \varphi_3)} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Статичні зусилля у вітках каната та статичні моменти у муфтах знаходимо зі співвідношень:

$$N_{1cm} = (m_1 + p \cdot l_{01}/3) g; N_{2cm} = (m_2 + p \cdot l_{02}/3) g; M_{2cm} = (N_{1cm} - N_{2cm}) r_3; M_{2cm} = M_{1cm}/u.$$

Коефіцієнти динамічності зусиль та моментів визначаються на основі залежностей:

$$k_{дин.N1} = \frac{N_{1max}}{N_{1cm}}; k_{дин.N2} = \frac{N_{2max}}{N_{2cm}}; k_{дин.M1} = \frac{M_{1max}}{M_{1cm}}; k_{дин.M2} = \frac{M_{2max}}{M_{2cm}}.$$

Розглянемо головну шахтну підйомну установку, яка включає в себе два скіпи 2СН9,5-2 вантажністю 8500 кг, власною масою 8460 кг, підвішені на канаті ЛК – РО 6×36 діаметром 46,5 мм. Площа поперечного перерізу каната  $A=848 \text{ мм}^2$ , погонна маса  $p=8,37 \text{ кг/м}$ , модуль пружності каната  $E=130000 \text{ МПа}$ , довжини ділянок  $l=100 \text{ м}$ . Підйомальна машина ЦР–5х3/0,6, момент інерції привідного барабана  $I_3=1700000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , редуктор 2ЦО–22, передавальне число якого  $u=20$ , момент інерції рухомих частин  $I_2=25000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Електродвигун АК3–15-41-8Б. Параметри двигуна: амплітуда напруги мережі живлення  $U_m=4900 \text{ В}$ , активні опори фаз  $r_s=0,38 \text{ Ом}$ ,  $r_R=0,318 \text{ Ом}$ , індуктивності розсіяння  $L_S=1,048 \cdot 10^{-2} \text{ Г}$ ,  $L_R=1,112 \cdot 10^{-2} \text{ Г}$ , робоча індуктивність  $L_m=0,505 \text{ Г}$ , число пар магнітних полюсів  $p_0=4$ , момент інерції ротора  $I_1=55 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , кутова швидкість ротора  $\omega_{10}=78,5 \text{ рад/с}$ . Початкова довжина короткої вітки каната  $l_{02}=25 \text{ м}$ .

Статичні та максимальні значення моментів і сил у пружних ланках  $M_{1max}$ ,  $M_{2max}$ ,  $N_{1max}$ ,  $N_{2max}$ , а також коефіцієнти динамічності моментів та зусиль, що відповідають різному степеню дискретизації для шахти глибиною 500 м у випадку, коли  $m_1=16500 \text{ кг}$ , а  $m_2=8500 \text{ кг}$ , наведено у табл. 1 і 2.

Табл. 1. Статичні та максимальні значення моментів у муфтах підйомної установки та коефіцієнти динамічності цих моментів ( $l_{01} = 500 \text{ м}$ )

Число ділянок	Довжини ділянок	Муфта з'єднання двигуна з ведучим валом редуктора			Муфта з'єднання веденого вала редуктора з привідним барабаном		
		$M_{1cm}$ , кН·м	$M_{1max}$ , кН·м	$k_{дин.M1}$	$M_{2cm}$ , кН·м	$M_{2max}$ , кН·м	$k_{дин.M2}$
1	500	11,44	48,02	4,197	228,70	1147	5,015
2	250	11,44	44,48	3,888	228,70	918,3	4,015
3	166,7	11,44	44,57	3,896	228,70	921,0	4,027
4	125	11,44	44,61	3,899	228,70	922,4	4,033
5	100	11,44	44,63	3,901	228,70	923,2	4,037
6	83,3	11,44	44,65	3,903	228,70	923,7	4,039
8	62,5	11,44	44,67	3,905	228,70	924,4	4,042
10	50	11,44	44,68	3,906	228,70	924,9	4,044

Табл. 2. Статичні і максимальні значення сил пружності у вітках каната підйомної установки та коефіцієнти динамічності цих сил ( $l_{01} = 500 \text{ м}$ )

Число ділянок	Довжини ділянок	Довга вітка каната			Коротка вітка каната		
		$N_{1cm}$ , кН	$N_{1max}$ , кН	$k_{дин.N1}$	$N_{2cm}$ , кН	$N_{2max}$ , кН	$k_{дин.N2}$
1	500	175,55	557,7	3,177	84,07	162,6	1,934
2	250	175,55	403,1	2,296	84,07	116,4	1,385
3	166,7	175,55	408,1	2,325	84,07	117,1	1,393
4	125	175,55	410,4	2,338	84,07	117,5	1,398
5	100	175,55	411,8	2,346	84,07	117,7	1,400
6	83,3	175,55	412,7	2,351	84,07	117,8	1,401
8	62,5	175,55	413,8	2,357	84,07	118,0	1,403
10	50	175,55	414,5	2,361	84,07	118,1	1,405

Залежності максимальних сил пружності у вітці каната, зв'язаній зі звантаженим скіпом, від числа ділянок для різних значень глибини шахти (Н) зображено на рис. 2. Залежності відносної похибки від глибини шахти для 1, 2 і 3 інтервалів наведено на рис. 3.



Рис. 2. Залежність максимальних сил пружності у довгій вітці каната від числа ділянок

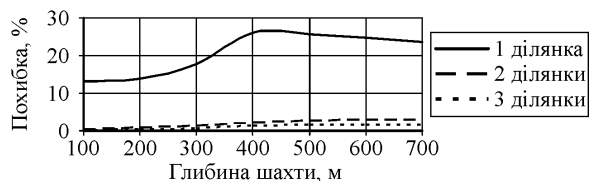


Рис. 3. Залежність відносної похибки від глибини шахти

Аналіз результатів розрахунків (рис. 2, 3) показує, що точність визначення сил пружності істотно залежить від параметрів дискретизації каната і зростає зі зменшенням довжини інтервалів його розбиття на елементи. Для шахт глибиною 100-700 м достатня точність визначення зусиль у підймальному канаті забезпечується у випадку заміни каната ланцюгом трьох-чотирьох точкових вантажів, зв'язаних невагомими пружними елементами (рис. 2). Моделювання вітки підйального каната однією пружною ланкою зі зосередженим вантажем на кінці призводить до завищення одержуваних динамічних навантажень на 13,09-26,13 % (рис. 3). Якщо канат замінити системою двох точкових вантажів, то ця похибка не перевищує 3,5 %, а у випадку його заміни системою трьох вантажів – похибка не перевищує 2 %. Залежно від глибини шахти, для забезпечення необхідної точності аналізу процесів пуску каната доцільно розбивати на елементи довжиною 25-200 м. Це дає змогу розрахувати розгін підйальної установки до завершення навівання першої ланки каната на барабан, що значно спрощує моделювання динамічного процесу.

Максимальні значення моментів і сил у пружних ланках  $M_{1max}$ ,  $M_{2max}$ ,  $N_{11max}$ ,  $N_{21max}$ , а також коефіцієнти динамічності зусиль у вітках каната, що відповідають різним завантаженням скіпа для шахти глибиною 500 м, наведено у табл. 3.

Табл. 3. Максимальні значення моментів і сил пружності ланок скіпової підйальної установки та коефіцієнти динамічності зусиль у вітках каната

$m_1$ , кг	$T_2$ , кг	$M_{1max}$ , Н·м	$M_{2max}$ , Н·м	$N_{11max}$ , Н	$N_{21max}$ , Н	$k_{дин.1}$	$k_{дин.2}$
8500	8500	43270	868900	246400	106000	1,980	1,247
10000	8500	43585	879400	275900	107300	1,982	1,262
12000	8500	43960	892900	317100	113500	1,997	1,335
14000	8500	44300	905800	365800	119700	2,051	1,407
15000	8500	44455	912200	389300	122800	2,068	1,444
16960	8500	44740	924300	426200	127300	2,055	1,497

Більші динамічні навантаження виникають у вітці каната, зв'язаній із завантаженим скіпом, а менші – у вітці каната, зв'язаній з противагою. Коефіцієнти динамічності зусиль у цих вітках знаходяться у межах 1,98...2,08 і 1,25...1,50 відповідно. Менші значення відповідають меншому завантаженню скіпів. Проведені дослідження щодо визначення зусиль в окремих ланках каната підтверджують те, що максимальні зусилля в цих ланках зменшуються по мірі наближення до підйальної посудини, оскільки зменшується довжина каната.

Сили пружності в окремих ланках каната визначені за формулою

$$N_{li} = - \frac{E \cdot A(x_{li} - x_{l(i-1)})}{l} - \frac{v_{li}}{l} (v_{li} - v_{l(i-1)}). \quad (5)$$

Максимальні значення величин сил пружності у 5-ти ланках каната для випадку, коли  $m_1=15000$  кг, а  $m_2=8500$  кг, зведені у табл. 4.

Табл. 4. Максимальні значення сил пружності 5-ти ланок каната скіпової підйальної установки

$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$N_{11max}$ , Н	$N_{12max}$ , Н	$N_{13max}$ , Н	$N_{14max}$ , Н	$N_{15max}$ , Н
8500	8500	246400	237100	223100	208000	184300
10000	8500	275900	263700	250200	236500	219600
12000	8500	317100	306700	294600	280700	265000
14000	8500	365800	355800	343700	329700	313800
15000	8500	389300	379500	367600	353600	337700
16960	8500	426200	417100	405800	392300	376600

Проводили порівняльні дослідження для тієї ж підйальної установки з дискретизацією каната на 10-х ланках довжиною 50 м і початковою довжиною більшої вітки каната  $l_{01}=500$  м. Максимальні значення сил пружності у кожній ланці наведені в табл. 5.

Табл. 5. Максимальні значення сил пружності 10-х ланок каната скіпової підйальної установки

$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$N_{11max}$ , Н	$N_{21max}$ , Н	$N_{12max}$ , Н	$N_{13max}$ , Н	$N_{14max}$ , Н	$N_{15max}$ , Н
8500	8500	246500	101000	244000	237600	230900	239000
10000	8500	276100	103200	270300	264200	257700	250900
12000	8500	317200	109100	312500	307400	301600	295500
14000	8500	366200	115100	361700	356600	351100	345000
15000	8500	389700	118100	385300	380400	375000	369000
16960	8500	426900	123900	422900	418400	413300	407600

Продовж. табл. 5

$N_{16max}$ , Н	$N_{17max}$ , Н	$N_{18max}$ , Н	$N_{19max}$ , Н	$N_{1,10max}$ , Н	$k_{дин.1}$	$k_{дин.2}$
216600	209000	201200	193000	184600	1,980	1,188
243900	236500	228800	220800	212600	1,984	1,214
289000	282000	274600	266700	258400	1,998	1,283
338500	331400	323900	315900	307500	2,052	1,354
362500	355500	348000	340000	331500	2,070	1,389
401300	394600	387200	379300	370900	2,058	1,457

Коефіцієнти динамічності зусиль у вітках каната для математичної моделі підйомної установки з дискретизацією каната на 10-ти ділянках практично не відрізняються від аналогічних результатів, отриманих для моделі з 5-ма ділянками. Максимальні зусилля у всіх варіантах навантажень виникають у верхньому перерізі каната, тому надалі визначаємо лише найбільші навантаження.

**Висновки.** Дослідження динамічних процесів для шахтних підйомних установок великої довжини необхідно проводити з одночасним урахуванням несталості довжини каната і динамічних властивостей привідного двигуна. Під час розрахунків доцільно застосувати числові методи аналізу, пов'язані з дискретизацією каната як ланки з розподіленими параметрами. Розрахункову модель шахтної підйомної установки потрібно будувати шляхом заміни каната ланцюгом точкових вантажів, зв'язаних невагомими пружними ланками, з обгрунтуванням їх кількості.

### Література

1. Весницкий А.И. Теория колебаний распределенных параметрических систем / А.И. Весницкий, А.И. Потапов. – Горький : Изд. дом Горьковского ун-та, 1980. – 87 с.
2. Горошко О.А. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины / О.А. Горошко, Г.Н. Савин. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1971. – 224 с.
3. Грядущий Б.А. Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок / Б.А. Грядущий // Збірник наукових праць. – Донецьк : Вид-во НДІ гірничої механіки ім. М.М. Федорова. – 2005. – Вип. 99. – 278 с.
4. Давидов Б.Л. Динамика горных машин / Б.Л. Давидов. – М. : Гортехиздат, 1961. – 235 с.
5. Козак С.А. К вопросам динамических нагрузок в шахтных подъемных установках / С.А. Козак // Конструирование и технология в тяжелом машиностроении : сб. тр. – Свердловск : Изд-во УПИ. – 1966. – С. 35-43.
6. Комбинированная методология расчетных систем. Cabinet mythology for analysis of rotary systems. Huang Yuan Mao, Wang Chin-Ming, 2001. – 123 с.
7. Корнев Б.Г. О пусковом резонансе / Б.Г. Корнев // Исследования по динамике сооружений. – М. : Госстроиздат. – 1957. – С. 162-184.
8. Нестеров П.П. Теория и практика подъема / П.П. Нестеров. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1975. – 354 с.
9. Сергеев С.Т. Стальные канаты / С.Т. Сергеев. – К. : Вид-во "Техніка", 1974. – 324 с.
10. Федоров М.М. Методология динамической теории расчета подъемного каната вертикальной шахты / М.М. Федоров // Записки ин-та горной механики. – К. : Изд-во АН УССР. – 1936. – Вып. 1. – С. 125-129.
11. Флоринский Ф.В. Динамика шахтного подъемного каната / Ф.В. Флоринский. – М. : Углетехиздат, 1955. – 240 с.
12. Хаджиков Р.Н. Горная механика / Р.Н. Хаджиков, С.А. Бутаков. – М. : Изд-во "Недра", 1982. – 406 с.
13. Харченко Є.В. Дослідження неусталених режимів роботи у привідній системі шахтної підйомної установки з урахуванням маси каната / Є.В. Харченко, Л.В. Семчук // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні і приладобудуванні : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2006. – № 40. – С. 261-270.

### **Семчук Л.В. Влияние упруго-инерционных свойств каната на динамику шахтных подъёмных установок**

Предложена математическая модель режимов пуска шахтной подъемной установки с учетом упруго-инерционных свойств каната. Уравнения движения системы записаны на основании применения дискретной расчетной модели с переменными упруго-инерционными параметрами. Приняты во внимания электромагнитные явле-

ния в асинхронном двигателе. Приведены результаты числовой реализации построенной модели в зависимости от глубины шахты и числа звеньев.

**Ключевые слова:** математическая модель, уравнения движения, шахтная подъемная установка, подъемный канат, упруго-инерционные свойства.

### **Semchuk L.V. The influence of elastic-inert qualities of the rope on the dynamics of mining elevators**

The mathematical model of starting processes of mining elevator is proposed in according to elastic-inert qualities of the rope. The equation of the movement system are written using discredited calculating models with changeable elastic-inert qualities. Electromagnetic phenomena in asynchronous engine are taken into account. The results of numerical realization of the model are given according to the mine's depths of mine and number of unit sections.

**Keywords:** mathematical model, the equation of the movement, mining elevator, elevating rope, elastic-inert qualities.