

5. Фаробин Я.Е., Овчаров В.А., Кравцева В.А. Теория движения специализированного подвижного состава. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. – 160 с.
6. Савушкин Е.С., Курылев В.Ф. Собственные колебания в продольной плоскости тягач – полуприцеп// Автомобильная промышленность. – 1963, № 9, – С. 14-15.
7. Кондрашкин С.И., Контанисов С.П., Семенов В.М. Принципы построения математических моделей динамики движения автомобиля// Автомобильная промышленность. – 1979, № 7, – С. 24-27.
8. Хачатуров А.А. Динамика системы "дорога – шина – автомобиль – водитель ". – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
9. Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости. – М.: Наука, 1967. – 223 с.
10. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 206 с.

УДК 621

*Проф. Є.В. Харченко, д-р техн. наук; Л.В. Семчук –
НУ "Львівська політехніка"*

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ШАХТНИХ ПІДІЙМАЛЬНИХ КАНАТІВ

Охарактеризовано різні методи контролю стану шахтних підіймальних канатів: візуальний, механічний, електромагнітний. Наведено результати експериментального і теоретичного дослідження динамічних навантажень у пружних ланках моделі шахтної підіймальної установки і розглянуто порівняльний аналіз.

Ключові слова: Методи, контроль, шахтні підіймальні канати, експериментальні, теоретичні, дослідження.

Prof. E.V. Kharchenko; L.V. Semchuk – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Control methods of mining elevating ropes state

The characteristics of different control methods of mining elevating ropes state: visual, mechanical, electromagnetic is given. The results of experimental and theoretical research of dynamic loading resilient sections of mining elevating plant model are provided and comparative analysis is given.

Keywords: Methods, control, mining elevating ropes, experimental, theoretical, research.

Загальна характеристика проблеми. У шахтних підіймальних установках, які споруджуються для транспортування на поверхню корисних копалин, опускання і підймання людей та шахтного обладнання, одним з найбільш відповідальних елементів є канат.

Канати, які використовуються на шахтах, мають складні конструкції. У сучасних умовах використовують велику кількість різноманітних типів канатів, виготовлених зі сталевих дротин. Такі канати набули широкого застосування завдяки великій довжині, гнучкості і порівняно малій погонній масі.

Однак доволі часто канати мають низький коефіцієнт надійності. У процесі експлуатації канат зношуються, внаслідок чого коефіцієнт надійності ще більше знижується. Крім цього, на міцність каната істотно значення мають коливальні явища у механічній системі, які виникають під час встановлення кліток на посадочні кулаки, входження і виходу скіпа з розвантажувальних кривих, пуску та гальмування приводу, електромагнітні явища в асинхронному двигуні тощо.

Точність і доступність методів контролю стану канатів має дуже важливе значення з точки зору безпеки й економічності використання. Несвоєчас-

на заміна каната може призвести до аварійного обриву, а передчасна заміна до збільшення експлуатаційних затрат.

Своєчасний і якісний контроль стану канатів дасть змогу раціонально добирати їх конструктивні параметри, а також режими роботи шахтної підйимальної і підвищити термін експлуатації.

Аналіз відомих досліджень. Контроль стану шахтних підйимальних установок, які мають складні конструкції [3, 10], є одним з основних завдань їх раціонального проектування і технічної діагностики [2, 4, 6, 8]. Одним з найважливіших елементів цих установок є підйимальні канати [9], які потребують постійного контролю. Застосовують візуальний огляд, механічні випробовування, електромагнітні дослідження [2, 8, 9].

Вивчення впливу динамічних явищ на характеристики каната набуває особливо важливого значення у зв'язку з великими глибинами добування корисних копалин, значною вантажністю установок та високими вимогами щодо безпеки експлуатації технічних об'єктів [1, 5, 7, 11]. Раціональний добір параметрів шахтних підйимальних канатів потребує систематизації різноманітних методів контролю, а також досліджень експлуатаційних режимів привідних систем [4, 8, 9].

Постановка задачі. Метою статті є проаналізувати методи контролю стану шахтних канатів, що дасть змогу раціонально добирати їх конструктивні параметри і режими роботи шахтної підйимальної установки, а також підвищити термін експлуатації.

Пропонована методика ґрунтується на поєднанні різноманітних методів контролю: візуального, механічного, електромагнітного з урахуванням впливу динамічних навантажень.

Методи контролю стану канатів. Протягом багатьох десятиліть і до сьогодення застосовують візуальний спосіб контролю, який базується на зовнішньому огляді канатів, реєстрації розірваних дротин й інших пошкоджень. Іноді пошкодження канатів настільки очевидні (рис. 1), що заміна канатів не викликає жодних сумнівів.

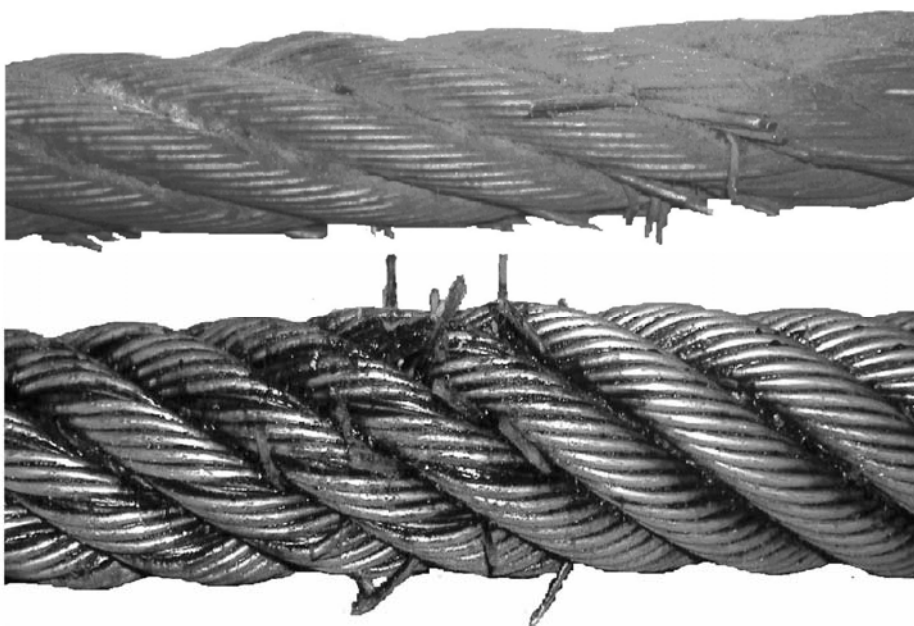


*Рис. 1.
Зразки
пошкоджених
канатів*

Після огляду заміряють діаметр каната і крок навивання. Іноді частково розкручують для перевірки стану його внутрішньої частини. Недоліками цих перевірок є необхідність затрати великої кількості часу, недостатня, а іноді і помилкова інформація по стану каната, яка залежить від випадкових чинників і індивідуальних здібностей працівника, неможливість точного встановлення ступеня корозії. Ці недоліки особливо очевидні для канатів закритої конструкції і багатошарових канатів.

Періодично (не рідше 1 раз на півроку) канати направляються на механічні випробування. Для цього відрізають зразок довжиною не менше 1,5 м.

Перед випробуваннями проводять точний замір діаметра каната. Від зразка відділяють частинку довжиною 350...400 мм, розплітають її по пряжах й окремих дротинах. При цьому проводять ретельний огляд з метою виявлення обривів, деформації, корозії і інших дефектів дросин. Після чого їх промивають і просушують. Заміряють діаметр кожної дросини і підраховують їхню кількість.

Під час випробувань визначають кількість перегинів на 90° , а також максимальне розривне зусилля, які витримує кожна дросина. Проводили випробування для каната ЛК-РО 6×36 з органічним осердям діаметром 39,5 мм, який застосовується на шахті "Відродження" ДП "Львіввугілля". Канат має 6 пряж по 36 дросин у кожній (1 центральний діаметром 2,4 мм, 14 – діаметром близько 2,2 мм, 14 – діаметром близько 1,8 мм і 7 – 1,3 мм). Надаються розривні зусилля для кожної групи дросин і для кожної пряжі. Після чого визначається сумарне розривне зусилля всіх дросин, яке становить $114178 \text{ кг} = 11189444 \text{ Н}$.

Безпечна робота канатів потребує постійного контролю зміни поперечного перерізу каната, яке відбувається внаслідок корозії і механічного зношування.

На шахтах ДП "Львіввугілля" застосовуються прилади типу ИИСК-5, які призначені для визначення відносних втрат перерізу металу в межах від 5 до 30 % для канатів з органічним і металічним сердечником діаметром 15...65 мм. Маса приладу до 19 кг, датчика – 12 кг. Напруга живлення 15 В.

Індукційний датчик (рис. 2) – це дві котушки, намотані на сердечники з трансформаторного заліза. Котушки включені так, що їх магнітні поля замикаються через канат в одному напрямку.

Принцип дії приладу базується на вимірюванні індуктивності котушки, до складу магнітопроводу якої входить канат. Зменшення перерізу каната призводить до збільшення магнітного опору магнітопроводу і зменшенню індуктивності котушки. Шкала приладу проградуєвана у відсотках втрати поперечного перерізу відносно нового каната.

Прилад ИИСК-5 складається з індукційного датчика, вхідного пристрою, підсилювача, випрямляча, вихідного індикатора і блоку живлення. Вхідний пристрій і індукційний датчик служать для створення напруги змінного струму, амплітуда якого пропорційна відносній втраті перерізу контрольованого каната.

Вхідний пристрій представляє собою два резонансних мости змінного струму, які включені диференційно. Кожен з мостів живиться від самостійної обмотки силового трансформатора. За допомогою міліамперметра, який з'єднують з апаратом, можна записати діаграму зміни відносної втрати перерізу по довжині каната.

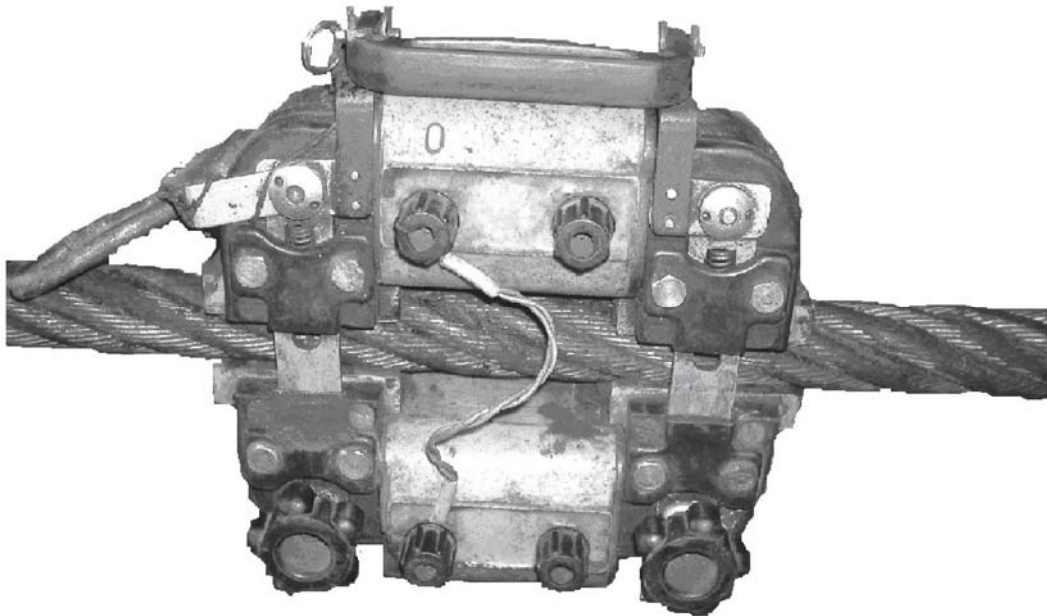


*Рис. 2.
Індукційний датчик*

Визначення динамічних зусиль у підймальних канатах експериментальним шляхом є непростим завданням. Максимальні значення зусиль виникають у верхніх перерізах каната при підніманні вантажу. Але розміщення вимірювальних приладів у реальних умовах у цих місцях викликає труднощі внаслідок намотування каната на напрямний шків. Тому на реальних установках такі експерименти не проводять.

Для вимірювання динамічних зусиль у нижньому перерізі каната використовують установку, яка складається з двох динамометрів, підсилювача, осцилографа і джерела живлення. Ящик з апаратурою підвішують у клітці на амортизаторах, щоби унеможливити вплив поштовхів, які можуть виникнути під час руху клітки вздовж ствола. Динамометри встановлюють вище місця кріплення каната і з'єднують кабелями з вимірювальною апаратурою.

Для визначення зусиль у канаті використовували модель одноканатної підймальної установки (рис. 3), яка складається з електродвигуна потужністю 0,25 кВт, частотою обертання ротора $\omega_0 = 78,4$ рад/с, момент інерції якого дорівнює $0,001$ кг·м². Параметри двигуна: амплітуда напруги мережі живлення $U_m = 310,5$ В, активні опори фаз $r_s = 0,00825$ Ом, $r_R = 0,0107$ Ом, індуктивності розсіяння $L_s = 1,22 \cdot 10^{-4}$ Г, $L_R = 1,22 \cdot 10^{-4}$ Г, робоча індуктивність $L_m = 4,47 \cdot 10^{-3}$ Г, число пар магнітних полюсів $p_0 = 4$.

Електродвигун з'єднано за допомогою муфти з двоступінчастим редуктором зі циліндричними шевронними колесами. Передаточне число редуктора $u = 56$, момент інерції, приведений до вала барабана, становить $0,2$ кг·м². Вихідний вал редуктора за допомогою муфти з'єднується з привідним барабаном діаметром 300 мм і шириною 140 мм, момент інерції $0,3$ кг·м². При обертанні барабана один канат намотується на нього, а інший розмотується. Канати перекинуті через 2 напрямні шкиви, які розміщені на копрі. У нижній частині копра розміщено блок, через який перекинуто канат. У нижній частині каната нижче місця кріплення датчиків прикріплено вантажі масою $m_1 = m_2 = 2$ кг. Діаметри шківів – 300 мм. Довжина вертикальних віток каната від напрямних шківів до нижнього шківів – 3 м. Площа поперечного перерізу $A = 14$ мм², діаметр 4,5 мм, модуль пружності каната $E = 150000$ МПа.



*Рис. 3.
Модель
одноканатної
підіймальної
установки*

На розрахунковій схемі експериментальної установки (рис. 4, *а*) та схемі приводу (рис. 4, *б*) введено такі позначення: 1 – електродвигун, 2 – редуктор, 3 – привідний барабан, момент інерції якого дорівнює I_3 , 4 – напрямні шків, 5 – нижній напрямний шків, l_1 і l_2 – довжини віток каната, D_1 і D_2 – пристрої для визначення зусиль за допомогою тензодатчиків (рис. 5).

Зусилля N , яке виникає у канаті, пов'язане з силою F , що згинає балку, співвідношенням:

$$F = 2 \cdot N \cdot \sin \delta,$$

де δ – кут нахилу каната.

Зусилля у канаті визначають з рівняння

$$N = \frac{E \cdot b \cdot h^2}{6 \cdot a \cdot \sin \delta} \varepsilon,$$

де: E – поздовжній модуль пружності матеріалу балки; ε – відносне видовження зовнішніх волокон балки, яке визначається за допомогою тензодатчиків ∂_1 і ∂_2 .

Аналіз результатів досліджень. Визначення зусиль у вітках каната теоретичним шляхом проводилося за допомогою методики, поданої в [11].

Максимальні значення сил у пружних ланках N_1 , N_2 , а також коефіцієнти динамічності $k_{\text{дин.1}} = \frac{N_{11\text{max}}}{(m_1 + pl_{01})g}$, $k_{\text{дин.2}} = \frac{N_{21\text{max}}}{(m_2 + pl_{02})g}$ у вітках каната,

що відповідають різним навантаженням віток каната, визначені теоретичним і експериментальним шляхом, наведено відповідно у табл. 1 і 2.

Часові залежності сил пружності у ланках каната для випадку, $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 2$ кг показано на рис. 6, 7.

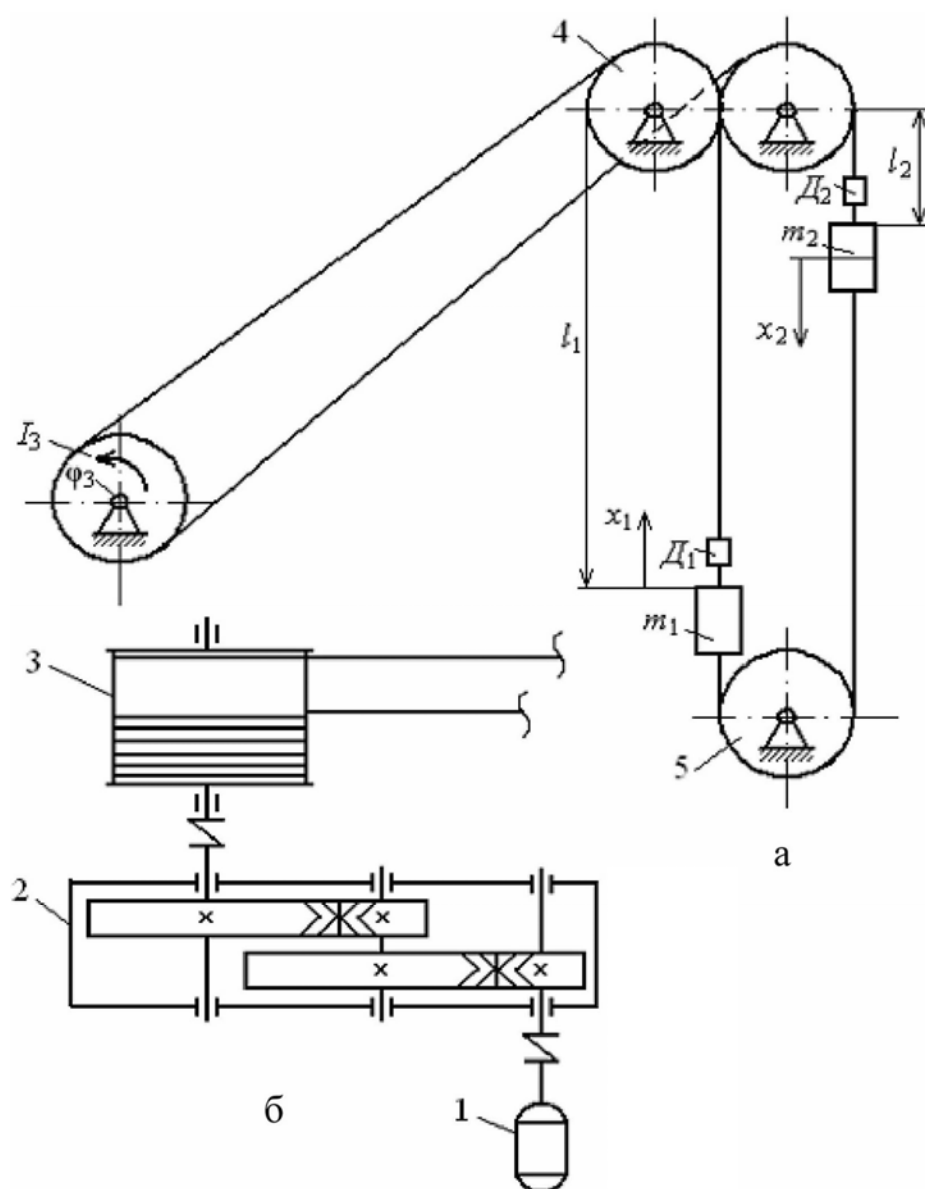


Рис. 4.
Розрахункова
схема
експериментальної
установки (а) та
схема приводу (б)

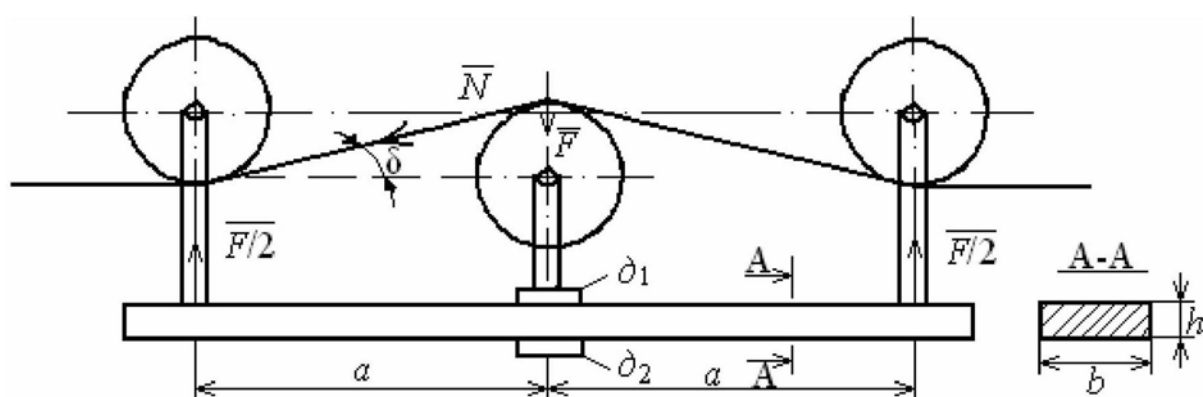


Рис. 5. Схема пристрою для визначення зусилля у канаті за допомогою тензодатчиків

Висновки

- Контроль за станом шахтних підймальних канатів потребує поєднання різноманітних методів: візуального, який проводять щоденно; механічних випробовувань, що проводять не рідше 1 разу на пів року; електромагнітного, а також дослідження динамічних навантажень, що виникають у вітках каната.

Табл. 1. Максимальні значення сил у пружних ланках N_1 , N_2 , а також коефіцієнти динамічності у вітках каната, отримані теоретичним шляхом

m_1 , кг	m_2 , кг	N_{1max} , Н	N_{2max} , Н	$k_{дин.1}$	$k_{дин.2}$
2	2	24,407	22,767	1,244	1,160
2	1,5	24,746	17,546	1,261	1,192
2	1	25,438	12,026	1,297	1,226
2	0,5	26,014	6,126	1,326	1,249
0,5	2	6,730	24,580	1,372	1,253
1	2	13,127	23,913	1,338	1,219
1,5	2	18,901	23,308	1,284	1,188

Табл. 2. Максимальні значення сил у пружних ланках N_1 , N_2 , а також коефіцієнти динамічності у вітках каната, отримані експериментальним шляхом

m_1 , кг	m_2 , кг	N_{1max} , Н	N_{2max} , Н	$k_{дин.1}$	$k_{дин.2}$
2	2	23,1	21,6	1,177	1,101
2	1,5	23,3	16,4	1,188	1,182
2	1	24,1	11,2	1,228	1,142
2	0,5	24,7	5,4	1,259	1,243
0,5	2	6,1	23,2	1,244	1,182
1	2	12,1	22,7	1,233	1,157
1,5	2	17,7	22,1	1,202	1,126

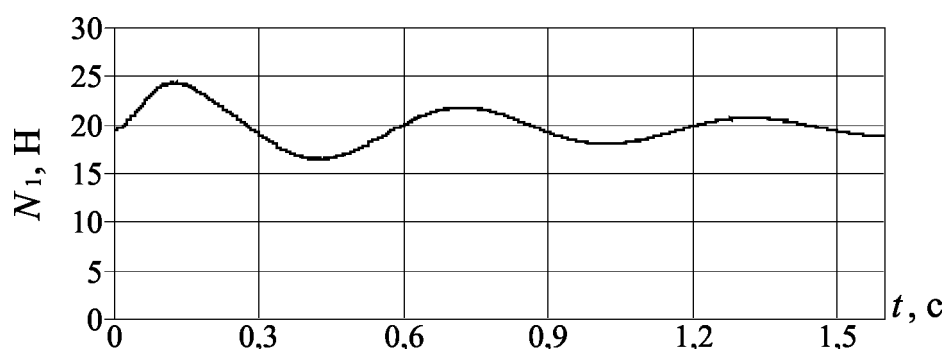


Рис. 6. Часова залежність сил пружності N_1

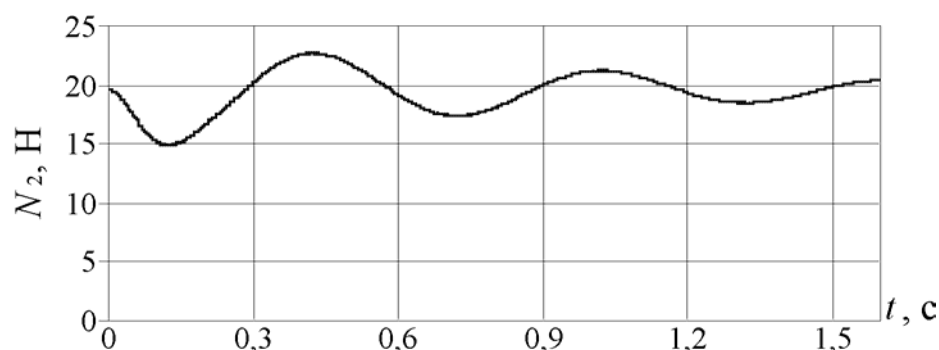


Рис. 7. Часова залежність сил пружності N_2

- Результати теоретичного і експериментального методів досліджень динамічних навантажень, отриманих для експериментальної і реальної підймальних установок, збігаються. Відхилення становить 5,35...11,85 %
- На початковій стадії розгону наявні інтенсивні коливання електромагнітного моменту, які призводять до збурення коливань механічної системи, з періодом близько 1,3 с. Це обумовлює значне збільшення внутрішніх сил, однак з часом значення моментів і сил пружності стабілізуються.
- Максимальні значення сил пружності $N_{1max} = 26,014$ Н і коефіцієнта динамічності $k_{дин1} = 1,326$ виникають у вітці, яка підіймається при опусканні мінімального вантажу. Зі зростанням противаги динамічні навантаження зменшуються.

Література

1. **Архипов К.И.** Исследование влияния зазоров и деформаций в системе на динамику подъема// Изв. вузов. Нефть и газ. – 1980, № 6. – С. 16-21.
 2. **Белый В.Д., Лесин К.К., Самарский А.Ф.** Выбор, навеска, эксплуатация и контроль состояния шахтных канатов. – М.: Недра, 1967. – 228 с.
 3. **Братченко Б.Ф.** Стационарные установки шахт. – М.: Недра, 1977. – 438 с.
 4. **Головкин Т.Я.** Динамика канатов и цепей. – М.: Металургиздат, 1962. – 432 с.
 5. **Горошко О.А., Савин Т.Н.** Динамика нити переменной длины. – К.: Академия наук СССР, 1962. – 332 с.
 6. **Давидов Б.Я.** Динамика горных машин. – М.: Гортехиздат. 1961. – 235 с.
 7. **Козак С.А.** К вопросам динамических нагрузок в шахтных подъемных установках// Сб. "Конструирование и технология в тяжелом машиностроении". – Свердловск: УПИ, 1966. – 236 с.
 8. **Нестеров П.П.** Теория и практика подъема. – К.: Наук. думка, 1975. – 354 с.
 9. **Сергеев С.Т.** Стальные канаты. – К.: Техніка, – 1974. – 324 с.
 10. **Хаджиков Р.Н., Бутаков С.А.** Горная механика. – М.: Недра, 1982. – 406 с.
 11. **Харченко Є.В., Семчук Л.В.** Перехідні процеси у привідній системі шахтної підйомної установки// Вісник НУ "Львівська політехніка": Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2006, № 556. – С. 78-85.
-