

Розділ 3

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 624.96:624.07

ВПЛИВ ДИНАМІЧНОГО ХАРАКТЕРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД НАТЯГНЕННЯ ПІДЙОМНИХ КАНАТІВ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В. Кущенко, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-5917-0093

Р. Шуляр, старший викладач

ORCID ID: 0000-0002-0636-2163

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.092>

Кущенко В., Шуляр Р. Вплив динамічного характеру технологічних навантажень від натягнення підйомних канатів на несучу здатність укісних шахтних копрів

Конструкції укісних шахтних копрів – це будівельна частина шахтних підйомних установок, найвідповідальніших серед споруд шахтної поверхні. Зазначено, що основний недолік сучасних галузевих національних норм із проектування шахтних копрів – ігнорування впливу динамічного характеру навантажень від натягнення підйомних канатів. Насправді ж рух підйомної машини супроводжується динамічними впливами від обертання неврівноважених мас напрямних шківів, а також від вимушених коливань підйомних судин на канатах. Зауважено, що внаслідок динамічного характеру навантажень від натягнення підйомних канатів часто спостерігали резонансні явища в системі шахтної підйомної установки, і як наслідок – втрату динамічної стійкості споруд, а також появу втомних тріщин у сталевих конструкціях. Для запобігання резонансних явищ для конструкцій копрів запропоновано конструктивні обмеження на найнижчу частоту власних коливань. До того ж, встановлено обмеження на відносну величину пульсацій у стиснутих стрижневих елементах для запобігання втрати їхньої динамічної стійкості. На підставі статистичного аналізу результатів експериментальних досліджень визначено амплітуди пульсаційної складової зусиль у підйомних канатах для основних етапів технологічних циклів клітьових і скіпових підйомних установок, які виникають у результаті вимушених коливань підйомних судин під час роботи підйомної машини. Завдяки чисельному аналізу напружено-деформованого стану характерної споруди за дії динамічних навантажень від натягнення підйомного канату встановлено значення амплітуд і коефіцієнтів асиметрії динамічних напружень, які стали підґрунтям для застосування нормативної інженерної методики аналізу втомної міцності сталевих конструкцій. На основі аналізу втомної міцності основних несучих конструкцій характерної споруди встановлено обмежений ресурс за втомою для вузлів обпирання напрямних шківів, а також для головних балок укосин. Запропоновану методику аналізу втомного ресурсу конструкцій шахтних копрів можна використати для завдань технічного моніторингу споруд, які перебувають в умовах експлуатації.

Ключові слова: шахтні копри, сталеві конструкції, динамічні навантаження, амплітуда напружень, коефіцієнт асиметрії циклу, межа втоми.

Kushchenko V., Shuliar R. Influence of live loads on the bearing capacity of sloped shaft headframes by tensioning of hoisting cables

The structure of sloped mine headframes is an essential component of shaft hoisting mechanisms, which are among the most critical structures at the shaft surface. A major drawback of the current national industry codes for designing shaft headframes is that they overlook the impact of live tension loads from hoisting cables. The operation of the hoisting machine is affected by dynamic live loads due to the rotation of unbalanced guiding pulleys and the forced oscillations of the hoisting cable strings. As a result of these dynamic loads from hoisting cable tension, resonance phenomena in the shaft hoisting system can occur, leading to a loss of dynamic stability in the structure and the formation of fatigue cracks in steel components. To mitigate these resonance issues in headframe structures, design constraints on the minimum natural oscillation frequency are proposed. Additionally, a limit on the relative magnitude of pulsations in compressed bar elements is suggested to maintain their dynamic stability. Through a statistical analysis of experimental study results, the research

authors identified a range of pulsation amplitudes in hoisting cables during key phases of the technological cycles for cage and skip hoisting mechanisms. These pulsations are generated by the forced oscillations of hoisting cable strings during the operation of the hoisting machine. A numerical analysis of the stress-strain state in a specific structure subjected to dynamic loads from hoisting cable tension allowed to determine the amplitude values and asymmetry coefficients of dynamic stresses. These findings form the basis for applying the normative engineering methodology to analyze the fatigue strength of steel structures. The present analysis of the fatigue strength of the primary load-bearing components of the structure revealed a limited fatigue lifespan for the support nodes of the guiding pulleys and the slopes of the main beams. The proposed method for analyzing the fatigue life of shaft headframe structures can be utilized for technical monitoring under operational conditions.

Keywords: shaft headframes, steel structures, dynamic loads, stress amplitude, cycle asymmetry coefficient, fatigue limit.

Постановка проблеми. Конструкції укісних шахтних копрів (рис. 1) – будівельна

частина найважливіших серед споруд шахтної поверхні шахтних підйомних установок [3; 4; 8].

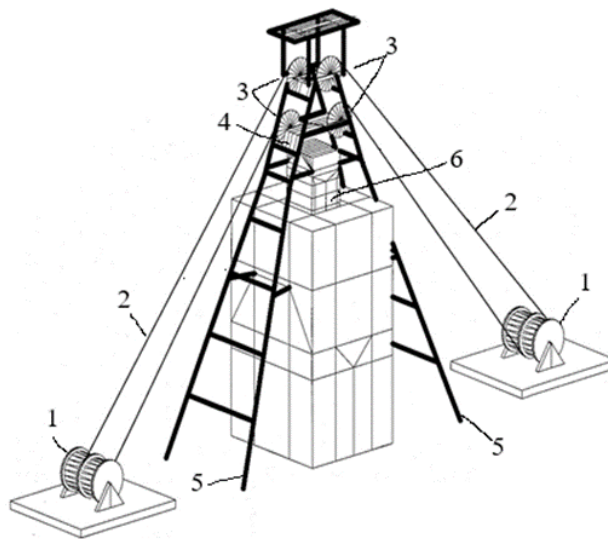


Рис. 1. Принципова схема споруди шахтної підйомної установки:
1 – барабан підйомної машини; 2 – підйомний канат; 3 – напрямні шківви;
4 – підшківні конструкції; 5 – укосина; 6 – станок у складі надшахтної будівлі

Функціонально конструкції копрів забезпечують: а) вертикальну транспортну комунікацію між шахтною поверхнею та гірничими виробітками; б) вентиляцію шахт; в) функціонування систем безпеки підйомної установки. Перехід конструкцій копрів через граничний стан призводить до великих збитків і катастрофічних наслідків. Основним недоліком сучасних галузевих національних норм із проектування шахтних копрів є ігнорування впливу динамічного характеру навантажень від натягнення підйомних канатів. У чинному документі [8] зазначені технологічні навантаження визначено як суму статичних та інерційних зусиль у гілках підйомного канату на стадії прискореного руху підйомної машини на початку підйому [8]. Навантаження від натягнення підйомних канатів передаються на конструкції шахтних копрів у вигляді рівнодіючих на опорні

підшипники напрямних шківів і визначаються як статичні зосереджені сили (рис. 2) [3].

Насправді ж рух підйомної машини супроводжується динамічними впливами від обертання неврівноважених мас напрямних шківів, а також від вимушених коливань підйомних судин на канатах, які виникають унаслідок динамічної взаємодії з барабаном підйомної машини й армуванням шахтного ствола (рис. 3) [3].

Нехтування динамічним характером технологічних навантажень подекуди призводило до функціональних відмов шахтних копрів, які були обумовлені резонансними явищами і втомними руйнуваннями, імовірності яких, поряд із важкими умовами тривалої експлуатації, не врахували під час проектування цих споруд [4]. Отож, дослідження спрямоване на коректне врахування динамічної складової у навантаженнях від натягнення підйомних канатів, актуальне і

сприяє забезпеченню технологічної безпеки гірничотехнічних споруд класу відповідальності СС-3.

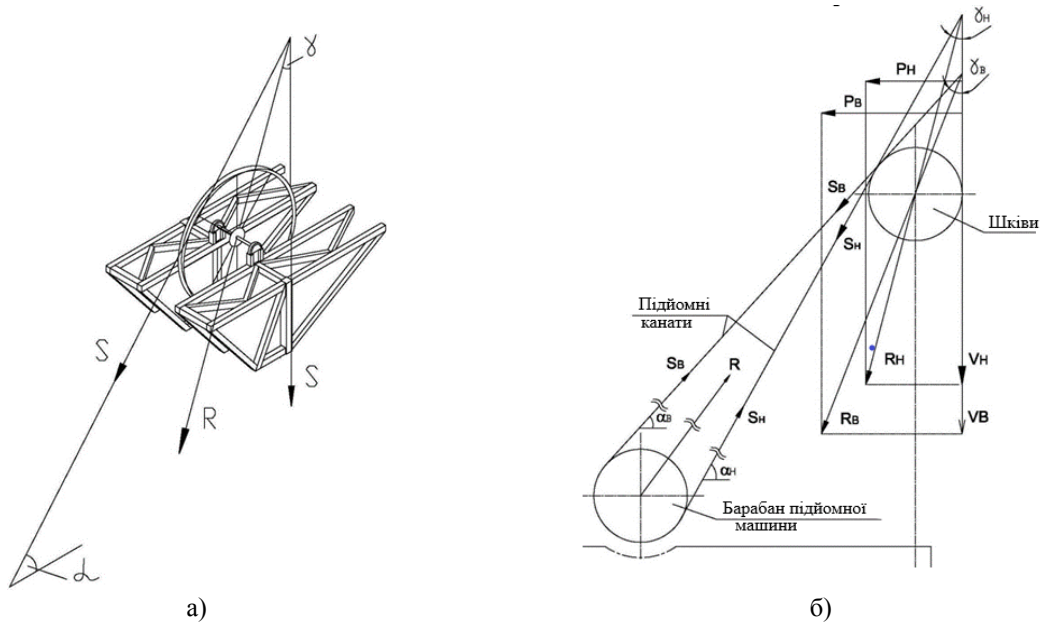


Рис. 2. Схема передачі рівнодійної від натягнення підйомного каната на підшківні конструкції шахтного копра: а) для одного шківни; б) для двох шківнів

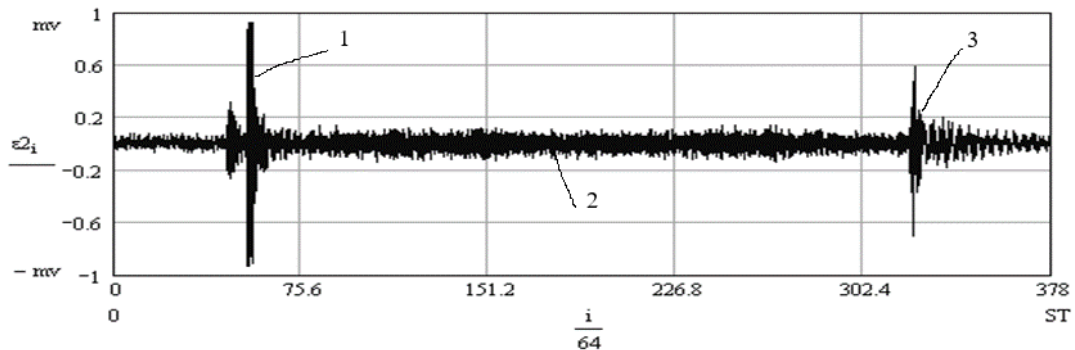


Рис. 3. Віброграма вимушених коливань конструкцій укїсного шахтного копра у процесї технологїчного циклу ШПУ (вїброшвидкїсть у горизонтальному напрямку): 1 – завантаження, маневри і прискорений рух пїдйомної машини; 2 – рївнорїмний рух пїдйомної машини; 3 – гальмування і розвантаження пїдйомних судин

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зусилля в підйомних канатах у процесї роботи пїдйомної машини складаються зі статичної та динамічної складових. Виокремлюють такі етапи технологїчного циклу роботи шахтної пїдйомної установкї: маневри і завантаження пїдйомних судин; зняття судин із посадкових пристроїв; прискорений рух; рївнорїмний рух; уповільнений рух; розвантаження пїдйомних судин [3]. На всіх етапах те-

хнологїчного циклу роботи пїдйомної машини спостерїгаються динамічні зусилля в пїдйомних канатах, якї можна класифїкувати так: а) зусилля при завантаженні і маневрах судин; б) зусилля від вимушених коливань пїдйомних судин на рїзних етапах технологїчного циклу; в) змінну величину ваги гїлок пїдйомного канату під час руху пїдйомної машини; г) зусилля при розвантаженні; г) сили інерції, якї виникають при прискоренні й уповільненні

підйомної машини. У праці [3] наведено рекомендації щодо запобігання резонансних явищ у механічній системі «шахтний копер – підйомна машина», а також сформульовано критерій забезпечення динамічної стійкості конструкцій шахтних копрів. У праці [3] подано результати статистичного аналізу коефіцієнтів динамічності зусиль у підйомних канатах для основних етапів технологічного циклу роботи підйомної машини: а) максимальні значення коефіцієнтів динамічності спостерігаються під час завантаження і маневрів підйомних судин на початку підйому: середні значення – 1,26...1,37, статистична оцінка максимальних значень – 1,96 (практично відповідає коефіцієнту динамічності за миттєвого прикладання навантаження); б) те саме за прискореного руху підйомної машини – 1,14...1,16 та 1,43; в) те саме за гальмування підйомної машини – 1,4...1,66; г) те саме за рівномірного руху – 1,14...1,2 та 1,4. Згідно з результатами дослідження динамічної поведінки конструкцій укисних шахтних копрів динамічні зусилля в підйомних канатах відповідають характеру вимушених коливань підйомних судин відносно положення статичної рівноваги і лінійно зв'язані з динамічними напруженнями в конструктивних елементах шахтних копрів. Кількість основних циклів навантажень конструкцій шахтних копрів головних підйомів залежно від технологічних ознак споруди утворює: $10 \times 10^5 \dots 10 \times 10^7$ [3]. Така кількість циклів навантаження відповідно до нормативних вимог [1] потребує перевірки конструкцій шахтних копрів на витривалість. Принципово визначення ресурсу конструкцій шахтних копрів за втомною міцністю має велике значення для систем технічного моніторингу цих відповідальних споруд, як критерій їхнього технічного стану [6; 7]. Однак у ДБН 2.6-198:2014 [1] немає необхідних даних для розрахунку конструкцій шахтних копрів на витривалість, а також у нормативних джерелах [8; 2] немає інформації щодо визначення розрахункових значень циклічних навантажень від натягнення підйомних канатів на конструкції шахтних копрів залежно від їхніх технологічних ознак. Тому розробка методики аналізу втомної міцності конструкцій шахтних копрів має актуальне наукове значення.

Постановка завдання. Для сталевих конструкцій та їхніх елементів, що сприймають циклічні навантаження з кількістю циклів понад $n =$

10^5 , передбачена нормативна вимога з перевірки на витривалість [1]. Згідно з нормативними вимогами [1] перевірка на витривалість здійснюється у формі оцінювання довговічності T , за яку приймається нормативний або прогнозний термін експлуатації, що забезпечується такою умовою втомної міцності:

$$\gamma_n a_T \leq 1, \quad (1)$$

де $a_T = \sum_{i=1}^j \frac{n_i}{N_i}$ – функція накопичення втомного пошкодження за термін експлуатації T ; n_i – кількість i -го типового циклічного навантаження; N_i – гранично допустима кількість циклів навантаження з амплітудою $\sigma_{a,i}$, яку обчислюють за формулою:

$$N_i = \frac{A_p 10^3}{\ln \left[\frac{2\sigma_{a,i}}{(1-\rho_i)R_{vi}} \right]} - B_p 10^3, \quad (2)$$

де A_p і B_p – параметри, які визначають згідно з таблицею Т.1 [1] залежно від групи елементів і з'єднань, характеристичного опору металопродукату і коефіцієнта асиметрії циклу ρ_i ; R_{vi} – межа витривалості, яку обчислюють за формулою:

$$R_{vi} = \frac{2\sigma_{-1}}{2-d_n(1+\rho_i)} \left(1 - 1,63 \frac{S_{\sigma-1}}{\sigma_{-1}} \right), \quad (3)$$

де σ_{-1} , $S_{\sigma-1}$, d_n – відповідно табл. Т.4, Т.5 [1].

Для аналізу ресурсу за втомною міцністю конструктивних елементів і з'єднань конструкцій шахтних копрів необхідно виконати такі завдання: 1) встановити типові проєктні режими навантажень, що відображають основні закономірності зміни рівня і повторюваності змінних напружень в елементах конструкцій, які мають урахувати технологічні ознаки споруд шахтних копрів; 2) для кожного i -го типового проєктного режиму навантажень необхідно визначити такі характеристики циклів: а) середні значення циклічних напружень з амплітудою $\sigma_{a,i}$ у розрахункових перерізах; б) мінімальні $\sigma_{min,i}$ і максимальні $\sigma_{max,i}$ рівні напружень у розрахункових перерізах; в) коефіцієнти асиметрії напружень ρ_i ; г) кількість циклів динамічних напружень n_i .

Вклад основного матеріалу. Оскільки динамічні напруження в розрахункових перерізах конструкцій шахтних копрів – це лінійні функції від рівнодійних натягнень підйомних канатів, для встановлення типових проєктних режимів вирішальний статистичний аналіз коефіцієнтів динамічності, результати якого наведено в табл. 1.

Числові характеристики коефіцієнтів динамічності зусиль у підйомних канатах під час основних режимів роботи шахтних підйомних установок (ШПУ)

№ з/п	Стадія роботи ШПУ	Математичне сподівання	Дисперсія	Довірчий інтервал ($\beta=0,95$)	Квантиль $P_0=0,9973$
1	Спуск – А	1,21	0,0122	1,15; 1,28	1,61
2	Спуск – Б	1,12	0,0052	1,09; 1,15	1,29
3	Спуск – В	1,14	0,0074	1,1; 1,18	1,43
4	Спуск – Г	1,08	0,0023	1,06; 1,1	1,24
5	Спуск – Д	1,17	0,0047	1,14; 1,20	1,40
6	Підйом – А	1,26	0,039	1,15; 1,37	1,96
7	Підйом – Б	1,12	0,0046	1,08; 1,15	1,32
8	Підйом – В	1,14	0,0055	1,11; 1,17	1,394
9	Підйом – Г	1,08	0,003	1,06; 1,1	1,27
10	Підйом – Д	1,18	0,0198	1,123; 1,24	1,66

Примітка. У таблиці застосовано систему позначень: «Спуск», «Підйом» – напрямок руху розглянутої гілки підйомного канату; «А» – маневри і завантаження підйомних судин; «Б» – зняття з посадкових пристроїв; «В» – прискорений рух; «Г» – рівномірний рух; «Д» – уповільнений рух.

Надалі оцінкою відповідного циклічного навантаження слугувала динамічна складова зусиль у гілках підйомного каната на відповідних стадіях технологічного циклу, яка відповідає верхній межі довірчого інтервалу математичного сподівання коефіцієнта динамічності за зусиллям, які наведені в табл. 1, і яку визначали у вигляді амплітуд зусилля в підйомному канаті за формулою:

$$S_{a,i} = S_i(k_{d,i} - 1), \quad (4)$$

де $S_{a,i}$ – амплітуда динамічних зусиль для i -го технологічного циклу; S_i – статична складова зусилля в підйомному канаті на i -му етапі, до якої додається інерційна складова під час прискореного руху підйомної машини; $k_{d,i}$ – коефіцієнт динамічності за внутрішнім зусиллям у підйомному канаті для i -го циклу навантаження, який приймають за верхньою межею довірчого інтервалу математичного сподівання (див. табл. 1).

Зауважимо, що статична складова зусилля в підйомному канаті у процесі роботи підйомної машини – величина змінна, тому що у процесі роботи підйомної установки одна з гілок перманентно стає довшою (гілка, що опускається), тоді як друга – коротшою (гілка, що підіймається). Водночас на стадіях нерівномірного руху підйомної машини в підйомних канатах діють сили інерції. За технічного моніторингу шахтних копрів навантаження на копри можна вимірювати в режимі реального часу, наприклад, методом, який описаним у [7]. Однак у цій праці статичну складову зусилля в підйомному канаті на всіх етапах приймали такою, що дорівнює максимальному статичному натягненню підйомного каната (завантажена судина на гілці підйом-

ного каната максимальної довжини), на етапах нерівномірного руху до неї додавались сили інерції з відповідним знаком.

Як показано на рис. 2, навантаження від натягнення підйомних канатів на конструкції укисних шахтних копрів прикладається у вигляді рівнодіючих від натягнення гілок каната, які визначають за формулою:

$$R_i = 1,414S_i\sqrt{(1 + \sin \alpha)}, \quad (5)$$

де α – кут нахилу відповідної гілки підйомного каната (див. рис. 2).

Оскільки між напруженнями в розрахункових перерізах і рівнодіючими є лінійний зв'язок, то амплітуда динамічних напружень у розрахунковому перерізі від i -го циклу навантаження для будь-якого елемента конструкцій копра можна виразити таким співвідношенням:

$$\sigma_{a,i} = \alpha_{a,i}R_i(k_{d,i} - 1), \quad (6)$$

де $\alpha_{a,i}$ – коефіцієнт лінійного переходу від навантаження i -го циклу до напружень у розрахунковому перерізі конструктивного елемента.

Для визначення коефіцієнтів асиметрії кожного i -го циклу навантаження в розрахункових перерізах конструктивних елементів підшківних конструкцій, виходячи з припущення несуттєвого впливу напружень від власної ваги конструкцій споруди і врахування формул (5) і (6), використовували формулу:

$$\rho_i = \frac{2 - k_{d,i}}{k_{d,i}}. \quad (7)$$

Для розрахункових перерізів гілок укосини, де вплив напружень від постійного навантаження (σ_n) суттєвий, коефіцієнти асиметрії циклів навантаження визначали за формулою:

$$\rho_i = \frac{2 - k_{d,i} + \frac{\sigma_n}{\sigma_i}}{k_{d,i} + \frac{\sigma_n}{\sigma_i}} \quad (8)$$

Групи конструкцій і з'єднань визначали відповідно до таблиці Т.1 [1], після чого за формулою (3) обчислювали значення меж витривалості для кожної групи конструктивних елементів і з'єднань споруди. За умови [6] $\frac{\sigma_{a,i}}{(k_{d,i}-1)} > R_{v,i}$ відповідний i -й цикл навантаження враховували у функції накопичення пошкоджень від втоми (1).

Відповідно до наведеної методики для реальної споруди (скіповий копер шахти «Свято-Покровська» ВПС-2) (див. рис. 1) проаналізовано цикли динамічних напружень у розрахункових перерізах конструктивних елементів основних несучих конструкцій. За конструктивною схемою шахтний

копер шатровий, складений з рам. Позначка обпирання напрямних шківів становить: +52,00 м і +60,00 м. Тип підйомних посудів СН15-221-1.5, швидкість підйому – 12 м/с. Найбільша висота підйому – 853 м. Позначка верху ригеля монорейки монтажного пристрою – +67.00 м. Рознесення гілок укосини в площині рам становить 20.00 м. Перерізи конструктивних елементів – коробчасті та двотаврові. Рознесення гілок укосини відносно осі ствола з площини рам укосин становить 50.00 м. Матеріал основних несучих конструкцій – сталь марки С245, С255. Аналіз напружено-деформованого стану конструкцій копра виконано на розрахунковій моделі споруди у вигляді апроксимації стрижневими скінченними елементами в ПК SCAD (рис. 4).

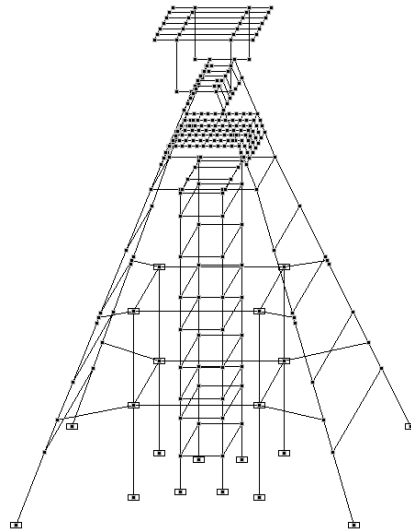


Рис. 4. Розрахункова модель шахтного копра у вигляді апроксимації стрижневими скінченними елементами в ПК SCAD

Амплітуду напружень під опорним підшипником визначали за формулою, отриманою відповідно до інженерної методики, наведеної у праці [5]:

$$\sigma_{a,i}^{loc} = \frac{0,7S_{a,i}(1+\sin \alpha)}{(b+2t_f)t_w} (k_{d,i} - 1), \quad (9)$$

де α – кут нахилу струни підйомного канату до обр'я, градуси; b – ширина підшви підшипника, см; t_w – товщина стінки вузла обпирання підшипника шківів, см; t_f – товщина полиці вузла обпирання підшипника шківів, см.

Аналізуючи втомну міцність, розглядали десять циклів навантажень відповідно до даних, наведених у табл. 1. Коефіцієнти асиметрії напру-

жень за відповідними стадіями роботи ШПУ в розрахункових перерізах характерних конструктивних елементів наведено в табл. 2.

У табл. 3 подано результати аналізу ресурсу основних несучих конструкцій шахтного копра, основною метою якого є встановлення циклів динамічних напружень у розрахункових перерізах, за яких відбувається накопичення втомних пошкоджень і відповідно обмеження ресурсу за втомою. Для виявлення зазначених циклів динамічних напружень використовували критерій, отриманий із положень [1]:

$$\frac{2\sigma_{a,i}}{R_{vi}(1-\rho_i)} > 1. \quad (10)$$

Таблиця 2

**Коефіцієнти асиметрії напружень ρ_i і амплітуди динамічних напружень $\sigma_{a,i}$ (Н/мм²)
у розрахункових перерізах конструкцій шахтного копра**

№ з/п	Стадія роботи ШПУ	Коефіцієнт динамічності $k_{a,i}$	$\rho_i/\sigma_{a,i}$ (Н/мм ²)		
			Підшківні конструкції*	Укосина, верхня частина**	Укосина, нижня частина***
1	Спуск – А	1,28	0,56/20,2	0,6/11,2	0,74/5,9
2	Спуск – Б	1,15	0,74/10,71	0,78/6	0,85/3,2
3	Спуск – В	1,18	0,69/12,88	0,73/7,2	0,82/3,8
4	Спуск – Г	1,1	0,82/7,14	0,84/4	0,9/2,1
5	Спуск – Д	1,2	0,67/14,28	0,7/8	0,8/4,2
6	Підйом – А	1,4	0,43/28,3	0,51/16	0,66/8,4
7	Підйом – Б	1,15	0,74/10,71	0,78/6	0,85/3,2
8	Підйом – В	1,17	0,71/12,34	0,74/6,8	0,83/3,6
9	Підйом – Г	1,1	0,69/7,14	0,84/4	0,9/2,1
10	Підйом – Д	1,24	0,61/17,15	0,65/9,6	0,77/5,1

Примітки. * Вузол обпирання опорних підшипників, амплітуда напружень визначені за формулою (9), коефіцієнт асиметрії напружень – за формулою (7). **Головна балка укосини, амплітуда напружень визначені за формулою (6) на підставі розрахунку в SCAD, коефіцієнт асиметрії напружень – за формулою (8). ***Вузол спряження гілки укосини з фундаментом – те саме за формулами (6) і (8)

Таблиця 3

**Межа витривалості для основних циклів навантажень і аналіз наявності обмеженого ресурсу
для основних конструктивних елементів шахтного копра**

№ з/п	Стадія роботи ШПУ	Межа витривалості і критерій відбору циклів навантаження для розрахункових перерізів					
		Підшківні конструкції*		Укосина, верхня частина**		Укосина, нижня частина**	
		R_{vi} Н/мм ²	$\frac{2\sigma_{a,i}}{R_{vi}(1-\rho_i)}$	R_{vi} Н/мм ²	$\frac{2\sigma_{a,i}}{R_{vi}(1-\rho_i)}$	R_{vi} Н/мм ²	$\frac{2\sigma_{a,i}}{R_{vi}(1-\rho_i)}$
1	Спуск – А	69	1,33	67,5	0,8	103,8	0,43
2	Спуск – Б	108,5	0,76	122,7	0,45	169	0,3
3	Спуск – В	94	0,9	87,1	0,61	69,2	0,61
4	Спуск – Г	144,5	0,55	207,7	0,04	270	0,16
5	Спуск – Д	89,2	0,97	90	0,59	135	0,31
6	Підйом – А	54,8	1,81	55,1	1,14	103,8	0,48
7	Підйом – Б	108,5	0,76	122,7	0,45	180	0,24
8	Підйом – В	99,3	0,86	103,8	0,5	158,8	0,27
9	Підйом – Г	108,6	0,42	168,8	0,2	270	0,16
10	Підйом – Д	76,7	1,15	77,1	0,71	117,4	0,4

Примітки. *Група конструкцій 5а. **Група конструкцій 7а. (Ідентичність за групами конструктивних елементів визначалась за табл. ТЗ [1]).

Відповідно до результатів, наведених у табл. 3, обмежений ресурс за втомною міцністю виявлено для вузлів обпирання напрямних шківів і для головних балок укосин.

Висновки

1. Динамічний характер технологічних навантажень від натягнення підйомних канатів суттєво впливає на несучу здатність конструкцій укосин шахтних копрів. За певних умов пульсуюча складова зусиль у підйомному канаті може спричинити

резонансні явища і втрату динамічної стійкості гілок укосини споруди.

2. На підставі статистичного аналізу експериментальних даних встановлено амплітуди динамічних зусиль у підйомних канатах для основних етапів технологічного циклу шахтних підйомних установок із машинами барабанного типу, які щодо статичних зусиль становлять діапазон: $0,1 \dots 0,4(S_i)$ (див. табл. 2).

3. Для характерної споруди, на підставі чисельного моделювання, для основних етапів технологічного циклу шахтної підйомної установки встановлено такі характеристики динамічних напружень: амплітуди динамічних напружень, які для різних розрахункових перерізів становлять діапазон $\sigma_{a,i}=2,1 \dots 28,3$ Н/мм²; коефіцієнти асиметрії – $\rho_i = 0,43 \dots 0,9$ (див. табл. 3).

4. На підставі методики [1] і критерію (10) проаналізовано втомну міцність основних несучих конструкцій характерної споруди, а саме обмежений ресурс за втомною міцністю для конструктивних елементів: підшківні конструкції на стадіях роботи «Спуск-А», «Підйом-А», «Підйом-Д»; головні балки укосини – «Підйом-А» (див. табл. 3).

5. У результаті аналізу втомної міцності основних несучих конструкцій характерної споруди встановлено, що з огляду на важкі умови експлуатації й клас відповідальності СС-3, ці споруди потребують моніторингу їхнього технічного стану, одним із важливих аспектів якого є контроль залишкового ресурсу за втомою.

6. Для розробки методики моніторингу ресурсу конструкцій копрів за втомою перспективні до-

слідження напружено-деформованого стану характерних конструктивних форм, спрямовані на систематизацію розрахункових перерізів і з'єднань.

Бібліографічний список

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проєктування. Київ: Мінрегіон України, 2014. 199 с.
2. ДБН В.1.2-2: 2006 Навантаження і впливи. Київ: Мінбуд України, 2006. 75 с.
3. Кущенко В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров: монография. Макеевка: ДонНАСА, 2006. 202 с.
4. Кущенко В. Н., Кулиш В. А. Анализ повреждаемости и аварийные состояния укосных шахтных копров. *Уголь Украины*. 2011. № 10. С. 39–43.
5. Кущенко В. М., Нечитайло О. Є. Забезпечення проєктної надійності вузлів обпирання напрямних шківів рамних укисних шахтних копрів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. № 82: *Теорія і практика будівництва*. 2015. С. 191–199.
6. Kushchenko V. M., Khomitskyi D. O. Vibration Monitoring of Steel Shaft Headgears. *Springer Nature Switzerland AG 2020 / Z. Blikharsky (ED): Eco CEE 2019. LNCE 47. Pp. 227–234.*
7. Kushchenko V. M., Nychytailo O. E. Monitoring of Dynamic Loads on Steel Headframes. *Springer Nature Switzerland AG 2020 / Z. Blikharsky (ED): Eco Comfort 2020, LNCE 100. Pp. 245–252.*
8. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. Киев: Госуглепром Украины, 1994. 68 с.

Стаття надійшла 21.06.2024