

В. М. Кущенко

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

О. Є. Нечитайло

Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”,  
кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТНОЇ НАДІЙНОСТІ ВУЗЛІВ ОПИРАННЯ НАПРЯМНИХ ШКІВІВ РАМНИХ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ**

© Кущенко В. М., Нечитайло О. Є., 2015

Наведено результати численних досліджень і натурних випробувань, що спрямовані на встановлення закономірностей розподілу місцевих напружень у вузлах опирання напрямних шківів, з урахуванням динамічного характеру навантажень. Математичне моделювання виконувалося в чотири етапи, які дали змогу виявити вплив ступеня ідеалізації розрахункової схеми, а також встановити крайові умови пружної взаємодії вузлів опирання напрямних шківів з іншою частиною споруди. На завершальному етапі чисельного моделювання, зі застосуванням програмного комплексу Ansys Workbench 14.0, отримано розрахункові моделі вузлів опирання напрямних шківів у вигляді сполучання конструкції (підшківна рама) і механізму (напрямний шків, підйомний канат і посудина). У результаті натурних експериментів встановлено адекватність розрахункових моделей, а також виконано дослідження амплітудно-частотних характеристик динамічних напружень у підшківних конструкціях. На підставі встановлених закономірностей розподілу місцевих напружень у вузлах опирання напрямних шківів розроблено інженерну методику розрахунку міцності підшківних конструкцій за критеріями дії місцевих напружень. Ця інженерна методика дає змогу врахувати вплив концентрації напружень у вузлах опирання напрямних шківів, що забезпечує їх проектну надійність.

**Ключові слова:** шахтний рамний укісний копер, підшківні конструкції, вузол опирання напрямного шківа, напружений стан, місцеві напруження, аналіз міцності.

The results of numerous researches the patterns of distribution of local stresses in the nodes supporting the guide pulleys. Research was carried out considering dynamic nature of the load. Mathematical modeling was carried in four stages, which revealed the influence of the degree of idealization and design scheme and set the boundary conditions of interaction nodes supporting the guide pulleys to the rest of the building. In the last step of numerical simulation in Ansys Workbench 14.0 obtained calculation models in the form of interface design (sub-pulley structures) and the mechanism (the guide pulley, the hoisting rope and the vessel). As a result of field experiments it was set adequacy calculation models and dynamic stresses in sub-pulley structures designs. On the basis of the established laws designed engineering method for calculating the strength of sub-pulley structures designs on criteria the actions of local stresses. This engineering method allows to take into account the effect of stress concentration in the nodes supporting the guide pulleys, which ensures reliability and design.

**Key words:** frame sloping shaft headgear, sub-pulley structures, guide pulley resting unit, strength analysis, stressed state, local stresses.

### **Постановка проблеми**

Укісні шахтні копри є найвідповіднішими спорудами шахтної поверхні, оскільки вони забезпечують вертикальний транспорт, функціонування системи автоматики безпеки шахтних підйомних установок (рис. 1). На цей час в Україні, укісні шахтні копри рамної системи визнана одними з найраціональніших для наявних умов видобудку корисних копалин [11]. У зв'язку з

необхідністю поглиблення шахт спостерігаємо тенденцію збільшення навантажень на конструкції шахтних копрів. Перевірковий розрахунок підшківних конструкцій реальних споруд з застосуванням уточнених розрахункових схем, у низці випадків показав недостатню несучу здатність підшківних конструкцій з критерію міцності за місцевими напруженнями, у вузлах опирання напрямних шківів [5, 9]. Внаслідок специфічності конструктивних форм і умов прикладання навантаження від натягнення підйомних канатів (рис. 1) нормативні інженерні методики визначення місцевих нормальних напружень у стінках балок [5–7] відносно результатів математичного моделювання НДС дають суттєво занижені результати, що зумовлено наявністю ефекту концентрації напружень під основою опорних підшипників напрямних шківів [8]. Наявність суттєвої концентрації напружень у вузлах опирання напрямних шківів було також виявлено в результаті експериментальних досліджень [10]. Так сьогодні існує проблема забезпечення проектною надійності вузлів опирання напрямних шківів рамних укісних шахтних копрів.

**Мета роботи** – забезпечення проектною надійності вузлів опирання напрямних шківів на конструкції рамних укісних шахтних копрів.

Для досягнення означеної мети вирішені такі завдання: 1) виконано експериментальне дослідження і математичне моделювання напруженого стану вузлів опирання напрямних шківів; 2) розроблена уточнена методика перевірки міцності підшківних конструкцій на дію місцевих напружень у вузлах опирання напрямних шківів.

### **Математичне моделювання напружено-деформованого стану підшківних конструкцій**

Наближення розрахункових моделей до дійсної роботи конструкцій, здійснювалось у чотири етапи [4]: на першому етапі об'єкти моделювання апроксимувались стержньовими скінченими елементами в середовищі програмного комплексу SCAD (рис. 1, а); на другому етапі – елементи розрахункової схеми підшківних конструкцій апроксимувались пластинчастими скінченими елементами в середовищі програмного комплексу LIRA, опорні підшипники напрямних шківів моделювались за допомогою об'ємних скінчених елементів (рис. 1, б); на третьому етапі – в середовищі програмного комплексу LIRA проводилося чисельне моделювання напружено-деформованого стану підшківних конструкцій з докладною деталізацією вузлів опирання напрямних шківів (рис. 1, в); на четвертому етапі – чисельне моделювання напружено-деформованого стану підшківних конструкцій здійснювалось в середовищі програмного комплексу Ansys Workbench 14.0, який дав змогу змодельовати не лише підшківні конструкції, але і механічну частину підйомної установки (у складі напрямних шківів, підйомних канатів, наведених мас підйомних судин), що дало змогу дослідити динамічну взаємодію опорних підшипників напрямних шківів з підшківними конструкціями (рис. 1, г, д).

Чисельне моделювання напружено-деформованого стану підшківних конструкцій на 4-му етапі здійснювали на підставі таких припущень [2, 3, 9]: а) взаємодія підшківних конструкцій з іншою частиною споруди розглядали за схемою геометрично лінійної пружної взаємодії; б) пластинчасті скінчені елементи розташовувалися по серединним площинам стінок і поясів конструктивних елементів коробчатого і двотаврового перетину; в) канати моделювалися у вигляді пружних лінійних безінерційних елементів з характеристиками жорсткості, еквівалентними осьової жорсткості підйомних канатів; г) з'єднання пластинчастих скінчених елементів у вузлах розрахункової схеми – жорстке; д) струна і гілка підйомного канату прикріплялися жорстко до прямого шківів в місці торкання обох шківів, а також у місці торкання барабана підйомної машини; е) об'ємні скінчені елементи опорних підшипників напрямних шківів прикріплялися до пластинчастих елементів підшківних конструкцій за допомогою жорстких односторонніх зв'язків, що працюють на стиск, але дають змогу переміщувати в горизонтальному напрямку; ж) маса підйомного посудини і гілки підйомного каната за принципом кінетичної подібності наводились до вільного кінця пружного елемента, що моделює підйомний канат; і) коефіцієнт тертя між опорним підшипником і елементами опорного вузла підшківного рами таким, що дорівнює 0,2.

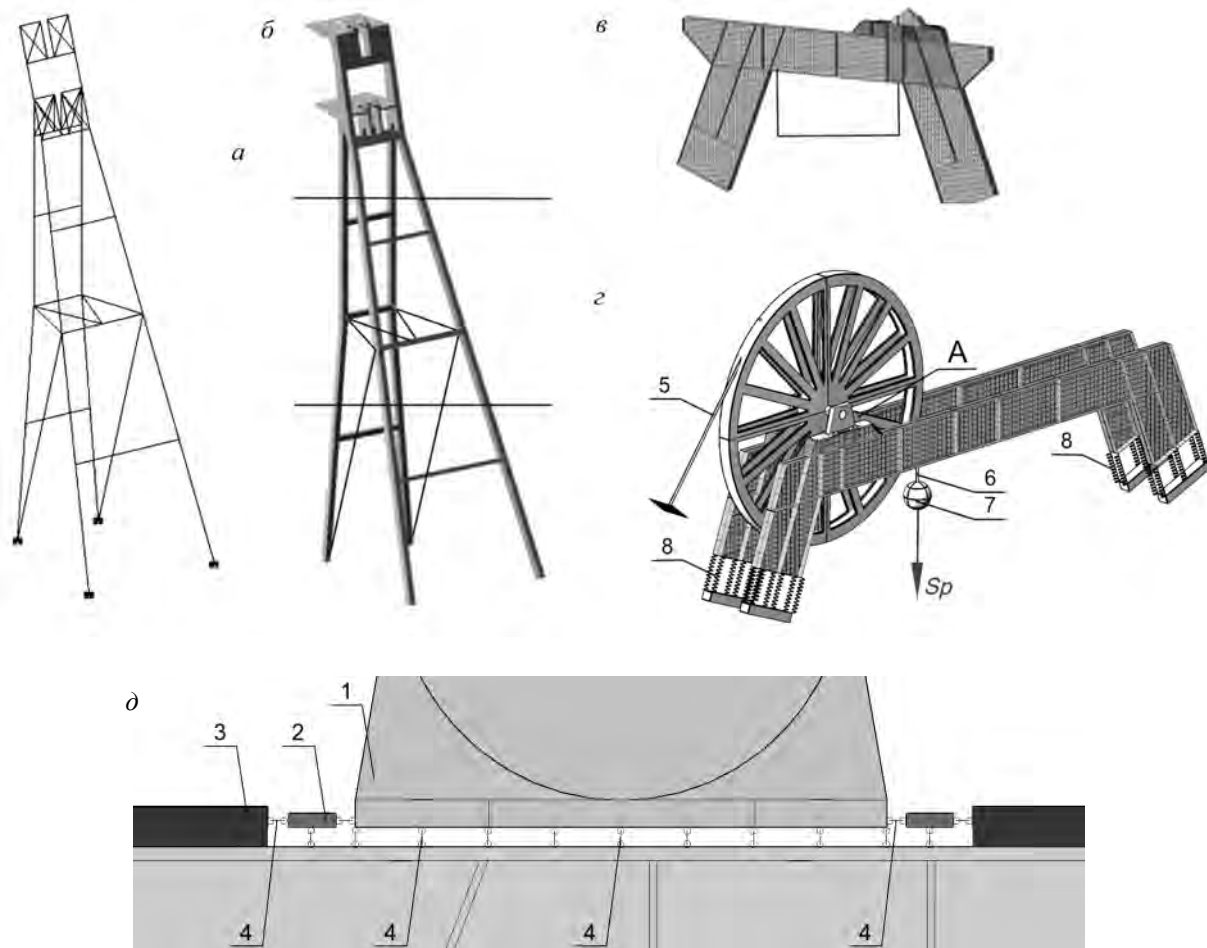


Рис. 1. Етапи моделювання напружено-деформованого стану рамних укiсних шахтних копрiв: а – апроксимацiя стержньовими скiнченими елементами; б – апроксимацiя пластинами; в – модель пiдшкiвних конструкцiй з пластин i об’ємних елементiв; г – модель пiдшкiвних конструкцiй разом з напрямними шкiвами, пiдйомними канатами i посудинами; д – вузол “А” (вузол опирання пiдшипника шкiва); 1 – об’ємний скiнчений елемент, що моделює опорний пiдшипник; 2 – клини упорiв, що закрiплюють опорний пiдшипник напрямного шкiва в горизонтальному напрямку; 3 – упори; 4 – односторонi зв’язки розрахункової моделi; 5 – скiнчений елемент, що моделює струну пiдйомного канату; 6 – скiнчений елемент, що моделює гiлку пiдйомного канату; 7 – наведена маса посудини i канату; 8 – пружно-податливі елементи розрахункової схеми, якi моделюють взаємодiю з iншою частиною споруди;  $S_p$  – змiнна зосереджена сила, що виникає внаслiдок вимушених коливань пiдйомної емності

Крайові умови взаємодії підшківної рами з іншою частиною споруди забезпечувалися введенням напружено-деформованих зв’язків, які моделювали осьову жорсткість вузлів конструктивної схеми. До розрахункових моделей прикладали опосередковані динамічні навантаження від натягу підйомних канатів двох видів [11]: а) навантаження нормальної експлуатації, що змінювались за гармонійним законом з амплітудою значення змінної складової зусилля, рівної  $1,96 S_p$ , де  $S_p$  – робоче натягнення підйомного каната (рис. 1, г); б) аварійне навантаження від розриву підйомного каната, що прикладалося як імпульс у вигляді половини синусоїди, тривалістю 0,8 с і з амплітудою, що дорівнює розривному зусиллю підйомного каната.

Аналіз напружено-деформованого стану низки характерних об’єктів на розрахункових моделях, реалізованих у середовищі програмного комплексу “Ansys Workbench 14.0”, дав змогу виявити такі зони місцевих напружень (зона “А” див. рис. 4): “А1” – полиця вузла опирання підшипника шківів; “А2” – стінка вузла опирання підшипника шківів; “А3” – зварні шви переднього упору підшипника шківів (рис. 2).

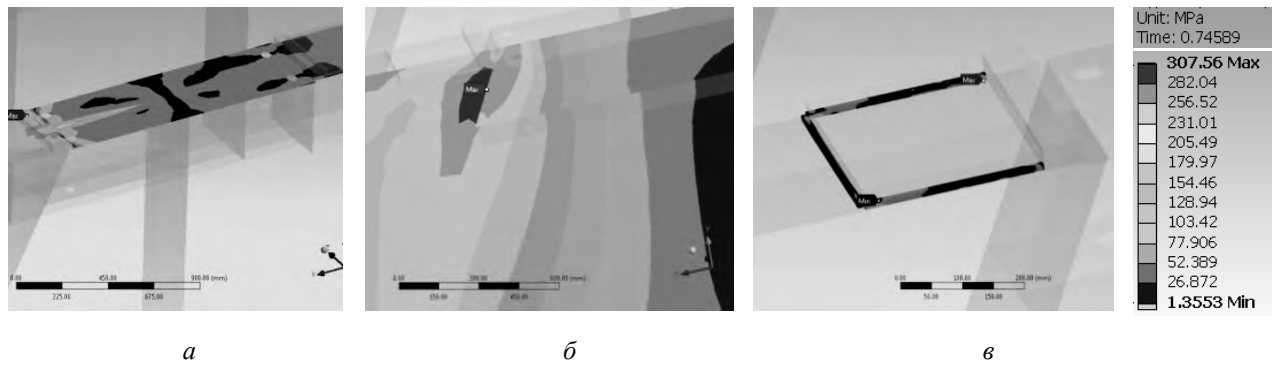


Рис. 2. Характерні зони місцевих напружень:  
 а – “А1” полка вузла опирання підшипника шківів;  
 б – “А2” стінка вузла опирання підшипника шківів;  
 в – “А3” зварні шви переднього упору підшипника шківів

У низці випадків (для копрів з висотою підйому більше ніж 800 м) для зони локальних напружень “А2” для “аварійних” комбінацій навантажень виявлені випадки недостатньої міцності за нормальними і приведеними напруженнями ( $\sigma_{loc}^{max} / R_y \gamma_c = 1,2 \dots 1,6$ ;  $\sigma_{red}^{max} / 1,15 R_y \gamma_c = 1,1 \dots 1,4$ ) [4, 6]. У цих випадках для забезпечення міцності у місцевих напруженнях потрібно збільшувати товщину стінки підшківної конструкції до 30–40 мм, що вказує на невіддалене традиційне конструктивне рішення вузлів опирання напрямних шківів.

Напружений стан у зоні місцевих напружень “А2” наближені до одноосового напруженого стану. На відміну від традиційних уявлень найнапруженіша точка в зоні “А2” знаходиться не на лінії дії вертикальної складової рівнодіючої зусилля від натягу підйомного каната, а зміщена до переднього упору.

Встановлено, що положення найбільш напруженої точки в зоні “А2” не залежить від кута нахилу рівнодіючої натягу підйомного каната, а визначається точкою перетину лінії, проведеної з центру вала напрямного шківів під кутом 45°, з нижньою гранню верхньої полки вузла опирання підшипника [8].

### Результати експериментальних досліджень НДС підшківній конструкції у вузлах опирання напрямних шківів

Натурний експеримент виконувався з метою перевірки основних припущень, використаних під час розроблення чисельних моделей. Під час експерименту вимірювалися: статичні і динамічні деформації у вузлах опирання напрямних шківів, параметри вимушених і власних коливань. Вимірювання деформацій здійснювалося методом тензометрування, використовувалися розетки з трьох тензодатчиків. Схему розміщення розеток тензодатчиків наведено на рис. 3, 4.

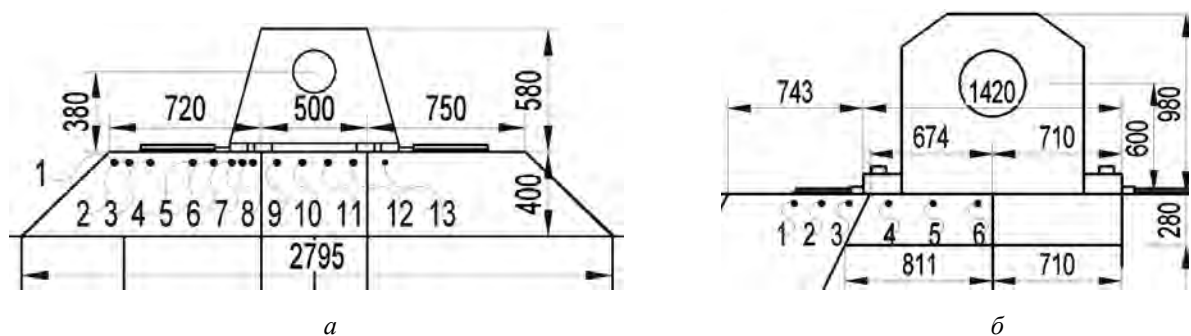


Рис. 3. Схема розміщення розеток тензометричних датчиків у вузлах опирання напрямних шківів:  
 а – півшатрового клітьового копра; б – комбінованого півшатрового клітьового копра;  
 1–13 – номери точок вимірювання

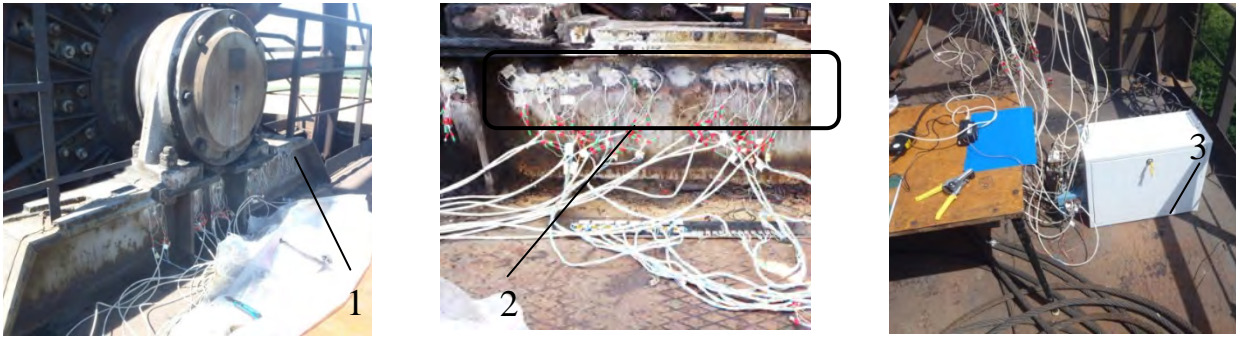


Рис. 4. Загальний вигляд розміщення вимірювального обладнання на підшківних конструкціях:  
 1 – віброметр ASSISTANT SI V3; 2 – тензодатчики; 3 – приладовий модуль “ОБЕН”

Реєстрація показань тензодатчиків здійснювалася за допомогою універсальної цифрової багатоканальної вимірювальної системи на базі приладових модулів “ОБЕН”. Реєстрація виконувалася протягом двох повних технологічних циклів роботи шахтної підйомної установки. Параметри вимушених і власних коливань споруд вимірювалися віброметром ASSISTANT SI V3, який розташовувався на передньому упорі підшипника шківів (рис. 4).

Отримані експериментальні дані оброблялися статистичними методами і методом гармонійного аналізу. У результаті опрацювання експериментальних даних отримано: значення головних напружень (рис. 5); спектри частот власних і вимушених коливань; параметри динамічних напружень [10].

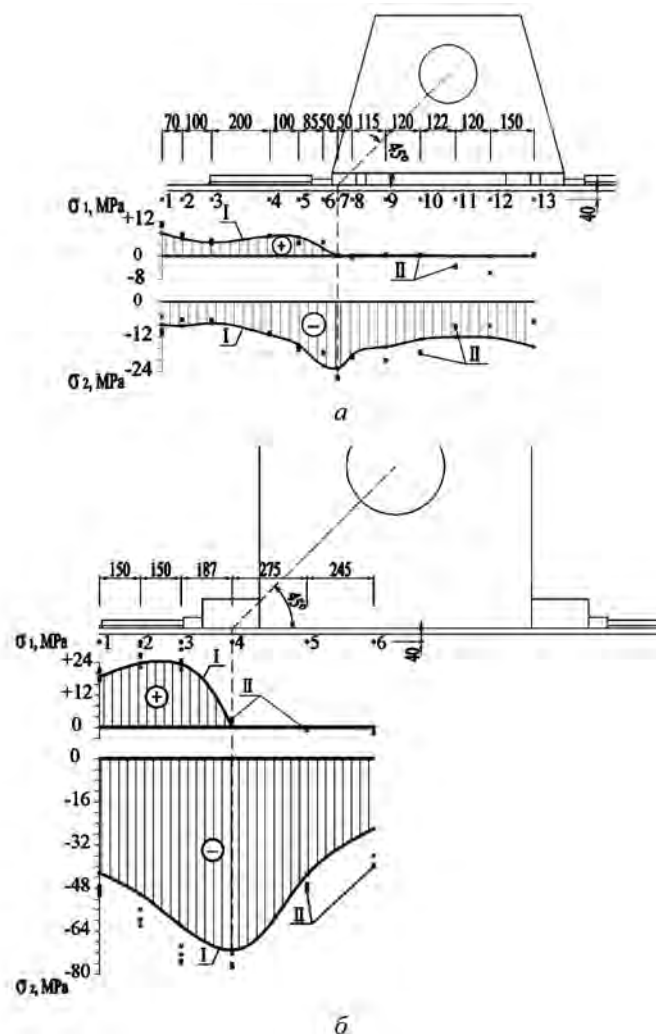


Рис. 5. Епюри головних напружень у вузлах опирання напрямних шківів порівняно з експериментальними даними: а – півшатрового клітьового копра; б – комбінованого півшатрового копра;  
 I – теоретичні епюри головних напружень; II – експериментальні значення напружень

Порівняння розрахункових епюр розподілу головних напружень з експериментальними даними, наведеними на рис. 4, показало задовільну збіжність, як за видами напруженого стану, так і з розташуванням точок з екстремальними значеннями напруг. Розбіжності між розрахунковими й експериментальними значеннями напруг у розрахункових точках для перевірки місцевої та втомної міцності за довірчої ймовірності 0,95 становили діапазон: 5–10 % [10].

Гармонійний аналіз динамічних напружень у найбільш напружених точках вузлів опирання напрямних шківів дав змогу встановити діаграми розмаху напруг, які показали необмежений ресурс вузлів по втомної міцності (рис. 6).

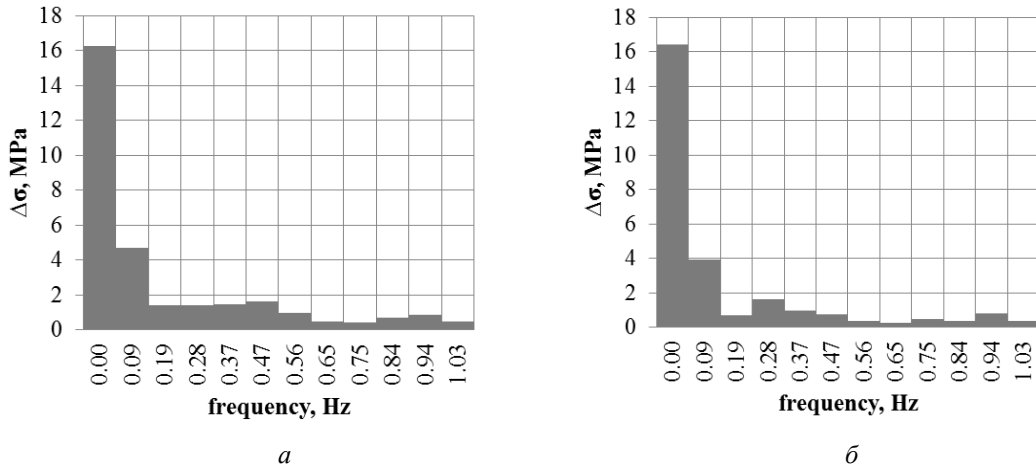


Рис. 6. Амплітудно-частотні характеристики динамічних напружень у розрахункових точках вузлів опирання напрямних шківів:

*a* – півшатрового клітьового копра;

*б* – комбінованого півшатрового клітьового копра

Експериментальні значення частот власних коливань і результати чисельного моделювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Порівняння експериментальних і розрахункових значень частот**

Номер частоти	Розрахункові значення частот згідно з SCAD, Гц	Експериментальні значення частот, Гц	Розбіжність, %
1	2	3	4
Півшатровий клітьовий копер			
1	1,3	1,25	3,85
2	2,024	2,0	1,19
3	2,186	2,5	12,56
4	3,49	3,15	9,74
5	3,855	4	3,63
Комбінований півшатровий клітьовий копер			
1	0,996	1,02	2,4
2	1,633	1,6	2,0
3	2,031	2	1,5
4	2,151	2,2	2,2
5	2,427	2,5	2,9

Згідно з даними табл. 1 розбіжності між експериментальними і розрахунковими значеннями власних частот не перевищують 12,6 %.

Загалом результати експериментальних досліджень підтвердили справедливність припущень, покладених в основу математичного моделювання динамічної взаємодії підшківний конструкцій з рухомими частинами підйомної установки (напрямний шків, підйомні канати, підйомні судини). Так, методика математичного моделювання, яку покладено в основу теоретичного дослідження, є адекватною.

**Інженерна методика перевірки міцності підшківних конструкцій  
на дію місцевих напружень у вузлах спирання напрямних шківів**

На підставі результатів експериментальних досліджень [7, 8], які підтвердили гіпотези і припущення щодо методики чисельного моделювання, розроблено план експерименту регресійного аналізу з розмірністю матриці планування  $2^3$ , результати якого дали змогу встановити залежності між екстремальними значеннями місцевих напруг і значимими факторами впливу:

$$\sigma_{loc}^{max}(x_1, x_2, x_3) = 268.5 + 207.3 \frac{x_1 - 2653625}{2041015} + 12.5 \frac{x_2 - 50}{15} - 41.1 \frac{x_3 - 16}{4} + 7.2 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right)^2 + 6.6 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right)^2 - 14.01 \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right)^2 + 6.6 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) - 27.4 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) - 16.4 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) [МПа] \quad (1)$$

$$\sigma_{red}^{max}(x_1, x_2, x_3) = 326.3 + 247.7 \frac{x_1 - 2653625}{2041015} + 10.6 \frac{x_2 - 50}{15} - 58.9 \frac{x_3 - 16}{4} + 2.2 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right)^2 + 0.4 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right)^2 + 9.5 \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right)^2 + 9.9 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) - 47.6 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) - 2.2 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) [МПа], \quad (2)$$

де  $x_1$  – величина зусилля натягування каната, Н;  $x_2$  – кут нахилу струни каната до горизонту, градус;  $x_3$  – товщина стенки, мм.

На підставі залежності (1) розроблено інженерну методику перевірки міцності стінки вузлів опирання напрямних шківів за місцевими нормальними напруженням, що передбачає використання коефіцієнтів концентрації напружень. Коефіцієнт концентрації нормальних напружень пропонується визначати за такою формулою:

$$k_n = \frac{\sigma_{loc}^{max}(b + 2t_f)t_w}{0,5S_r(1 + \sin \alpha)}, \quad (3)$$

де  $\sigma_{loc}^{max}$  – визначається на підставі регресійної залежності (1) як функція максимальних нормальних напружень у найнапруженішій точці ( $S_r, \alpha, t_w$ );  $S_r$  – величина розривного зусилля підйомного канату, кН;  $\alpha$  – кут нахилу струни підйомного канату до обр'я, градуси;  $b$  – ширина підшви підшипника, см;  $t_w$  – товщина стінки вузла опирання підшипника шківів, см;  $t_f$  – товщина полки вузла опирання підшипника шківів, см;  $k_n$  – коефіцієнт концентрації нормальних напружень (значення  $k_n$  наведено на рис. 6).

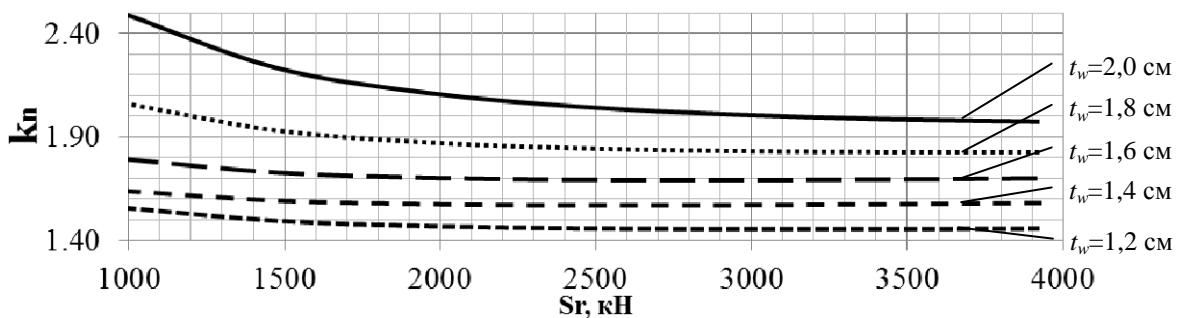


Рис. 6. Графіки для визначення коефіцієнта концентрації нормальних напружень  $k_n$  під підшвою підшипника

Перевірка міцності стінки вузла опирання напрямного шківів за нормальними напруженням виконується за такою формулою:

$$\frac{0,5S_r(1 + \sin \alpha)k_n}{(b + 2t_f)t_w R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (4)$$

Перевірку міцності стінки вузла опирання напрямного шківів за наведеними напруженнями пропонується проводити за такою формулою:

$$\frac{0,5S_r(1 + \sin \alpha)\xi_n}{(b + 2t_f)t_w R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (5)$$

де  $\xi_n$  – коефіцієнт переходу від середніх нормальних напружень під основою підшипника до максимального значення наведених напружень, визначається на підставі регресійної залежності (2) за такою формулою:

$$\xi_n = \frac{\sigma_{red}^{max} (b + 2t_f)t_w}{0,5S_r(1 + \sin \alpha)}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнта переходу  $\xi_n$  наведено на графіках рис. 7.

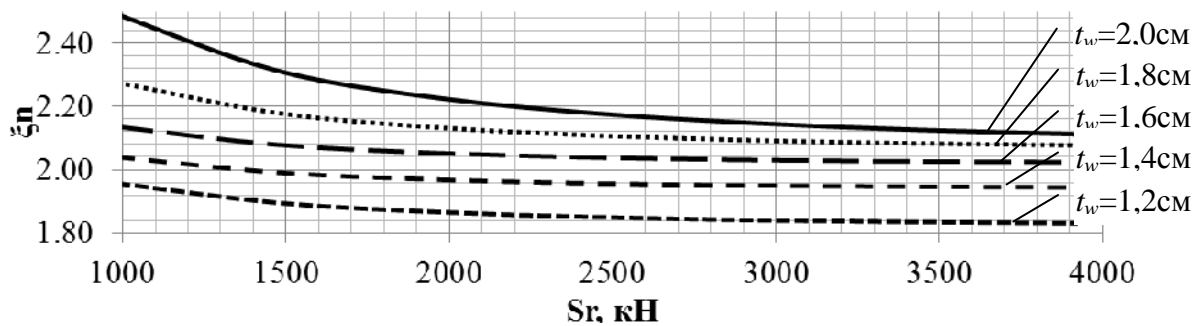


Рис. 7. Графіки визначення коефіцієнту переходу від нормальних напружень під основою підшипника до максимального значення наведених напружень  $\xi_n$ .

Аналіз чисельних експериментів з моделювання напружено-деформованого стану вузлів опирання напрямних шківів показав, що напруги змінання з торця переднього упору розподіляються нерівномірно [4, 6], що необхідно враховувати під час перевірки міцності на змінання переднього упору. Явище концентрації напружень змінання пояснюється нерівномірної деформацією стінки вузла опирання напрямного шківів і пов'язаним з цим поворотом ущільнювальних клинів "2" (рис. 8).

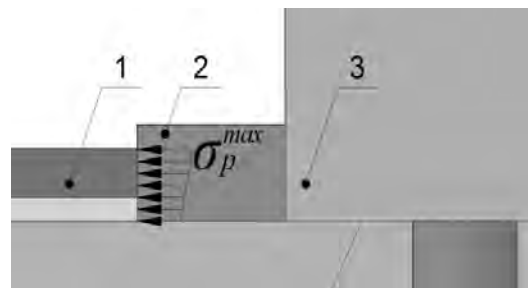


Рис. 8. Розподіл нормальних напружень по торцю переднього упору:  
1 – упор; 2 – ущільнювальний клин; 3 – підшипник напрямного шківів

Згідно з результатами чисельних досліджень концентрація напружень змінання на торцевій поверхні переднього упору становить:  $k_p = 1,5$ . У зв'язку з цим перевірку міцності на змінання торцевої поверхні переднього упору слід виконувати за такою формулою:

$$\frac{0,5k_p S_r \cos \alpha}{t_p a R_p \gamma_c} \leq 1, \quad (7)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт концентрації напружень змінання торцевої поверхні переднього упору ( $k_p = 1,5$ );  $t_p$  – товщина упору.



## Висновки

1. Розроблено чисельні моделі напружено-деформованого стану підшківних конструкцій з урахуванням динамічної взаємодії з напрямними шківками, підйомними канатами і посудинами як єдиної механічної системи.

2. Встановлено, що під підшоною підшипника (у стінці підшківної конструкції) нормальні і наведені напруги є нерівномірними з локальним максимумом, який знаходиться на перетині лінії, проведеної під кутом  $45^\circ$  з центру вала шківка, з нижньою гранню полиці вузла опираючого напрямного шківка.

3. Порівняння розрахункових ізополей напруг у вузлах опираючих напрямних шківків з експериментальними даними, показало їхню задовільну збіжність (розбіжність між розрахунковими й експериментальними значеннями напруг за довірчої ймовірності 0,95 становить діапазон 5–10 %).

4. Розроблена інженерна методика перевірки міцності за місцевими нормальними і наведеними напруженнями в стінці вузла опираючого напрямного шківка залежно від величини розривного зусилля підйомного каната, кута нахилу струни каната до горизонту і товщини стінки.

1. Куценко В. М. Аналіз прочності вузлів опираючих напрямляючих шківків рамних укосних шахтних копров [Текст] / В. М. Куценко, О. Є. Нечитайло // *Металеві конструкції*. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 15–27.
2. Куценко, В. М. Аналіз усталостної прочності вузлів опираючих многоканатних шківків трення рамного шахтного копра [Текст] / В. Н. Куценко, А. Е. Нечитайло // *Сборник докладов по материалам XIII Международной конференции “Материалы. Методы. Технологии”, 18–22 февраля 2013 г. / редкол. Главацкая и др. – п. Плавья : УИЦ, 2013. – С. 103–105.*
3. Куценко В. М. Аналіз втомної міцності конструкції рамних шахтних копрів [Текст] / В. М. Куценко, О. Є. Нечитайло // *Металеві конструкції*. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 171–183.
4. Куценко В. М. Аналіз напружено-деформованого стану вузлів опираючих напрямляючих шківків на підшківні конструкції шахтного укосного копра : [Текст] / В. М. Куценко, О. Є. Нечитайло // *Металеві конструкції*. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 97–109.
5. Куценко В. М. Аналіз напружено-деформованого стану основних несучих елементів рамних укосних шахтних копрів [Текст] / В. М. Куценко, О. Є. Нечитайло // *Металеві конструкції*. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 151–165.
6. Куценко В. М. Закономерности распределения местных напряжений в подшківных конструкциях рамных укосных копров [Текст] / В. М. Куценко, О. Є. Нечитайло // *Металеві конструкції*. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 203–213.
7. Куценко В. Н. Факторный анализ напряжённого состояния узлов опираючих напрямляючих шківків рамных шахтних копров [Текст] / В. Н. Куценко, А. Е. Нечитайло // *Безопасность жизнедеятельности : Сб. науч. тр. – Днепропетровськ : ГВУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. № 71, Т. 2. – С. 92–101.*
8. Куценко В. Н. Факторный анализ напряжённого состояния узлов опираючих напрямляючих шківків рамного шахтного копра [Текст] / В. Н. Куценко, А. Е. Нечитайло // *Сборник докладов научно-практической конференции “Расчёт и проектирование металлических конструкций”, 25 марта 2013 г. / редкол. Туснин. – М. : МГСУ, 2013. – С. 153–159.*
9. Analysis of the mode of deformation of the sub-pulley structures on shaft sloping headgear structures [Текст] / A. Ye. Nechytailo, Ye. V. Horokhov, V. N. Kushchenko, J. Hildebrand // *19<sup>th</sup> International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering Weimar, Germany / K. Gurlebeck, T. Lahmer and F. Werner (Editors). – Weimar, 2012. – 19. – P. 1–16. – ISSN 1611-4086.*
10. Kuschenko Volodymyr. Experimental research of the mode of deformation of sub-pulley structures of shaft frame-type sloping headgear [Текст] / Volodymyr Kuschenko, Alexander Nechytailo // *Металеві конструкції*. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 143–154.
11. Куценко В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтних копров [Текст] : монографія / В. Н. Куценко ; Донбасская нац. акад. стр. и арх. – *Макеевка : ДонНАСА, 2006. – 202 с. : ил., табл.*