

УДК 624.059.3:624.96

Кущенко В.М., д.т.н. професор

*Національний університет «Львівська політехніка» м. Львов, Україна;*

Нечитайло О.Є., к.т.н. асистент

*Державний ВНЗ "Національний гірничий університет", м. Дніпропетровськ, Україна*

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НА МІСЦЕВУ МІЦНІСТЬ ВУЗЛІВ ОПИРАННЯ НАПРАВЛЯЮЧИХ ШКІВІВ ШАХТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК**

**Актуальність теми.** Укiснi шахтнi копри є найбільш відповідальними спорудами шахтної поверхні, оскільки від їхньої надійності залежить безперервність технологічних процесів, вентиляція гірських виробок і безпека транспортування вантажів і людей. Аварії шахтних копрів мають катастрофічні наслідки (наприклад обвалення копра шахти Бажанова ДП «Макіїввугілля»), основними причинами яких є: тяжкі умови експлуатації, інтенсивні динамічні навантаження, недостатньо точні інженерні методики розрахунків.

На цей час на вуглевидобувних підприємствах України експлуатується приблизно 356 металевих укiсних шахтних копрів, для більшості яких спостерігається тенденція збільшення навантажень від натягу підйомних канатів, що обумовлено необхідністю видобутку вугілля із глибин більше 1500 м. Перевірочні розрахунки вже зведених споруд у ряді випадків показали недостатню міцність вузлів опирання напрямних шківів при дії місцевих напружень. Аналіз конструктивних рішень вузлів опирання напрямних шківів показав їхню нераціональність, яка проявляється в необхідності застосування для стінок підшківних конструкцій сталевих листів товщиною більше 30 мм. Крім цього, в керівних галузевих нормативних документах не враховується динамічний характер навантажень від натягу підйомних канатів.

Таким чином, для забезпечення міцності вузлів опирання напрямних шківів рамних укiсних шахтних копрів, необхідне уточнення існуючих інженерних методик розрахунків підшківних конструкцій.

**У попередніх дослідженнях** авторів [3-6] виконувався аналіз напружено-деформованого стану рамних укiсних копрів на просторових розрахункових схемах апроксимованих пластинчастими і об'ємними кінцевими елементами. Таке моделювання дозволило визначити закономірності розподілу місцевих напружень у вузлах опирання напрямних шківів з урахуванням динамічного характеру навантаження [3, 5, 6]. Отримані закономірності розподілу місцевих напружень у вузлах опирання напрямних шківів були підтверджені експериментальними дослідженнями на діючих укiсних шахтних копрах [12]. Проте в даний час в літературних джерелах відсутні методики щодо розрахунку підшківних конструкцій рамних укiсних копрів [2, 7, 8, 9].

**Об'єктом дослідження** є підшківні конструкції рамних укісних копрів.

**Метою дослідження** є удосконалення методики розрахунку вузлів опирання направляючих шківів.

**Завданням дослідження** є аналіз концентрації напружень у вузлах опирання напрямних шківів.

**Методика досліджень.** Для розв'язку поставленого завдання використовувався метод чисельного моделювання напружено-деформованого стану підшківних конструкцій з використанням МКЕ (метод кінцевих елементів) у середовищі програмного комплексу «Ansys Workbench 14.0». Дослідження виконувалося у 2 етапи. На 1 етапі виконувався аналіз міцності по нормальних місцевих напруженнях ( $\sigma_{loc}$ ) у стінці вузла опирання від дії вертикальної складової рівнодіючої сили від натягу піднімального канату в зоні «А2». На 2 етапі виконувався аналіз міцності по енергетичній теорії міцності по наведених напруженнях ( $\sigma_{red}$ ) у зоні «А2».

**1 етап.** Розрахунки на міцність стінки балки при дії нормальних місцевих напружень ( $\sigma_{loc}$ ) від зосередженої сили (прикладеної до верхнього пояса) відповідно до положень ДБН В.2.6-163:2010 [1] і EN 1993-1-5:2006 [10, 11] міцність стінки балки перевіряється відношенням нормальних місцевих напружень ( $\sigma_{loc}, \sigma_{Z,Ed}$ ) до розрахункового опору стали.

Для визначення можливості використання зазначених нормативних методик перевірки місцевих нормальних напружень, у вузлах опирання напрямних шківів, було виконано чисельне моделювання вузлів показаних на рис. 1.

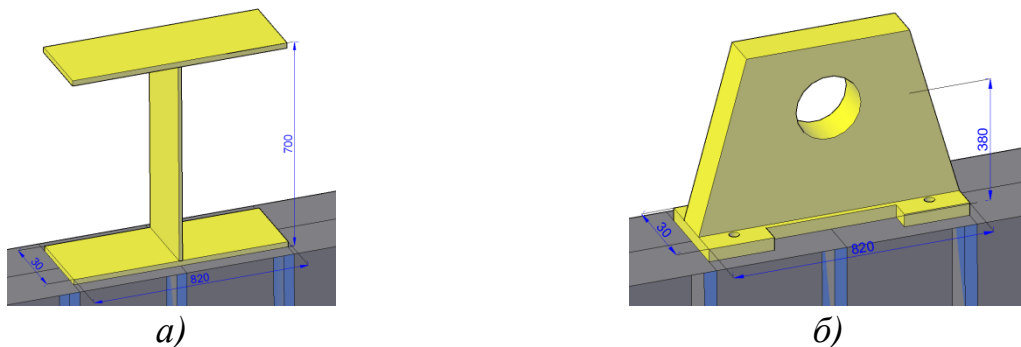


Рис. 1. Конструктивні схеми вузлів опирання: а) двотаврова балка; б) характерний підшипник стаціонарного напрямного шківа Ш-ба.

У рамках чисельного експерименту виконаний порівняльний аналіз напруженого стану вузлів поверхового опирання балок, а також вузлів опирання напрямних підшипників. Принциповою відмінністю зазначених чисельних моделей, була різна жорсткість конструктивних елементів які передають зосереджену силу.

**2 етап.** У зоні найбільших наведених напружень спостерігається точка локального максимуму наведених напружень  $\sigma_{red}^{max}$  [3, 5]. Для встановлення

впливу кута нахилу струни піднімального канату на положення точки локального максимуму ( $\sigma_{red}^{max}$ ) були виконані чисельні експерименти, у яких варіювалося відношення вертикальної ( $V$ ) до горизонтальної ( $H$ ) складових рівнодіючої ( $R$ ) від натягу піднімального канату. Відношення  $V/H$  варіювалося в діапазоні  $0 \dots \infty$ . При варіюванні  $V/H$  визначався полярний кут ( $\theta$ ) і полярний радіус ( $r$ ) розрахункової точки  $\sigma_{red}^{max}$ .

**Результати досліджень.** Як показали результати чисельного моделювання, розподіл місцевих напружень для розглянутих вузлів [5, 6] має наступні істотні відмінності: а) місцеві напруження під опорним підшипником мають сідлоподібний характер розподілу, з концентрацією напружень у граничних областях (див. рис. 2б), тоді, як у вузлах поверхового опирання балок місцеві напруження розподіляються по випуклій кривій з максимумом розташованим під стінкою елемента опирання (див. рис. 2а); б) при зсуві елемента опирання до місця опорного закріплення нижче розположеної конструкції (див. рис. 2г) розподіл місцевих напружень під опорним підшипником мають несиметричний характер з більш високим ступенем концентрації нормальних напружень, зазначене явище не спостерігається для вузлів поверхового опирання двотаврових балок (див. рис. 2в).

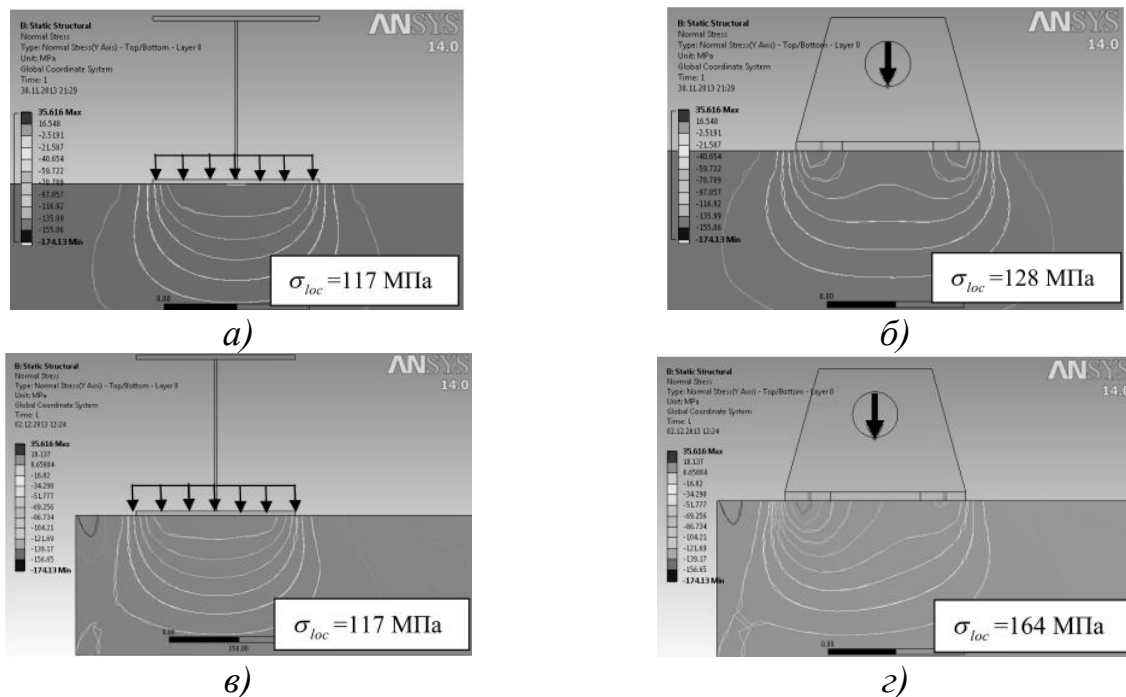


Рис. 2. Ізолінії нормальних місцевих напружень ( $\sigma$ ) у стінці опорної балки: а) двотаврова балка (середина прольоту); б) підшипник стаціонарного напрямного шківa Ш-ба (середина прольоту); в) двотаврова балка (у приопорній області); г) підшипник стаціонарного напрямного шківa Ш-ба (у приопорній області).

Аналіз і узагальнення теоретичних досліджень дозволив установити наступні закономірності розподілу нормальних місцевих напружень:

а) максимальні місцеві нормальні напруження в стінці виникають під опорним підшипником у точці розташованій на відстані  $2/5b$  від центру майданчика опирання підшипника (див. рис. 3);

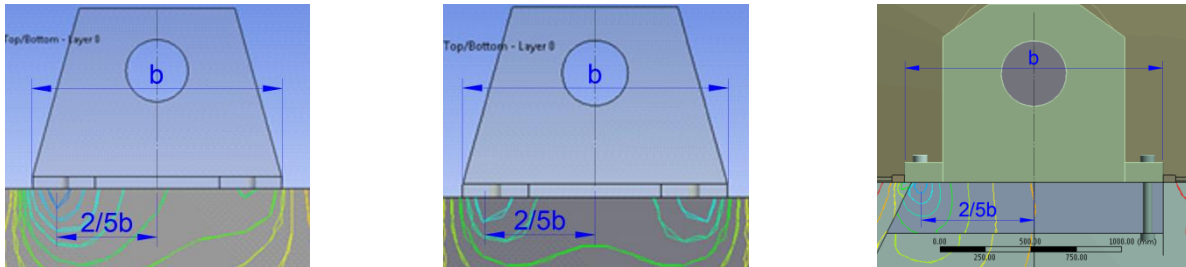


Рис. 3. Розташування точки з максимальними місцевими нормальними напруженнями.

б) у зоні дії місцевих нормальних напружень (на відстані  $2/5b$  від центру майданчика опирання підшипника) спостерігається концентрація напружень, при цьому коефіцієнт концентрації напружень при варіюванні факторів впливу може становити діапазон 1,37-2,5;

г) при наближенні опорного підшипника до вузла опирання підшківної конструкції на головну балку укосини, під опорним підшипником спостерігається збільшення коефіцієнта концентрації напружень (див. рис. 2б, 2г) на 22%.

д) у цілому порівняння результатів чисельного дослідження демонструє неможливість використання нормативних інженерних методик [1, 10, 11] для перевірки міцності вузлів опирання напрямних шківів по місцевих нормальних напруженнях.

е) нормальні місцеві напруження у вузлах опирання напрямних шківів виникають від дії вертикальної складової рівнодіючої сили від натягу піднімального канату;

ж) нерівномірний характер місцевих нормальних напружень можна враховувати коефіцієнтом концентрації нормальних напружень  $k_n$ , який слід визначати у функції від наступних факторів впливу: величина зусилля натягу піднімального канату; кут нахилу струни піднімального канату; товщина стінки підшківної конструкції.

На підставі вищесказаного, перевірку міцності по нормальних напруженнях пропонується робити по наступній формулі:

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

де  $S_r$  – величина розривного зусилля піднімального канату, кН;  $\alpha$  – кут нахилу струни канату до обрію, градус;  $k_n$  – коефіцієнт концентрації нормальних напружень;  $b$  – ширина подошви підшипника, див;  $t_w$  – товщина стінки вузла

опирання підшипника шківів, см;  $t_f$  – товщина полки вузла опирання підшипника шківів, см.

Коефіцієнт концентрації нормальних напружень  $k_n$ , по наступній формулі:

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

де  $\sigma_{loc}^{max}$  – визначається на підставі регресійної залежності [5], як функція максимальних нормальних напружень у найбільш напруженій крапці  $f(S_r, \alpha, t_w)$

Закономірності положення точки локального максимуму  $\sigma_{red}^{max}$  (у полярній системі координат) при варіюванні  $V/H$  наведені у роботі [5].

У точці локального максимуму наведених напружень спостерігається напружений стан близький до лінійного, при відношенням головних напружень  $\sigma_1 / \sigma_2 = -0,001$ . Внаслідок чого, перевірку міцності по наведених напруженнях пропонується робити по наступній формулі:

$$\frac{0,5S_r(1 + \sin \alpha)\xi_n}{(b + 2t_f)t_w R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (3)$$

де  $\xi_n$  – коефіцієнт переходу від середніх нормальних напружень під подошвою підшипника до максимального значення наведених напружень;

Коефіцієнт переходу  $\xi_n$  визначається на підставі регресійної залежності [6], по наступній формулі:

$$\xi_n = \frac{\sigma_{red}^{max} (b + 2t_f)t_w}{0,5S_r(1 + \sin \alpha)} \quad (4)$$

### Висновки:

1) Розподіл місцевих нормальних напружень у стінці вузла опирання напрямного шківів мають сідлоподібний характер розподілу (див. мал. 2б, 2г) з концентрацією напружень виникаючої на відстані  $2/5b$  від центру майданчика опирання підшипника (див. рис. 3). Коефіцієнт концентрації напружень при наближенні опорного підшипника до вузла опирання підшківної конструкції на головну балку укосини збільшується на 22% і може становити діапазон 1,37-2,5. Внаслідок цього перевірка місцевих нормальних напружень у стінці вузла опирання напрямного шківів, із застосуванням нормативних методик [1, 10], неможлива.

2) Запропонована інженерна методика перевірки міцності місцевих нормальних напружень у стінці вузла опирання напрямного шківів залежно від величини розривного зусилля піднімального канату, кута нахилу струни канату до обрису й товщини стінки.

3) На основі регресійного аналізу можливо отримати значення коефіцієнтів переходу від середніх нормальних напружень під подошвою підшипника до максимального значення наведених напружень, які можуть використовуватися для перевірки міцності стінки вузла по наведених напруженнях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-163. Норми проектування, виготовлення і монтажу. Сталеві конструкції/—Київ: Мінрегіонбуд України, 2011–132с.
2. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров: (Монография). - Макеевка ДонНАСА, 2006. - 203 с.
3. Кущенко В.Н., Нечитайло А.Е. Анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшківные конструкции шахтного укосного копра//Металеві конструкції. — Т.18. — №2. — Макіївка, 2012. — С.97-109.
4. Кущенко В.Н., Нечитайло А.Е. Анализ напряженно-деформированного состояния основных несущих элементов рамных укосных шахтных копров//Металеві конструкції. — Т.17. — №3. — Макіївка, 2011. — С.151-165.
5. Кущенко В.Н., Нечитайло А.Е. Закономерности распределения местных напряжений в подшківных конструкциях рамных укосных копров //Металеві конструкції. — Т.19. — №4. — Макіївка, 2013.
6. Кущенко В.Н., Нечитайло А.Е. Факторный анализ напряженного состояния узлов опирания направляющих шкивов рамных шахтных копров // Сб. научных трудов. Вып. 71. Т.2. – Дн-вск., ГВУЗ ПГАСА, 2013. — С. 92-101.
7. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения: Учеб. для строит, вузов / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов, Г. И. Белый и др.; Под ред. В. В. Горева. — 2-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 2002. — 544 с: ил. ISBN 5-06-003787-8 (т. 3).
8. Научные основы обеспечения надежности и экономичности шахтных копров / В. Н. Кущенко, В. М. Левин, В. Ф. Мущанов.– Макеевка : ДонНАСА, 2012.– 461 с.
9. Розенблит Г.Л. Стальные конструкции зданий и сооружений угольной промышленности [Текст] / Г. Л. Розенблит. – М. : Углетехиздат, 1953. – 272 с.
10. EN 1993-6: 2007 (E) Eurocode 3 Design of steel structures - Pt 6: Crane supporting structures.
11. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: General rules - Plated structural elements.
12. Kushchenko V.N., Nechitaylo A.Ye. Experimental research of the mode of deformation of sub-pulley structures of shaft frame-type sloping headgear//Металеві конструкції. — Т.19. — №3. — Макіївка, 2013.