



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2012, ТОМ 18, НОМЕР 3, 171–183

УДК 624.96

(12)-0268-1

АНАЛІЗ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ РАМНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Отримана 3 вересня 2012; прийнята 20 вересня 2012.

Анотація. У статті наведені результати аналізу втомної міцності конструкцій рамного шахтного копра з багатоканатною підйомною установкою, зокрема вузлів обпирання направляючих шківів на подшківні конструкції. Аналіз проводився на розрахунковій моделі, що складається з плоских і просторових кінцевих елементів, реалізованої в середовищі програмного комплексу «ANSYS Workbench 14.0». В результаті численних експериментів у верхній і нижній подшківних рамах полушатрового копра встановлені характерні зони змінних напружень. Виконано аналіз характерних зон при дії динамічних навантажень, де були визначені характеристики циклів динамічних напружень. За певними характеристиками циклів виконані перевірки втомної міцності за трьома методиками: СНиП II-23-81* (п. 9.2*), ДБН В.2.6-163 (п. 1.11.2) і EN1993-1-9-2009 (п. 8). В цілому отримані результати є основою для вдосконалення інженерних методик розрахунку сталевих конструкцій шахтних укісних копрів з урахуванням динамічних навантажень.

Ключові слова: шахтні копри, вузли опираючі спрямувальних шківів, місцеві напруження, втомні напруження, характеристики циклу напружень, втомна міцність.

АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАМНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Получена 3 сентября 2012; принята 20 сентября 2012.

Аннотация. В статье приведены результаты анализа усталостной прочности конструкций рамного шахтного копра многоканатной подъемной установки наземного базирования, в частности узлов опирания направляющих шкивов. Анализ производился на расчетной модели, состоящей из плоских и пространственных конечных элементов, реализованной в среде программного комплекса «Ansys Workbench 14.0». В результате численных экспериментов в верхней и нижней подшківных рамах полушатрового копра установлены характерные области переменных напряжений. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния при действии динамических нагрузок и определены характеристики циклов динамических напряжений. По определенным характеристикам циклов выполнены проверки усталостной прочности по трем методикам: СНиП II-23-81* (п. 9.2*), ДБН В.2.6-163 (п. 1.11.2) и EN1993-1-9-2009 (п. 8). В целом полученные результаты являются основой для совершенствования инженерных методик расчета стальных конструкций шахтных укосных копров с учетом динамических нагрузок.

Ключевые слова: шахтные копры, узлы опирания направляющих шкивов, местные напряжения, усталостные напряжения, характеристики цикла напряжений, усталостная прочность.

ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO FATIGUE OF SHAFT FRAME-TYPE SLOPING HEADGEAR STRUCTURES

Volodymyr Kushchenko, Alexander Nechitailo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Received 3 September 2012; accepted 20 September 2012.

Abstract. There are the results of the analysis of resistance to fatigue of shaft frame-type sloping headgear with multiple-hoist as in the joints guide pulley resting on the under pulley constructions in the article. The analysis was done by the design model consisting of plane and solid finite elements and which was realized in the program «Ansys Workbrench 14.0». Due to the numerical results in the top and bottom sub-pulley frames semi-hipped system headgear was detected the characteristic areas of variable stresses. Was done the analysis of specific areas under the influence dynamic loads, where were identified the characteristics of dynamic stress cycles. Referring to the characteristics of cycles were tested resistance to fatigue by three methods: SNiPII-23-81* (§ 9.2*), DBN V.2.6-163 (§ 1.11.2) and EN1993-1-9-2009 (§ 8). In whole, the results obtained are the base to improve the engineering procedures of designing steel structures of shaft sloping headgear considering the dynamic loads.

Keywords: the shaft sloping headgear, joint of a guide pulley resting, the local stresses, the fatigue stress, the characteristics of stresses cycle, the resistance to fatigue.

Актуальность

Стальные шахтные копры являются сварными конструкциями, воспринимающими интенсивные сосредоточенные динамические нагрузки от натяжения подъёмных канатов [15]. Характерная особенность рамных шахтных копров – конструктивная форма элементов подшкивных рам, которые представляют собой пространственные листовые конструкции коробчатого типа, по существу не являющиеся стержнями. Как правило, в проектной практике – при расчётной идеализации – эти конструктивные элементы аппроксимируют стержневыми конечными элементами, и расчёт производится на статические эквиваленты динамических нагрузок от натяжения подъёмных канатов [8, 9]. Вследствие такого условного подхода расчёт не позволяет выявить зоны распределения местных напряжений, а также характеристики циклов динамических напряжений, которые необходимы для проверки усталостной прочности. Таким образом, нормативные инженерные методики расчёта конструкций шахтных копров недостаточно точны и требуют усовершенствования [11, 12].

Предыдущие исследования

Результаты исследований напряженно-деформированного состояния шахтных копров приведены в работах М. М. Жербина [13, 14], И. М. Балкарея [17, 18, 19], В. Н. Кущенко и др. авторов [10, 11, 12]. Исследования – связанные с определением динамического характера нагрузок на конструкции шахтных копров – выполнены в работах В. Д. Белого [20], В. И. Дворникова [21], В. Н. Кущенко [15, 16] и других авторов [17, 25]. В работах В. Н. Кущенко [15] приведены результаты исследования динамического характера нагрузок от натяжения подъёмных канатов.

В работе авторов данной статьи [11] выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния основных несущих элементов рамного укосного шахтного копра. Анализ производился по двум конечноэлементным расчетным моделям, реализованным в программных комплексах SCAD и LIRA в виде стержневой и пластинчатой аппроксимации элементов, основные выводы которой заключаются в следующем:

- наиболее нагруженными конструктивными элементами сооружений этого типа являются: главный ригель укосины и подшкивные рамы;
- сопоставление результатов расчета по главным и приведенным напряжениям по двум расчётным схемам (стержневая и пластинчатая аппроксимация элементов) не выявил существенных расхождений для следующих элементов: ветви укосин; стойки вертикальной опоры; ригели укосины; ригели вертикальной опоры, для которых аппроксимация стержневыми конечными элементами допустима;
- аналогично: для главных ригелей укосины и подшкивных рам выявлены весьма существенные отклонения от 82 до 167 % для этих конструкций аппроксимация стержневыми конечными элементами при расчёте даёт качественно неправильные результаты;
- выявленное в результате численного эксперимента превышение приведенных напряжений в подшкивных конструкциях (полученных на пластинчатой расчётной модели) над аналогичными напряжениями (полученными на стержневой расчётной модели) объясняется наличием зоны местных напряжений в узлах опирания подшипников направляющих шкивов.

В работе авторов [12] выполнен подробный анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшкивные конструкции, который производился на расчётной модели, состоящей из плоских и пространственных конечных элементов при условиях статического нагружения. Указанная расчётная модель реализована в среде программного комплекса «LIRA». В указанной работе выявлены следующие характерные области распределения местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов: а) «1» – область распределения локальных напряжений под подошвой опорного подшипника близка к линейному напряжённому состоянию ($\sigma_{\max 1} / \sigma_{\max 2} = -0,018$); б) «2» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке узла крепления шкива ($\sigma_{\max 1} / \sigma_{\max 2} = -0,335$); в) «3» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля ($\sigma_{\max 1} / \sigma_{\max 2} = -0,212$); г) «4» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля

(без существенных концентраций напряжений) близка к линейному напряжённому состоянию ($\sigma_{\max 1} / \sigma_{\max 2} = -0,087$). Необходимо отметить, что в области локальных напряжений «1» в стенке ригеля подшкивной конструкции при «аварийном» сочетании нагрузок была выявлена необеспеченность условия прочности по касательным и приведенным напряжениям ($\sigma_{\text{прив}} / 1,15R_y \gamma_c = 1,1$; $\tau_{\max} / 0,58R_y \gamma_c = 1,1$).

Выявлена зависимость коэффициента концентрации напряжений в стенке ригеля подшкивной конструкции в зоне локальных напряжений «1» при изменении угла наклона равнодействующей от натяжения подъёмного каната в диапазоне 30...65°. При изменении угла наклона равнодействующей от натяжения подъёмного каната привязка центра области локальных напряжений (область «1» на рисунке) к оси вращения шкива не изменяется, однако размеры данной области, при изменении угла наклона равнодействующей, увеличиваются в 1,7 раза, при этом закон изменения имеет линейный характер. Местные напряжения в этой области уменьшаются с увеличением угла наклона равнодействующей от натяжения подъёмного каната.

Как уже отмечалось, результаты работы [12] были получены при условиях эквивалентного статического нагружения. Вследствие этого параметры циклов динамических напряжений в рассматриваемых задачах не определены. Поскольку нагрузки от натяжения подъёмных канатов имеют ярко выраженный динамический характер [15], определение характеристик динамических напряжений в подшкивных конструкциях необходимы для проверки их усталостной прочности.

Объектом исследования являются подшкивные конструкции скипового полушатрового рамного копра, который находится в условиях эксплуатации.

Копер имеет следующие технические характеристики: высота копра – 40,0 м; разнос ветвей укосины – 13,0 м; расстояние между укосиной и центром ствола – 20,5 м; наклон ветвей укосины к горизонту 63°; сечения ветвей укосин – двутавровое; материал конструкций – сталь С255 (рис. 1).

Подшкивные конструкции рамных укосных копров служат для опирания направляющих

а)



б)

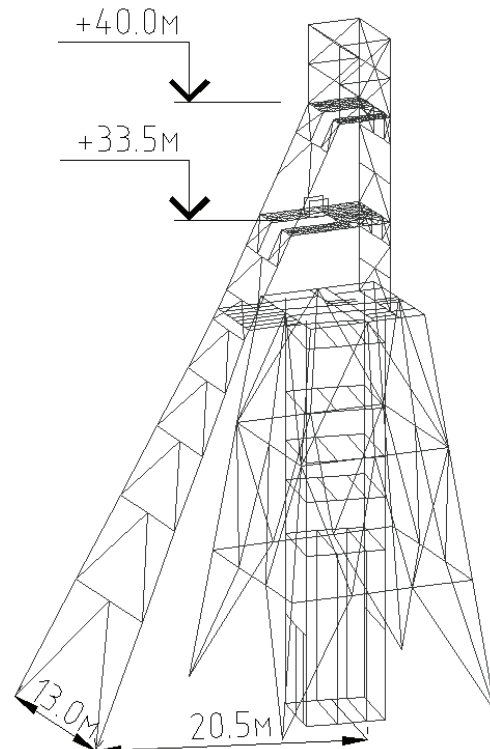


Рисунок 1. Общий вид (а) и геометрическая схема (б) конструкций клетового шатрового рамного копра.

шківов. В данной работе рассмотрены подшивные конструкции верхнего и нижнего шківов.

По конструктивной схеме рассматриваемые подшивные конструкции представляют собой раму с наклонной стойкой (угол наклона к горизонту – 63°). Ригель рамы выполнен из сварного двутавра высотой 1 400 мм, шириной полок 400 мм. Сечения наклонных стоек выполнены из сварных двутавров высотой 1 000 мм, ширина полок 400 мм. Подшипник направляющего шкива опирается на верхний пояс рамы. В месте опирания предусмотрены горизонтальные и вертикальные ребра жесткости, служащие для обеспечения местной устойчивости стенки ригеля, а также для крепления болтов опорного подшипника направляющего шкива. Фотоиллюстрации узла опирания подшипника показаны на рис. 2.

Цель исследования:

Анализ усталостной прочности сварных узлов рамных шахтных копров.

Задачи исследования:

1. Определение напряженно-деформированного состояния сварных узлов при **нагрузках нормальной эксплуатации с учётом динамической составляющей усилия в подъёмном канате при ускоренном движении подъёмной машины.**
2. Анализ напряженно-деформированного состояния в области распределения местных напряжений в сварных узлах крепления направляющих шківов.
3. Проверка усталостной прочности сварных узлов опирания направляющих шківов по различным методикам: СНиПП-23-81* (п.9.1); ДБН В.2.6-163 (п. 11.1); EN 1993-1-9-2009 (п. 8).
4. Разработка рекомендации по обеспечению усталостной прочности стальных конструкций рамных шахтных копров.

Методика исследования

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций велось в три этапа:



Рисунок 2. Узел опирания подшипника направляющего шкива.

1 этап. Моделирование напряженно-деформированного состояния подшипных конструкций на пространственной расчетной схеме, аппроксимированной пластинчатыми и объемными конечными элементами в среде программно-вычислительного комплекса Ansys Workbench 14.0 [22].

2 этап. Моделирование нагрузок нормальной эксплуатации с учётом динамической составляющей усилия натяжения подъёмного каната при ускоренном движении подъёмной машины.

3 этап. Проверка усталостной прочности.

1 этап

При моделировании рассматриваемый объект (узел опирания направляющего шкива на подшипные конструкции) рассматривался как механическая система, состоящая из трёх подсистем.

1 подсистема: геометрически неизменяемая система конструктивных элементов подшипной рамы и элементов крепления опорных подшипников направляющих шкивов (рис. 3);

2 подсистема: механизм направляющего шкива (рис. 4а);

3 подсистема – «канат – подъемные сосуды» состоящая из следующих элементов: струны подъемного каната; вертикальной ветви подъемного каната и подъемного сосуда (рис. 4б).

Расчетная схема 1-й подсистемы. Подшипные конструкции моделировалась в среде про-

граммного комплекса Ansys Workbench 14.0 [22] в виде пространственной системы, состоящей из объемных и плоских конечных элементов.

Создание конечно-элементной сетки выполнялось в сателлите «Mesh» программного комплекса Ansys Workbench 14.0. Клинья подшипников, болты подшипников, упоры подшипников и сварные швы крепления упоров к верхней полке подшипной рамы выполнены из объемных конечных элементов. Листовые конструкции подшипной рамы аппроксимированы плоскими квадратными и треугольными конечными элементами. Объемные элементы узлов крепления подшипников аппроксимированы гексаэдрическими, а где это невозможно, тетраэдрическими твердотельными конечными элементами.

Плотность сетки и ее размеры генерировались в программе автоматически по имеющимся в составе программы оптимизационным блокам. Размеры конечных элементов: для полок и стенки подшипных конструкций – 20–50 мм; для стенки и полки узла опирания шкива – 5–10 мм.

Подшипные конструкции рассматривались как присоединённые, с учетом краевых условий упругого взаимодействия с остальной частью сооружения. Указанное взаимодействие моделировалось путем закрепления подшипных рам к абсолютно жёсткому основанию упруго-податливыми связями, эквивалентными жёсткости конструкций шахтного копра в узлах сопряжения подшипных конструкций с главными балками укосины и вертикальной опоры.

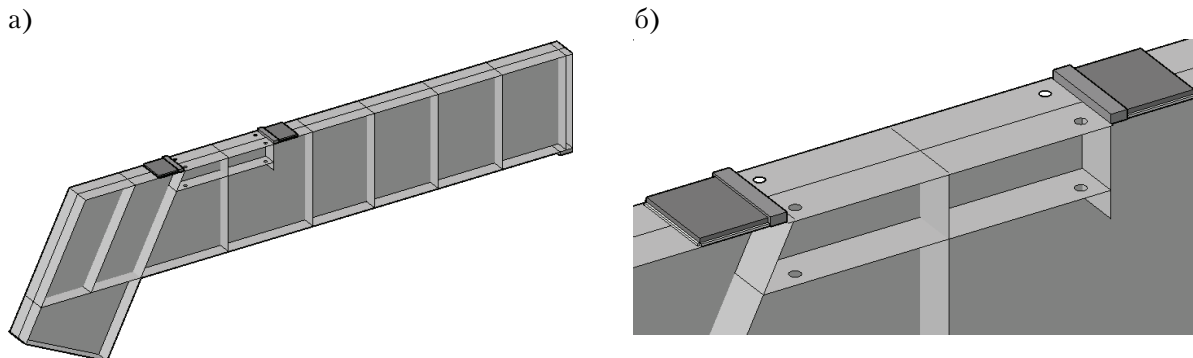


Рисунок 3. Подсистема 1: а) подшивная рама; б) узел крепления направляющего шкива.

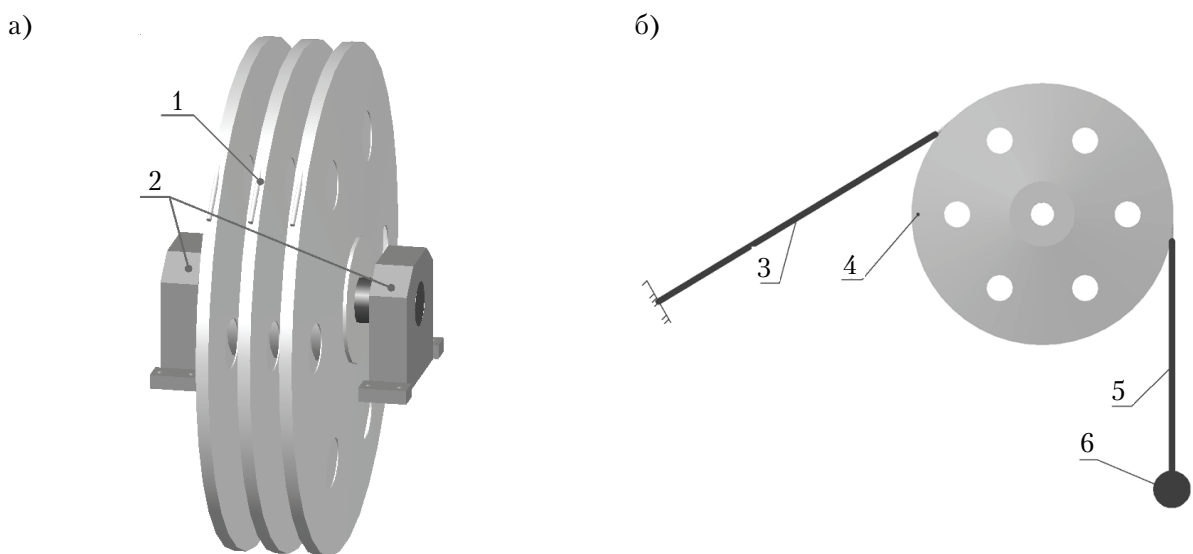


Рисунок 4. Подсистемы 2 (а) и 3 (б): 1 – направляющий шкив; 2 – опорные подшипники; 3 – струна подъемного каната; 4 – направляющий шкив; 5 – вертикальная ветвь подъемного каната; 6 – сосуд.

Взаимодействие подошвы опорного подшипника направляющего шкива с рамой и клиньями упоров моделировалось «односторонним контактом», работающим только на сжатие. Клинья и упоры аппроксимированы объемными конечными элементами. Крепления упоров угловыми сварными швами катетом 10 мм моделировались объемными конечными элементами.

Расчетная схема 2-й подсистемы. Направляющий шкив, вал, подшипник направляющего шкива моделировались объемными конечными элементами в соответствии с их геометрическими параметрами. При помощи программного сателлита «*Transient structural*» [22] взаимодействие шкива с валом выполнялось так, чтобы шкив имел кинематическую степень свободы соответствующую вращению в опорных подшипниках.

Расчетная схема 3-й подсистемы. Канаты моделировались в виде упругих элементов с характеристиками жесткости эквивалентными осевой жесткости подъемных канатов. Наклонный элемент (струна подъемного каната) и вертикальный элемент (ветвь подъемного каната). Масса подъемного сосуда и ветви подъемного каната рассматривалась как приведенная на конце вертикального упругого элемента.

2 этап

Моделирование динамического характера нагрузок от натяжения подъемных канатов производилось следующим образом (рис. 5): к сосредоточенной приведенной массе подъемного каната и сосуда расчетной схемы 3-й подсистемы («канат-шкив-сосуд») приклады-

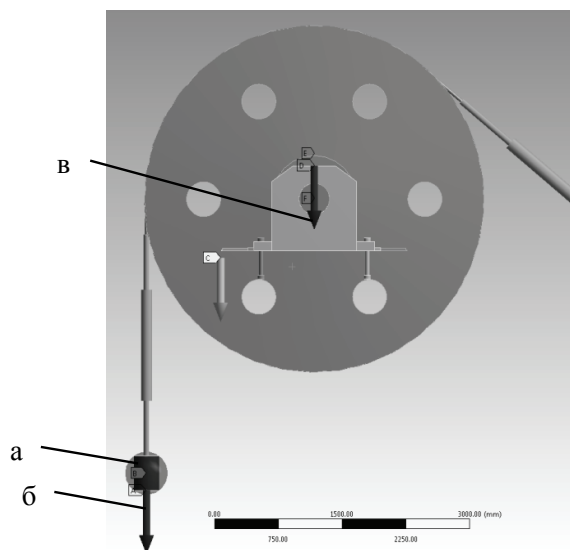


Рисунок 5. Расчетная схема подсистемы «шків-канат-подъемный сосуд»: а) приведенная масса сосуда и каната; б) переменная сосредоточенная сила, возникающая в результате колебания сосуда; в) собственная масса подшквных конструкций и направляющего шкива.

вались сосредоточенные силы, которые определялись в соответствии с данными работы [15] по следующим формулам:

$$S_p = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad (1)$$

где S_1 – статическая составляющая от веса подъемного сосуда, груза и подъемного каната;
 $S_2 = \pm S_1 \times a / g$ – квазистатическая составляющая сила инерции, возникающая при ускоренном движении подъемной машины;
 $S_3 = \pm 0,1 S_1$ – квазистатическая сила сопротивления движению подъемного сосуда в шахтном стволе;
 $S_4 = (S_1 + S_2) \times (k_d - 1)$ – амплитуда переменной составляющей усилия натяжения подъемного каната, вызванная колебаниями относительно динамического положения равновесия при движении подъемной машины с ускорением.

Численные значения составляющих расчетного усилия натяжения подъемного каната приведены в табл. 1.

Таблица 1. Составляющие усилия от натяжения подъемного каната

S_1 , Н	S_2 , Н	S_3 , Н	S_4 , Н
495087	87814	49509	335867

При определении характеристик циклов динамических напряжений полагалось, что напряжения от действия амплитуды динамической составляющей усилия натяжения подъемного каната S_4 в рассматриваемых точках изменяются по гармоническому закону, с частотой $\omega_{к.с.} = 0,243$ рад/с – частота колебаний приведенной массы подъемного сосуда и каната, соответствующая положению подъемного сосуда в начале ускоренного движения.

3 этап

Анализ усталостной прочности узлов опирания направляющих шкивов выполнялся по трем инженерным методикам: СНиП II-23-81* (п. 9.2*); ДБН В.2.6-163 (п. 1.11.2); EN 1993-1-9-2009 (п. 8).

Согласно п. 9.2* [1] наибольшее по абсолютному значению напряжение σ_{max} должно удовлетворять условию:

$$\sigma_{max} \leq \alpha R_v \gamma_v, \quad (2)$$

где: R_v – расчетное сопротивление усталости;
 α – коэффициент, учитывающий количество циклов нагружений n ;
 γ_v – коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния и коэффициента асимметрии напряжений $\rho = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ [1] (здесь σ_{min} и σ_{max} – соответственно наибольшее и наименьшее по абсолютному значению напряжения).

В соответствии с п. 1.11.2 [3] расчет стальных конструкций на выносливость выполняется в виде оценки долговечности T (время, за которое выполняется условие прочности) в виде:

$$\alpha_T \leq 1, \quad (3)$$

где: α_T – накопленные повреждения от усталости за срок службы T ;

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^l \frac{n_i}{N_i}, \quad (4)$$

где: l – количество типовых режимов;
 n_i – количество циклов нагружений;
 N_i – гранично-допустимое количество циклов при нагружении амплитудой $\sigma_{a,i}$.

Допускаемое значение предела выносливости при $N_c = 2 \cdot 10^6$ циклов для нормальных и касательных напряжений должно удовлетворять условию п. 8 [4]:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0; \quad (5)$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0. \quad (6)$$

В результате численного моделирования получены следующие параметры напряжённо-деформированного состояния подшкивных конструкций: главные напряжения (σ_1, σ_2), приведенные напряжения ($\sigma_{прив}$), нормальные напряжения (σ_x, σ_y), касательные напряжения (τ_{xy}) с учётом динамической составляющей нагрузки от натяжения подъёмного каната. Полученные результаты в виде сравнения представлены на рис. 6 и в табл. 2–4.

В результате анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций верхней и нижней подшкивных рам, были установлены следующие характерные области переменных напряжений: «А1» – полка узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника шкива); «А2» – стенка узла опирания подшипника шкива (под передним тор-

цом подшипника шкива); «А3» – сварные швы переднего упора подшипника шкива (рис. 7).

В результате анализа характерных областей переменных местных напряжений получены следующие характеристики циклов: наибольшие (σ_{max}, τ_{max}) и наименьшие нормальные и касательные напряжения цикла (σ_{min}, τ_{min}); коэффициенты асимметрии напряжений цикла $\rho = \sigma_{min} / \sigma_{max}$; амплитуды напряжений цикла (σ_m, τ_m) и средние напряжения цикла (σ_a, τ_a), которые приведены в табл. 3.

По полученным характеристикам циклов выполнены проверки усталостной прочности по трем методикам (табл. 4).

В соответствии с приведенными результатами для узла опирания шкива многоканатной подъёмной установки условие усталостной прочности не выполняется, что указывает на необходимость учёта динамического характера нагрузок при расчёте подшкивных конструкций укосных шахтных копров.

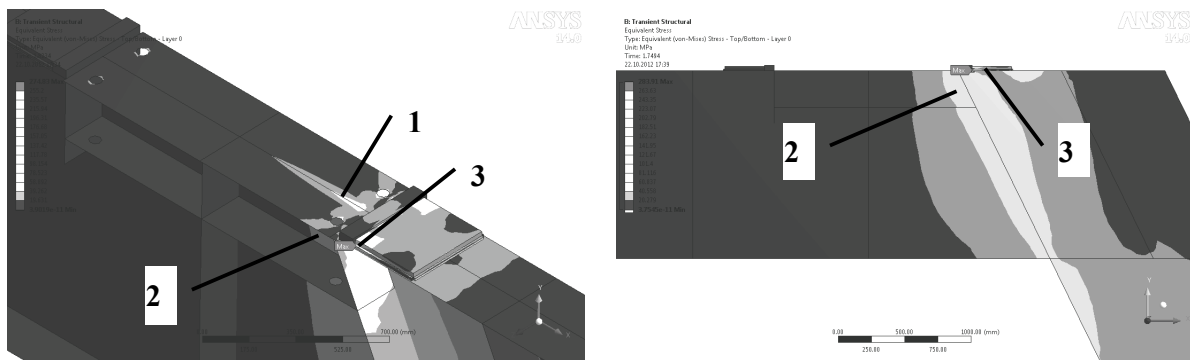


Рисунок 6. Характер распределения приведенных напряжений в узле опирания направляющего шкива: 1 – полка узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника), 2 – стенка узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника), 3 – сварные швы переднего упора подшипника.

Таблица 2. Амплитудные значения местных напряжений в элементах узла опирания направляющего шкива

Элемент узла	$\sigma_{мк1}$, МПа	$\sigma_{мк2}$, МПа	$\sigma_{прив}$, МПа	$\sigma_{нрмк}$, МПа	$\tau_{мк}$, МПа	$\frac{\sigma_{мк1}}{\sigma_{мк2}}$	$\frac{\sigma_{нрмк}}{R_{y\sigma}}$	$\frac{\sigma_{прив}}{1,15 R_{y\sigma}}$	$\frac{\tau_{мк}}{0,58 R_{y\sigma}}$
Полка	-27,2	91,39	62,5	-59,9	32,8	-0,4	0,26	0,24	0,25
Стенка	-66,9	0,001	58,56	-64,6	33,8	0,001	0,28	0,21	0,25
Сварные швы упора подшипника	-29,1	6,9	158,2	101,1	70,6	-0,24	0,43	0,59	0,52

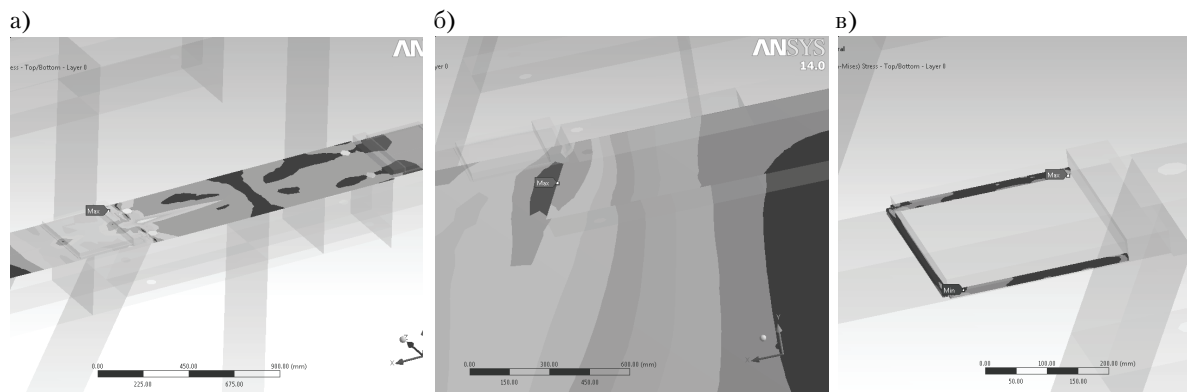


Рисунок 7. Характерные области переменных напряжений: а) «А1» – полка узла опирания подшипника шкива, б) «А2» – стенка узла опирания подшипника шкива, в) «А3» – сварные швы переднего упора подшипника.

Таблица 3. Характеристики циклов для областей переменных напряжений

Характеристики циклов напряжений, МПа	Характерные области переменных напряжений		
	A1	A2	A3
σ_{max}	66,10	-1,14	40,54
σ_{min}	18,74	-96,92	2,49
τ_{max}	13,85	40,04	14,63
τ_{min}	0,50	0,50	3,48
σ_m	42,42	-49,03	21,51
σ_a	23,68	47,89	19,03
τ_m	7,17	20,27	9,05
τ_a	6,67	19,77	5,57

Таблица 4. Результаты проверки усталостной прочности характерных областей по трем методикам

Вид проверки усталостной прочности	Характерные области переменных напряжений		
	A1	A2	A3
СНиП II-23-81* (п. 9.2*)	—	—	+
ДБН В.2.6-163 (п. 1.11.2)	—	—	—
EN1993-1-9-2009 (п. 8)	—	—	—

Примечания: знак «+» – условие прочности выполняется, знак «-» – условие прочности не выполняется.

Выводы

1. В результате численного эксперимента в элементах узла опирания направляющего шкива установлен характер напряженно-деформированного состояния при действии статической и динамической составляющей нагрузки от натяжения подъемного каната. Не-

посредственно в месте крепления опорного подшипника в поясе ригеля выявлено плоское напряженно-деформированное состояние ($\sigma_{max1} / \sigma_{max2} = -0,4$).

2. В результате анализа напряженно-деформированного состояния основных элементов узлов опирания направляющих шкивов

установлены следующие характерные области переменных напряжений: «А1» – в полке узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника шкива); «А2» – в стенке узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника шкива); «А3» – околошовная зона сварных швов переднего упора подшипника шкива.

- Для указанных зон установлены характеристики циклов динамических напряжений (максимальные напряжения цикла σ_{\max} , минимальные напряжения цикла σ_{\min} , средние

напряжения цикла σ_m , амплитуда напряжений цикла σ_a , коэффициент асимметрии цикла напряжений) и выполнены проверки усталостной прочности по методикам [1, 3, 4], которые показали, что в зонах местных напряжений: А1, А2, А3 – усталостная прочность не обеспечена. Таким образом, конструктивная форма узлов опирания направляющих шкивов копров оборудованных многоканатными подъёмными установками наземного расположения несовершенна, а элементы этих узлов требуют усиления.

Литература

- СНиП II-23-81*. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции [Текст]. – [Действующий с 14 августа 1981 г.]. – М.: Центральный институт типового проектирования, 1991. – 96 с.
- ДБН В.1.2-2:2006. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85; надано чинності 2007-01-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 61 с.
- ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*–19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134; чинні від 2011-12-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
- EN 1993-1-9-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–9. Усталостная прочность [Текст]. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 51 с.
- РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации [Текст]. – К.: Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
- РД 12.003-92. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров [Текст]. – К.: Госуглепром Украины, 1993. – 102 с.
- РД 12.011-96. Здания и сооружения технологических комплексов шахтной поверхности. Требования к эксплуатации [Текст]. – К.: Госуглепром, 1996. – 75 с.
- ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности [Текст]. – Донецк: ПромстройНИИ-проект, 1977. – 89 с.
- Указания по определению нормативных нагрузок и коэффициентов перегрузки для надшахт-

References

- SNiP II-23-81*. Construction rules and regulations. Part II. Design rates. Chapter 23. Steel structures. Moscow: Central Institution for Standardized Design, 1991. 96 p. (in Russian)
- DBN B.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
- DBN B.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (in Ukrainian)
- EN 1993-1-9-2009. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1–9. Fatigue. Minsk: Ministry of Architecture and Civil Engineering of the Republic of Belarus, 2010. 51 p. (in Russian)
- RD 12.005-94. Metal structures of mine head-frames. Operation requirements. Kyiv: Gosugleprom of Ukraine, 1994. 68 p. (in Russian)
- RD 12.003-92. Order and organization of carriers of metal structures of mine head-frames. Kyiv: Gosugleprom of Ukraine, 1993. 102 p. (in Russian)
- RD 12.011-96. Buildings and structures of technological complexes of mine grass. Operation requirements. Kyiv: Gosugleprom, 1996. 75 p. (in Russian)
- VSN 46-75. Manuals to determine loads on buildings and structures of mine industry. Donetsk: Promstroiniiproekt, 1977. 89 p. (in Russian)
- Determination of normative loads and overloading coefficients for pithead buildings and structures of mine industry. Kyiv: Budivelnnyk, 1964. 81 p. (in Russian)
- Gorokhov, Ye. V.; Kushchenko, V. N. Reserves of carrying ability of steel structures under short dynamic influences. In: *Scientific works «Development prospects and efficiency increasing of using of light and very light metal structures»*. Kyiv: KISI, 1984, p. 103–104. (in Russian)

- ных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности [Текст] / Госстрой СССР, Харьковский ПромстройНИИпроект, научно-исследовательская часть. – К. : Будівельник, 1964. – 81 с.
10. Горохов, Е. В. Резервы несущей способности стальных конструкций при кратковременных динамических воздействиях / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко [Текст] // Перспективы развития и пути повышения эффективности применения легких и особо лёгких металлических конструкций : Сб. науч. раб. / КИСИ. – К. : КИСИ, 1984. – С. 103–104.
 11. Кущенко, В. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния основных несущих элементов рамных укосных шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 151–165.
 12. Кущенко, В. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшкивные конструкции шахтного укосного копра [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 97–109.
 13. Развитие строительной науки и техники в Украинской ССР [Текст] : В 3-х томах. Т. 1: Строительная наука и техника на Украине с древних времен до 1917 г. / М. М. Жербин (гл. ред.) и др. ; [АН УССР, Центр исслед. науч.-техн. потенциала и истории науки и др.]. – К. : Наукова Думка, 1989. – 308 с. – ISBN 5-12-009350-7.
 14. Жербин, М. М. Исследование статических воздействий ветрового потока на башенные надшахтные копры [Текст] / М. М. Жербин, В. А. Владимирский // Реферативная информация о законченных НИР в ВУЗах. Строительство, архитектура, строительные материалы и издания. Вып. 6. – К. : Высшая школа, 1972. – С. 22–25.
 15. Кущенко, В. Н. Экспериментальное исследование динамического поведения конструкций шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, А. С. Кострицкий // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти України, ДонДАБА. – Макіївка, 2003. – Вип. 2003-2(39) : Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Т. 2. Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 46–52.
 16. Кущенко, В. Н. Методика и результаты динамических испытаний укосного шахтного копра [Текст] / В. Н. Кущенко, А. С. Кострицкий, Ю. П. Некрасов // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти України, ДонДАБА. – Макіївка, 2003. – Вип. 2003-2(39) : Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Т. 2. Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 116–125.
 17. Балкарей, И. М. Определение экстренных динамических нагрузок на конструкции шахтных копров [Текст] / И. М. Балкарей // Труды III конференции молодых ученых строителей. Вопросы современного строительства и архитектуры / Госстрой СССР, Харьковский Промстрой-
 11. Kushchenko, Volodymyr; Nechitailo, Alexander. The analysis of the intense-deformed condition of the basic bearing elements of frame mowing mine headgears. In: *Metal Constructions*, 2011, Volume 17, Number 3, p. 151–165. (in Russian)
 12. Kushchenko, Volodymyr; Nechitailo, Alexander. Analysis of the mode of deformation of the joints of guide pulley resting on shaft sloping headgear structures. In: *Metal Constructions*, 2012, Volume 18, Number 2, p. 97–109. (in Russian)
 13. Zherbin, M. M. (Ed.) Development of engineering science and machines in Ukrainian Soviet Socialist Republic. 3 volumes. Vol. 1. Construction Sciences and Engineering in Ukraine from Ancient Times to 1917. Kyiv: Naukova Dumka, 1989. 308 p. (in Russian)
 14. Zherbin, M. M.; Vladimirovskiy, V. A. Research of static influence of wind flow upon tower mine head-frames. In: *Abstract information about fulfilled scientific research work in High Educational Establishments. Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Products*. Vol. 6. Kyiv: Vyshcha shkola, 1972, p. 22–25. (in Russian)
 15. Kushchenko, V. N.; Kostrikiy, A. S. Experimental research of dynamic behavior of mine head-frames structures. In: *compendium «Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture»*, 2003, Issue 2003-2(39): Building structures, buildings and constructions. Volume 2. Towers: building materials, structures, processes, p. 46–52. (in Russian)
 16. Kushchenko, V. N.; Kostrikiy, A. S.; Nekrasov, Yu. P. Methods and results of dynamic testing of a jib mine head-frame. In: *compendium «Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture»*, 2003, Issue 2003-2(39): Building structures, buildings and constructions. Volume 2. Towers: building materials, structures, processes, p. 116–125. (in Russian)
 17. Balkarey, I. M. Determination of emergency dynamic loadings on the structures of mine head-frames. In: *Reports of III conference of young engineers. Modern civil engineering and architecture*. Kyiv: Budivelnik, 1964, p. 274–283. (in Russian)
 18. Balkarey, I. M. Emergency loadings on the structures of mine and pit head-frames. In: *Dynamics and strength of structures*. Kyiv: Budivelnik, 1965, p. 60–63. (in Russian)
 19. Balkarey, I. M.; Koltakova, G. V. Vibration of jib head-frames at an emergency break of a mine holding rope. In: *Dynamics and strength of structures*. Kyiv: Budivelnik, 1967, p. 50–64. (in Russian)
 20. Belyi, V. D. Rape guides of mine winding plant. Moscow: Ugletekhizdat, 1959. 212 p. (in Russian)
 21. Dvornikov, V. I. Dynamic equation of mine balancing rope. In: *Durability and service life of steel rope*. Kyiv: Tehnika, 1975, p. 71–75. (in Russian)
 22. Buriaka, V. A.; Fokin, V. G.; Soldusova, E. A.; Glazunova, N. A.; Adeianov, I. E. Reverse engineering in Ansys Workbench. Textbook. Samara: SSTU, 2010. 271 p. (in Russian)

- НИИпроект, научно-исследовательская часть. – К. : Будівельник, 1964. – С. 274–283.
18. Балкарей, И. М. Экстренные нагрузки на конструкции рудничных и шахтных копров [Текст] / И. М. Балкарей // Динамика и прочность сооружений / Госстрой СССР, Харьковский ПромстройНИИпроект, научно-исследовательская часть. – К. : Будівельник, 1965. – С. 60–63.
 19. Балкарей, И. М. Колебания укосных копров при экстренном разрыве шахтного подъёмного каната [Текст] / И. М. Балкарей, Г. В. Колтакова // Динамика и прочность строительных конструкций / Госстрой СССР, Харьковский ПромстройНИИпроект, научно-исследовательская часть, под редакцией д.т.н., профессора С. Е. Фрайфельда. – К. : Будівельник, 1967. – С. 50–64.
 20. Белый, В. Д. Канатные проводники шахтных подъёмных установок [Текст] / В. Д. Белый. – М. : Углетехиздат, 1959. – 212 с.
 21. Дворников, В. И. Уравнения динамики шахтных уравновешивающих канатов [Текст] / В. И. Дворников // Прочность и долговечность стальных канатов : [сборник материалов XI Всесоюзной конференции по проблемам прочности и долговечности стальных канатов, апрель 1974 года / отв. ред. В. Т. Козлов]. – К. : Техника, 1975. – С. 71–75.
 22. Инженерный анализ в Ansys Workbench [Текст] : Учеб. пособие / В. А. Буряка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова [и др.]. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
 23. Колесниченко, С. В. Действительная работа стропильных ферм с поясами из широкополочных двутавров [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / С. В. Колесниченко. – Макеевка, 1991. – 187 с.
 24. Каплун, Я. А. Стальные конструкции из широкополочных двутавров и тавров [Текст] / Я. А. Каплун. – М. : Стройиздат, 1981. – 143 с.
 25. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design [Текст] / Ministry of Housing, Nordic Committee on Building Regulations. – Copenhagen : NKВ, 1978. – Report No. 36. – 148 p.
 23. Kolesnichenko, S. V. Real work of roof truss with booms from broad-flange beams: PhD thesis in Engineering Science. Makiivka, 1991. 187 p. (in Russian)
 24. Kaplun, Ya. A. Steel structures from broad-flange beams and structural tees. Moscow: Stroiizdat, 1981. 143 p. (in Russian)
 25. Nordic Committee on Building Regulations. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design. Copenhagen: NKВ, 1978. Report No. 36. 148 p.

Кущенко Володимир Миколайович – д.т.н., професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій гірничотехнічних споруд.

Нечитайло Александр Евгеньевич – аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы и совершенствование методов расчёта строительных конструкций рамных горнотехнических сооружений выполненных из элементов коробчатого сечения.

Кущенко Владимир Николаевич – д.т.н., профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы и совершенствование методов расчёта строительных конструкций горнотехнических сооружений.

Нечитайло Олександр Євгенович – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій рамних гірничотехнічних споруд виконаних з елементів коробчатого перетину.

Volodymyr Kushchenko – DSc (Eng.), Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Member of Ukrainian Association of Metal Construction. Research interests: include mathematical modeling of the special loads of designs of head frames.

Alexander Nechitailo – postgraduate, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: investigation of the actual operation and improvement of the methods of analysis of building structures of the frame mine technical facilities made of the box-section components.