



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2014, ТОМ 20, НОМЕР 1, 15–27

УДК 624.96

(14)-0303-1

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ВУЗЛІВ ОПИРАННЯ НАПРЯМІВНИХ ШКІВІВ РАМНИХ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В. Н. Кущенко, О. Є. Нечитайло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: snpcsh58@mail.ru*

Отримана 20 листопада 2013; прийнята 24 січня 2014.

Анотація. У статті наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень напружено-деформованого стану підшківних конструкцій рамних шахтних копрів, на підставі яких виконано аналіз міцності вузлів обпирання напрямівних шківів. Запропоновано інженерну методику перевірки міцності за місцевими нормальними напруженнями і за приведеним напруженням залежно від конструктивних і технологічних факторів. Розроблено рекомендації щодо раціонального проектування підшківних конструкцій рамних укисних шахтних копрів. Результати є вдосконаленням інженерних методик розрахунку сталевих конструкцій шахтних укисних рамних копрів.

Ключові слова: шахтний рамний укисний копер, підшківні конструкції, вузол опираючого напрямівного шківа, аналіз міцності, напружений стан, місцеві напруження.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УЗЛОВ ОПИРАНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ ШКИВОВ РАМНЫХ УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: snpcsh58@mail.ru*

Получена 20 ноября 2013; принята 24 января 2014.

Аннотация. В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния подшківных конструкций рамных шахтных копров, на основании которых выполнен анализ прочности узлов опираючих направляющих шківов. Предложена инженерная методика проверки прочности по местным нормальным напряжениям и по приведенным напряжениям в зависимости от конструктивных и технологических факторов. Разработаны рекомендации по рациональному проектированию подшківных конструкций рамных укосных шахтных копров. Результаты являются совершенствованием инженерных методик расчёта и проектирования стальных конструкций шахтных укосных рамных копров.

Ключевые слова: шахтный рамный укосный копер, подшківные конструкции, узел опирающего направляющего шківа, анализ прочности, напряжённое состояние, местные напряжения.

LOCAL STRENGTH DESIGN OF RESTING JOINTS OF THE SHAFT FRAME-TYPE SLOPING HEADGEAR GUIDE PULLEYS

Volodymyr Kushchenko, Alexander Nechitailo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: snpcsh58@mail.ru*

Received 20 November 2013; accepted 24 January 2014.

Abstract. In the paper the results of the theoretical and experimental research of the mode of deformation of the sub-pulley structures of the shaft frame-type sloping headgears have been given, on the basis of these results the strength of the guide pulley resting joints has been analyzed. Engineering procedure of checking strength by the local normal stresses and by the reduced stresses depending on the design and technological factors has been suggested. The guidelines on the intelligent design of sub-pulley structures of the shaft frame-type sloping headgears have been developed; these guidelines contribute to the improvement of the engineering procedures of designing steel structures of the shaft frame-type sloping headgears.

Keywords: shaft frame-type sloping headgear, sub-pulley structures, sub-pulley resting joint, strength analysis, mode of deformation, local stresses.

Актуальность

Укосные шахтные копры являются сооружениями шахтных подъёмных установок и служат для транспортной коммуникации между горными выработками и шахтной поверхностью [2, 8, 9]. Шахтные копры являются наиболее ответственными сооружениями шахтной поверхности, поскольку от их надёжности зависит технологический цикл и безопасность транспортировки людей [2, 8]. В настоящее время наблюдаются частые аварии на конструкциях шахтных копров, которые были вызваны тяжёлыми условиями эксплуатации и интенсивными динамическими нагрузками. Опыт технической диагностики шахтных копров рамной системы в ряде случаев показал недостаточную несущую способность подшкивных конструкций рамных укосных копров, а также отсутствие нормативных инженерных методик расчёта подшкивных рам [2, 4]. Т. о. работа, посвящённая анализу прочности подшкивных конструкций, является актуальной.

В предыдущих работах авторов [3–6, 12], в результате теоретических и экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния конструкций рамных копров, установлен вид напряжённого состояния узлов опирания направляющих шкивов, определены наиболее напряжённые области, которые демонстрируют возможные схемы разрушения подшкивных конструкций (рис. 1).

В соответствии со схемами распределения напряжений, приведенными на рис. 1, для узла опирания направляющего шкива необходимо выполнять следующие проверки прочности по критерию энергетической теории прочности: а) по нормальным местным напряжениям (σ_{loc}) в зоне «А2» (рис. 1а); б) по приведенным напряжениям (σ_{red}) в стенке узла опирания от действия вертикальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната в зоне «А2» (рис. 1б); в) сварных швов переднего упора направляющего шкива от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната (рис. 1в); г) смятие торцевой поверхности переднего упора от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната (рис. 1г). Физический эксперимент подтвердил, что сопоставление изополей напряжений, полученных расчётным путём в узлах опирания направляющих шкивов, с экспериментальными данными показало хорошую сходимость как по видам напряжённого состояния, так и по расположению расчётных точек с максимальными напряжениями. Расхождения между расчётными и экспериментальными значениями напряжений в расчётных точках при доверительной вероятности 0,95 составляет диапазон: 5...10 %.

Целью данной работы является анализ прочности узлов опирания направляющих

шкивов на подшивные конструкции рамных шахтных копров.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ напряжённо-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов;
- анализ влияния конструктивных и технологических факторов на коэффициент концентрации напряжений под опорным подшипником направляющих шкивов;
- определение расположения расчётных точек в узлах опирания направляющих шкивов с экстремальными значениями местных нормальных напряжений и приведенных напряжений;

г) определение условий обеспечения прочности узлов опирания направляющих шкивов;

д) разработка рекомендаций по обеспечению прочности по местным нормальным и приведенным напряжениям.

В качестве **объектов исследования** были выбраны подшивные конструкции рамных укосных шахтных копров с различными конструктивными признаками:

- опирание направляющего шкива на элемент подшивной рамы постоянного сечения;
- опирание направляющего шкива на элемент подшивной рамы переменного сечения (рис. 2).

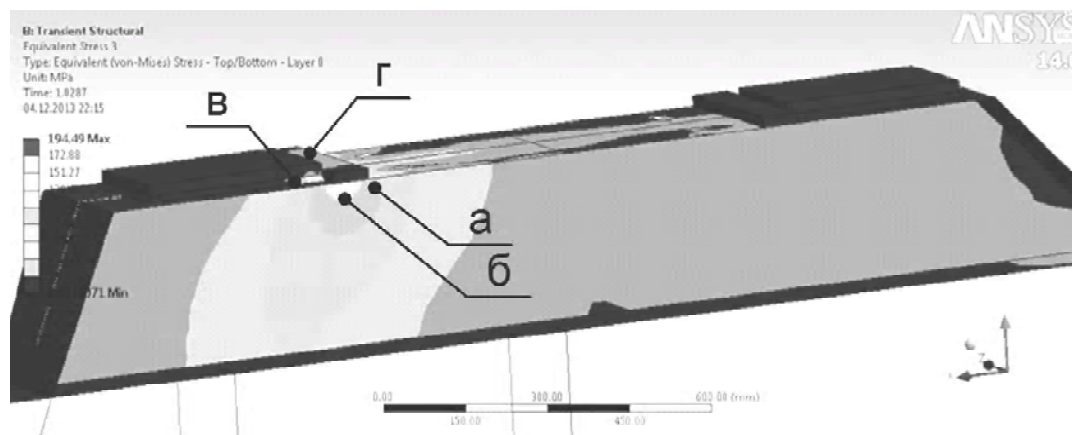
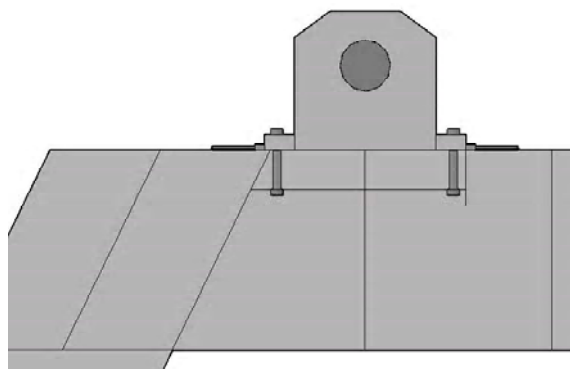


Рисунок 1. Распределение напряжений в узле опирания направляющего шкива: а) зона действия максимальных нормальных местных напряжений в стенке (зона «А2»); б) зона действия максимальных приведенных напряжений в стенке (зона «А2»); в) максимальные напряжения в сварном шве переднего упора (зона «А3»); г) максимальные напряжения смятия в переднем упоре.

а)



б)

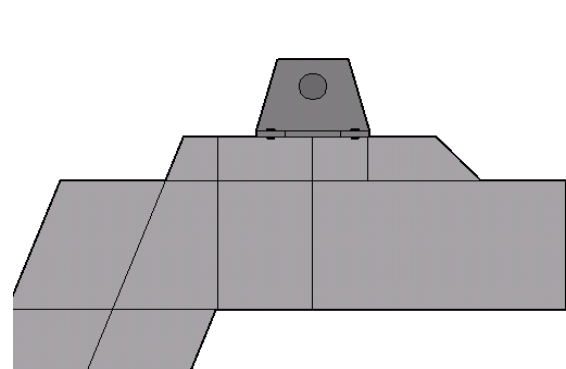


Рисунок 2. Виды подшивных конструкций: а) опирание направляющего шкива на элемент подшивной рамы постоянного сечения; б) опирание направляющего шкива на элемент подшивной рамы переменного сечения.

Методика исследований

Для решения поставленных задач использовался метод численного моделирования напряжённо-деформированного состояния подшивных конструкций с использованием МКЭ (метод конечных элементов) в среде программного комплекса «Ansys Workbench 14.0». Исследование выполнялось в 4 этапа. На 1 этапе выполнялся анализ прочности по нормальным местным напряжениям (σ_{loc}) в стенке узла опирания от действия вертикальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната в зоне «A2». На 2 этапе выполнялся анализ прочности по энергетической теории прочности по приведенным напряжениям (σ_{red}) в зоне «A2». На 3 этапе выполнялся анализ прочности сварных швов переднего упора направляющего шкива от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната. На 4 этапе выполнялся анализ прочности на смятие торцевой поверхности переднего упора от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы. На 5 этапе разработаны рекомендации по рациональному проектированию узлов опирания направляющих шкивов.

1 этап. Расчёт на прочность стенки балки при действии нормальных местных напряжений (σ_{loc}) от сосредоточенной силы (приложенной к верхнему поясу) в соответствии с положениями ДБН В.2.6-163:2010 [1] и EN 1993-1-5:2006 [10] возможен по двум расчётным схемам, приведенным на рис. 3.

Прочность стенки балки проверяется отношением нормальных местных напряжений (σ_{loc} , $\sigma_{z,Ed}$) к расчётному сопротивлению стали. Для расчётных схем, приведённых на рис. 3, нормальные местные напряжения (σ_{loc} , $\sigma_{z,Ed}$) имеют линейный характер и равномерно распределяются вдоль условной длины распределения l_{ef} или эффективной ширины сдвижного запаздывания b_{eff} [1, 10, 11].

Для определения возможности использования указанных нормативных методик проверки местных нормальных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов было выполнено численное моделирование узлов, показанных на рис. 4.

В рамках численного эксперимента выполнен сопоставительный анализ напряжённого состояния узлов этажного опирания балок, а также узлов опирания направляющих подшипников.

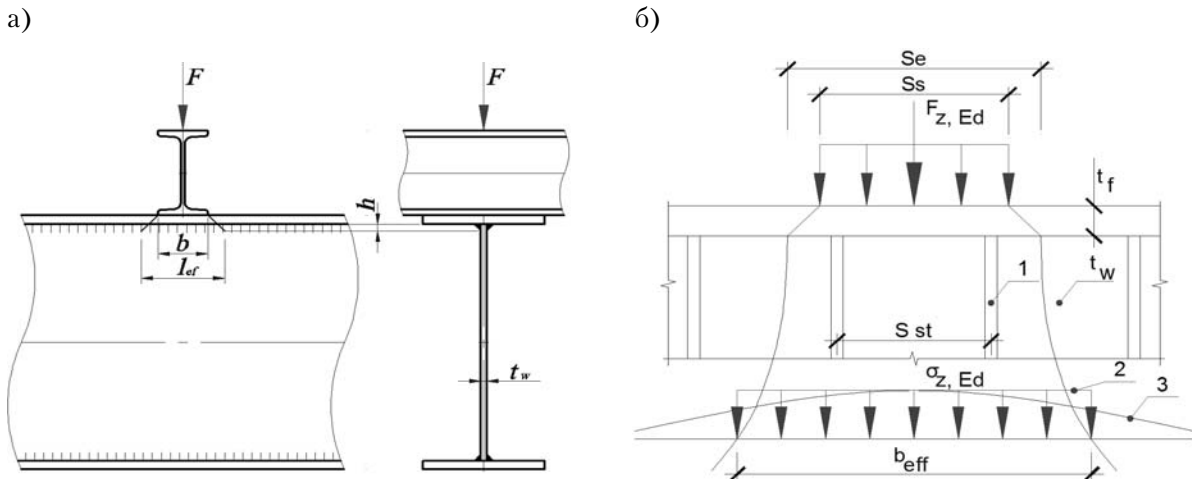


Рисунок 3. Расчётные схемы передачи сосредоточенного усилия на стенку балки: а) «... передача сосредоточенного усилия при поэтажном сопряжении элементов ...» [1, стр. 24]; б) «... расчётная схема приложения сосредоточенного усилия на стенку балки ...» [10, стр. 18]; F – сосредоточенная сила; b – ширина опорной части верхнего элемента при поэтажном сопряжении; h – суммарная толщина поясного листа с учётом катета сварного шва; t_w – толщина стенки; l_{ef} – условная длина площадки распределения сосредоточенной силы F ; b_{eff} – эффективная ширина сдвижного запаздывания в упругой стадии работы; $F_{z,Ed}$ – расчётное значение поперечного усилия; t_w – толщина стенки; t_f – толщина стенки; b_{eff} – эффективная ширина сдвижного запаздывания в упругой стадии работы; s_{st} – шаг рёбер жёсткости; s_e – условная ширина распределения местного усилия; s_s – ширина распределения местного усилия; 1 – элемент жесткости (ребро); 2 – упрощенное распределение напряжений; 3 – фактическое распределение напряжений.

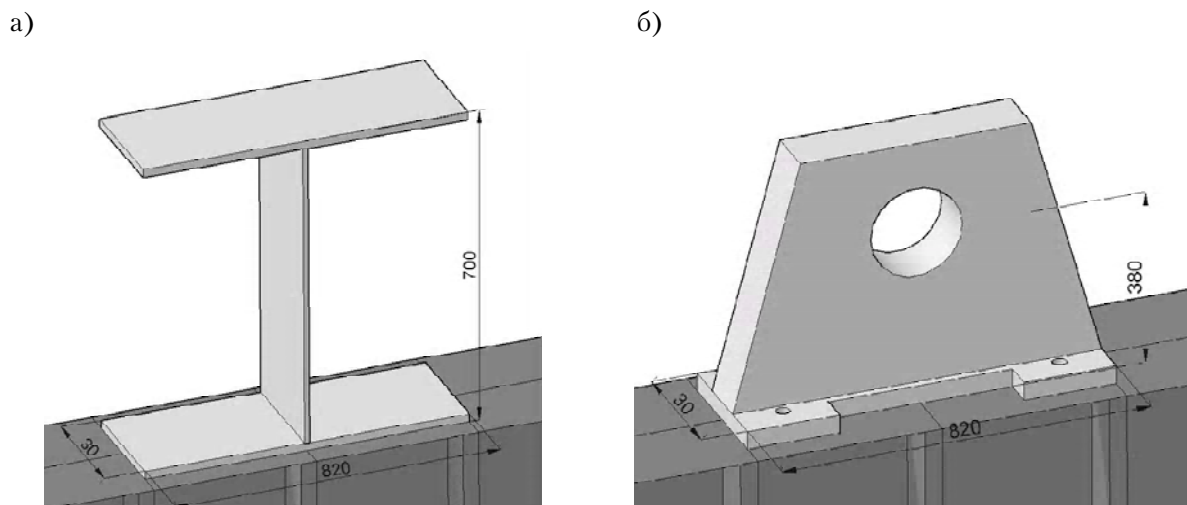


Рисунок 4. Конструктивные схемы узлов опирания: а) двутавровая балка; б) характерный подшипник стационарного направляющего шкива Ш-6а.

Принципиальным отличием указанных численных моделей являлась различная жёсткость конструктивных элементов, передающих сосредоточенную силу. Сдвиговая жёсткость элемента, приведенного на рис. 4а, равна 8 000 МН, приведенного на рис. 4б равна 76 000 МН.

2 этап. В зоне наибольших приведенных напряжений наблюдается точка локального максимума приведенных напряжений σ_{red}^{max} [3, 5]. Для установления влияния угла наклона струны подъёмного каната на положение точки локального максимума (σ_{red}^{max}) были выполнены численные эксперименты, в которых варьировалось отношение вертикальной (V) к горизонтальной (H) составляющих равнодействующей (R) от натяжения подъёмного каната. Отношение V/H варьировалось в диапазоне $0...∞$. При варьировании V/H определялся полярный угол (θ) и полярный радиус (r) расчётной точки σ_{red}^{max} .

3 этап. Выполнялось сопоставление полученных коэффициентов концентрации касательных напряжений в сварных швах передних упоров, полученных при численном моделировании с результатами, приведенными в [7].

4 этап. Выполнялось сопоставление напряжений смятия торцевой поверхности переднего упора, полученных в результате численного моделирования, с напряжениями смятия, полученными согласно нормативной методике [1].

5 этап. На численных моделях выполнялся поиск рациональной конструктивной формы узла опирания направляющего шкива.

Результаты исследований

Как показали результаты численного моделирования, распределение местных напряжений для рассматриваемых узлов, приведенных на рис. 4, имеет следующие существенные отличия:

- а) местные напряжения под опорным подшипником имеют седловидный характер распределения, с концентрацией напряжений в граничных областях (рис. 5б), тогда как в узлах этажного опирания балок местные напряжения распределяются по выпуклой кривой с максимумом, расположенным под стенкой элемента опирания (рис. 5а);
- б) при смещении элемента опирания к месту опорного закрепления ниже расположенной конструкции (рис. 5г) распределение местных напряжений под опорным подшипником имеет несимметричный характер с более высокой степенью концентрации нормальных напряжений, указанное явление не наблюдается для узлов этажного опирания двутавровых балок (рис. 5в).

Анализ и обобщение теоретических исследований позволил установить следующие закономерности

распределения нормальных местных напряжений:

- максимальные местные нормальные напряжения в стенке напряжения возникают под опорным подшипником в точке, расположенной на расстоянии $2/5b$ от центра площадки опирания подшипника (рис. 6);
- в зоне действия местных нормальных напряжений (на расстоянии $2/5b$ от центра площадки опирания подшипника) наблюдается

концентрация напряжений, при этом коэффициент концентрации напряжений при варьировании факторов влияния может составлять диапазон 1,37–2,50;

- при приближении опорного подшипника к узлу опирания подшкивной конструкции на главную балку укосины под опорным подшипником наблюдается увеличение коэффициента концентрации напряжений (рис. 5б, 5г) на 22 %;

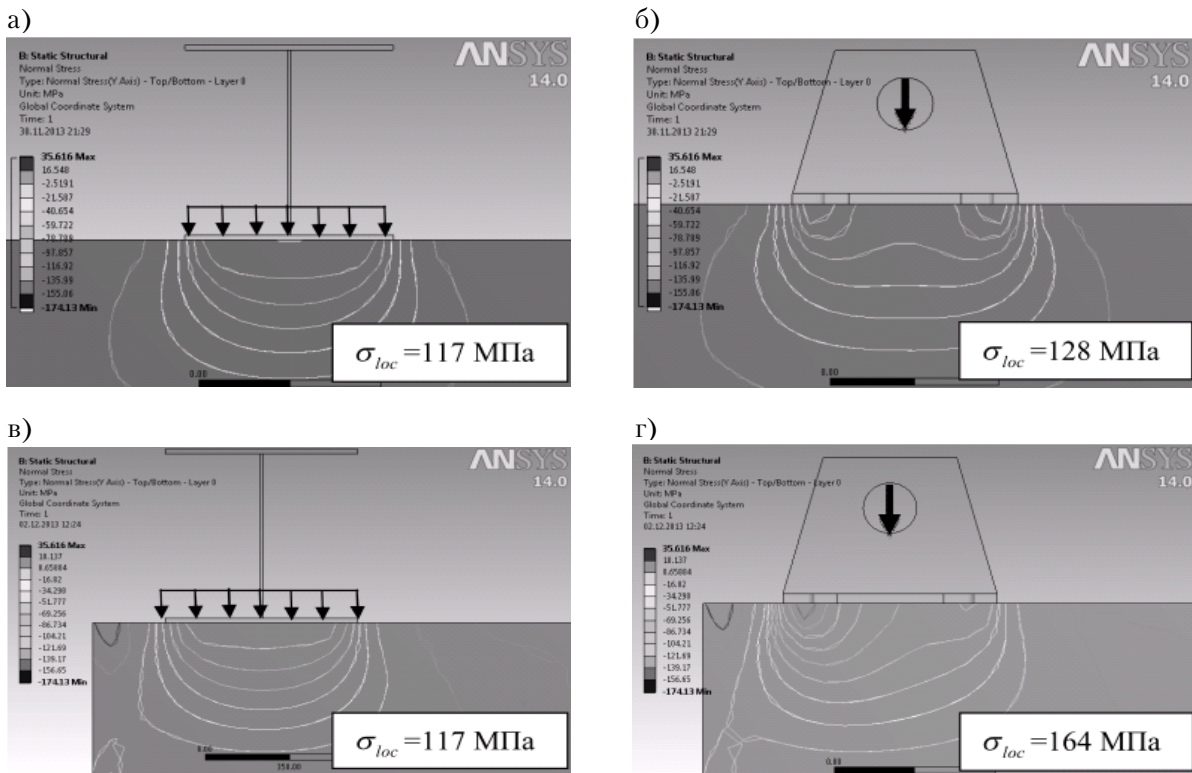


Рисунок 5. Изолинии нормальных местных напряжений (σ_{loc}) в стенке опорной балки: а) двутавровая балка (середина пролёта); б) подшипник стационарного направляющего шкива Ш-6а (середина пролёта); в) двутавровая балка (в приопорной области); г) подшипник стационарного направляющего шкива Ш-6а (в приопорной области).

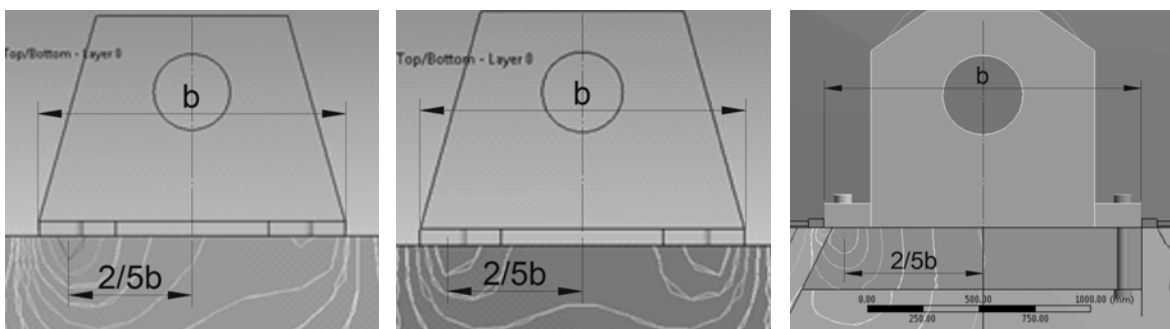


Рисунок 6. Расположение точки с максимальными местными нормальными напряжениями.

- г) в целом сопоставление результатов численного исследования демонстрирует невозможность использования нормативных инженерных методик [1, 10] для проверки прочности узлов опирания направляющих шкивов по местным нормальным напряжениям;
- д) нормальные местные напряжения в узлах опирания направляющих шкивов возникают от действия вертикальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната;
- е) неравномерный характер местных нормальных напряжений можно учитывать коэффициентом концентрации нормальных напряжений k_n , который следует определять в функции от следующих факторов влияния: величина усилия натяжения подъёмного каната; угол наклона струны подъёмного каната; толщина стенки подшкивной конструкции.

На основании вышесказанного проверку прочности по нормальным напряжениям предлагается производить по следующей формуле:

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

где S_r – величина разрывного усилия подъёмного каната, кН;

α – угол наклона струны каната к горизонту, градус;

k_n – коэффициент концентрации нормальных напряжений;

b – ширина подошвы подшипника, см;

t_w – толщина стенки узла опирания подшипника шкива, см;

t_f – толщина полки узла опирания подшипника шкива, см.

Коэффициент концентрации нормальных напряжений k_n – по следующей формуле:

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

где σ_{loc}^{max} – определяется на основании регрессионной зависимости [5], как функция максимальных нормальных напряжений в наиболее напряжённой точке $f(S_r, \alpha, t_w)$.

Значения коэффициентов концентрации нормальных напряжений k_n в виде графиков приведены на рис. 7.

Закономерности положения точки локального максимума σ_{red}^{max} (в полярной системе координат) при варьировании V/H приведено в табл. 1 и рис. 8.

В соответствии с результатами численных экспериментов, приведенных в табл. 1, положение точки локального максимума приведенных напряжений не изменяется при изменении угла

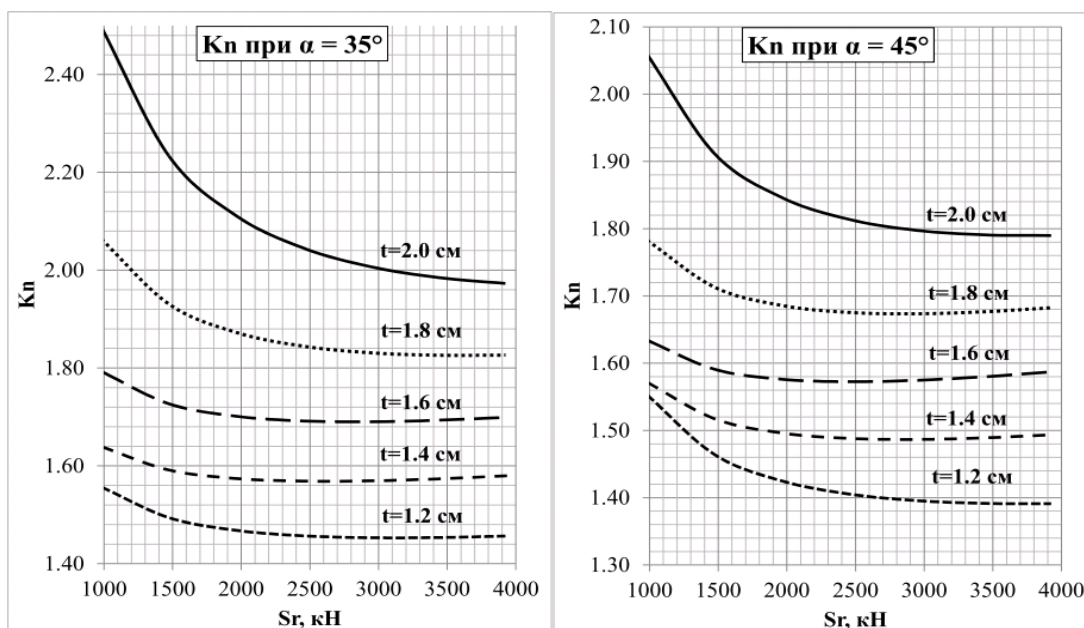


Рисунок 7. Графики определения коэффициента концентрации нормальных напряжений k_n под подошвой подшипника.



Рисунок 8. Положение точки с максимальными местными приведенными напряжениями в полярной системе координат: θ – полярный угол; r – полярный радиус.

Таблица 1. Закономерности положения точки локального максимума σ_{red}^{max}

V/H	θ , градус	r , см
0	225	52
0,13	225	52
0,27	225	52
0,41	225	52
0,84	225	52
∞	190	61

наклона струны подъёмного каната в диапазоне: от 10° до 90° .

В точке локального максимума приведенных напряжений наблюдается напряжённое состояние близкое к линейному, при отношении главных напряжений $\sigma_1 / \sigma_2 = -0,001$. Вследствие чего проверку прочности по приведенным напряжениям предлагается производить по следующей формуле:

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

где ξ_n – коэффициент перехода от средних нормальных напряжений под подошвой подшпипника к максимальному значению приведенных напряжений.

Коэффициент перехода ξ_n определяется на основании регрессионной зависимости [6] по следующей формуле:

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

Значения коэффициента перехода ξ_n приведены на рис. 9 в виде графиков.

В соответствии с результатами численного эксперимента коэффициент концентрации напряжений (k_{max}) по длине флангового сварного шва крепления переднего упора существенно зависит от отношения ширины (a) к длине (l) упора подшпипника направляющего шкива (табл. 2).

Сопоставление полученных коэффициентов концентрации касательных напряжений в

Таблица 2. Сопоставление k_{max} сварных швов передних упоров

Подшпипник направляющего шкива	l , мм	a , мм	k_{max} согласно [7]	τ_{max} , МПа	τ_{cp} , МПа	k_{max} численной модели	Расхождение, %
Многоканатной установки	350	200	2,33	180	80	2,25	3,4
Одноканатной установки	300	370	4,17	136	32	4,25	1,9

сварных швах передних упоров с результатами, приведенными в [7] (табл. 2), показывают их хорошую сходимость (до 4 %).

Проверку прочности на смятие торцевой поверхности переднего упора от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната необходимо выполнять, согласно [1], следующим образом:

$$\sigma_p = \frac{0,5S_r \cos \alpha}{laR_p \gamma_c} \leq 1,$$

где H – горизонтальная составляющая равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната; l – длина упора; a – ширина упора;

R_p – расчётное сопротивление смятия торцевой поверхности.

Приведенная формула предполагает равномерное распределение напряжений смятия по торцу упора (рис. 10а). Анализ численных экспериментов узлов опирания направляющих шкивов показал, что сминающие напряжения по торцу переднего упора распределяются неравномерно, при этом они возрастают по высоте упора (рис. 10б).

Сопоставление напряжений смятия (σ_p) по торцу упора, полученных в результате численного моделирования, а также согласно положений [1], приведено в табл. 3.

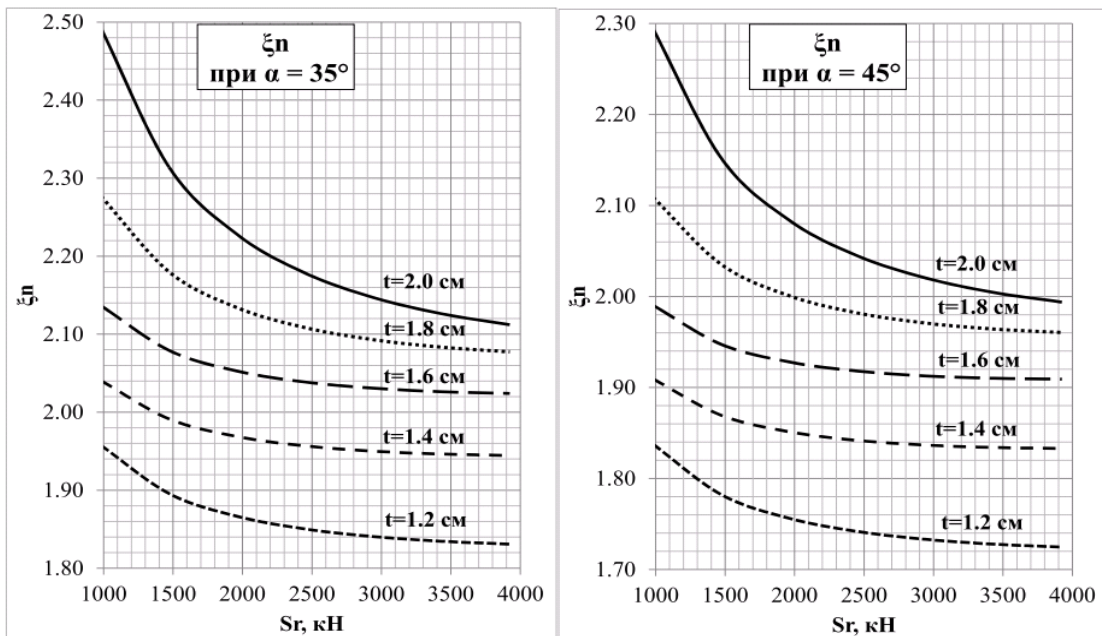


Рисунок 9. Графики определения коэффициента перехода от средних нормальных напряжений под подушкой подшипника к максимальному значению приведенных напряжений ξ_n .

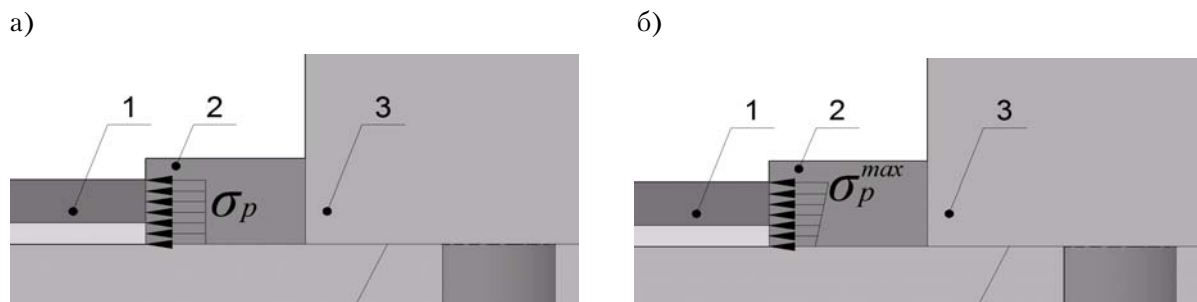


Рисунок 10. Распределение напряжений по торцу упора: а) согласно норм [1]; б) согласно численным экспериментам; 1 – упор; 2 – клин; 3 – подшипник направляющего шкива.

Таблица 3. Сопоставление напряжений смятия σ_p по торцу упора

Подшивная конструкция укосного копра	Горизонтальное усилие H , кН	σ_p согласно норм [1]	σ_p^{\max} согласно численного моделирования
Шатровый скиповой копёр	665,2	110,9	166,3
Полушатровый скиповой копёр	1117,4	100,7	150,7
Комбинированный полушатровый копёр	622,0	103,7	156,5
Полушатровый клетевой копёр	584,7	97,4	144,3

В соответствии с результатами табл. 3 максимальное значение коэффициента концентрации напряжений смятия на торцевой поверхности упора составляет $k_p = 1,5$.

Предлагается проверку прочности на смятие торцевой поверхности переднего упора от действия горизонтальной составляющей равнодействующей силы от натяжения подъёмного каната выполнять по следующей формуле:

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

где k_p – коэффициент концентрации напряжений смятия торцевой поверхности переднего упора $k_p = 1,5$;

t_p – толщина упора.

На основании анализа регрессионных моделей [5, 6] построены зависимости σ_{loc}^{\max} и σ_{red}^{\max} от величины натяжения каната (S_r), угла наклона струны каната к горизонту (α) для толщин стенки узла опирания подшипника шкива (12, 14, 16, 20 мм), которые приведены на рис. 11.

Анализ зависимостей σ_{loc}^{\max} и σ_{red}^{\max} от величины усилия натяжения каната (S_r) показал следующее:

- 1) для разрывных усилий подъёмного каната от 1 000 и до 2 400 кН (при условии применения сталей марки С255...С275) прочность стенки в области местных напряжений может быть обеспечена при толщинах от 12 до 20 мм;
- 2) для выполнения условий прочности в случае разрывных усилий каната находящихся в диапазоне 2 400–3 900 кН, прочность стенки в зоне местных напряжений «А2» может быть обеспечена применением высокопрочной стали при толщинах стенки 12–16 мм;
- 3) для обеспечения прочности подшивных конструкций (в случае разрывных усилий подъёмного каната > 3 900 кН) при условии использования сталей марок С255...С275,

необходима разработка конструктивных решений по снижению коэффициента концентрации напряжений в узлах опирания направляющих шкивов.

Анализ применяемых конструктивных решений показал существование следующих разновидностей узлов опирания направляющих шкивов:

- а) опирание на верхнюю полку подшивной конструкции (рис. 2а);
- б) опирание на дополнительный элемент в виде тавра, который приваривается к верхней полке подшивной конструкции (рис. 2б).

Как показали результаты факторного анализа напряженного состояния узлов опирания направляющих шкивов, для указанных видов узлов положение точек локальных максимумов нормальных и приведенных напряжений идентично.

Предлагаемая конструктивная форма является универсальной для двух видов узлов (рис. 12). В случае опирания подшипника на полку (рис. 12а) необходимо добавить горизонтальное ребро толщиной, равной толщине стенки на расстоянии $0,3h_{ef}$ от нижней грани верхней полки.

Предлагаемая конструктивная форма узла опирания направляющего шкива является универсальной и может использоваться как при новом проектировании, так и при усилении действующих укосных шахтных копров.

Новая конструктивная форма узла снижает коэффициент концентрации напряжений: а) для местных нормальных напряжений на 70 %; б) для приведенных напряжений на 90 %.

Полученные результаты исследования позволили сформулировать следующие принципы рационального проектирования узлов опирания направляющих шкивов:

- 1) при опирании подшипника шкива на верхнюю полку подшивной конструкции необходимо устанавливать двухсторонние горизонтальные ребра жёсткости (поз. 3 рис. 12)

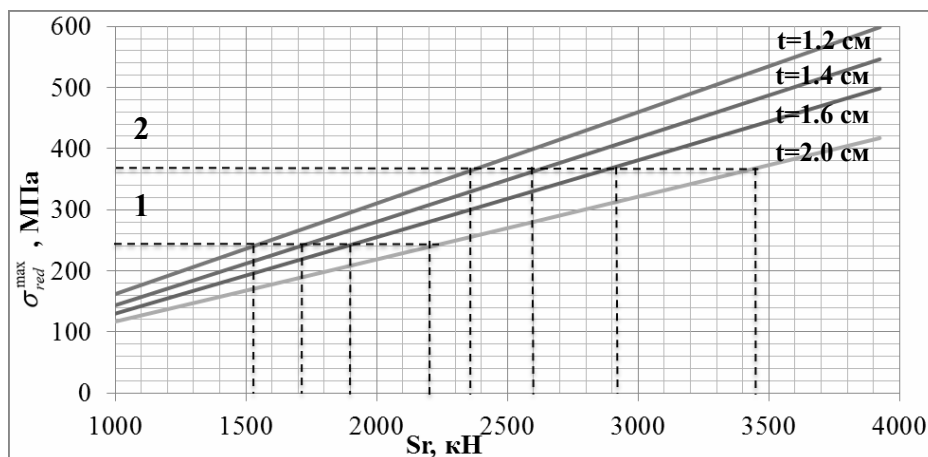


Рисунок 11. Зависимость σ_{red}^{max} от величины натяжения каната (S_r) при: а) при $\alpha = 35^\circ$; б) при $\alpha = 65^\circ$; 1 – расчётное сопротивление стали С255; 2 – расчётное сопротивление стали повышенной прочности.

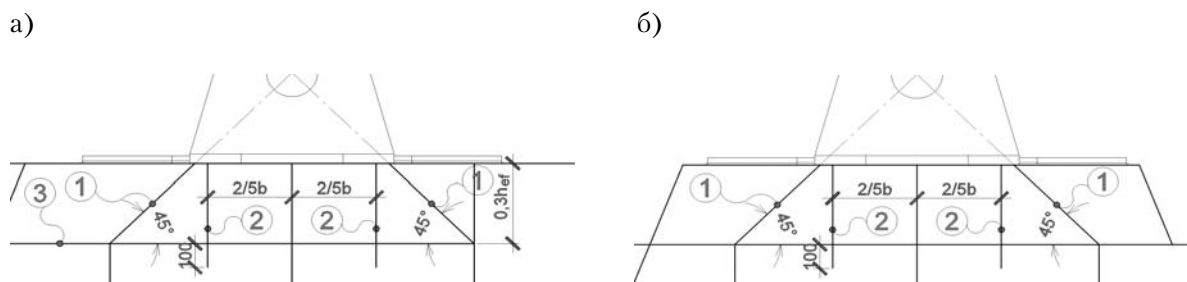


Рисунок 12. Конструктивные схемы расположения ребёр жёсткости для двух видов узлов: а) на верхнюю полку подшипивной конструкции; б) на дополнительный элемент в виде тавра; b – ширина подшипника шкива; h_{ef} – высота стенки балки; 1 – наклонное двустороннее ребро; 2 – вертикальное двустороннее ребро; 3 – горизонтальное двустороннее ребро.

на расстоянии $0,3h_{ef}$ от нижней грани верхней полки;

- 2) при опирании подшипника шкива на дополнительный элемент в виде тавра, высоту этого элемента (тавра) необходимо принимать равной $0,3h_{ef}$, но не более 300 мм (рис. 12);
- 3) двусторонние наклонные ребра жёсткости (поз. 1 рис. 12) устанавливаются симметрично относительно оси вала шкива таким образом, чтобы ребра располагались вдоль лучей, проведённых из центра вала под углом 45° ;
- 4) вертикальные двусторонние ребра (поз. 2 рис. 12) устанавливаются на расстоянии $2/5b$ от оси вала шкива симметрично;
- 5) ширина вертикальных и наклонных ребер (b_r) принимается равной половине полки, а толщина – равной толщине стенки подшипивной конструкции (рис. 12).

Выводы

1. Распределение местных нормальных напряжений в стенке узла опирания направляющего шкива имеет седловидный характер (рис. 5б, 5г) с концентрацией напряжений, возникающей на расстоянии $2/5b$ от центра площадки опирания подшипника (рис. 6). Коэффициент концентрации напряжений при приближении опорного подшипника к узлу опирания подшипивной конструкции на главную балку укосины увеличивается на 22 % и может составлять диапазон 1,37...2,50. Вследствие этого проверка местных нормальных напряжений в стенке узла опирания направляющего шкива с применением нормативных методик [1, 10] не возможна.
2. Предложена инженерная методика проверки прочности местных нормальных напряжений

в стене узла опирания направляющего шкива в зависимости от величины разрывного усилия подъёмного каната, угла наклона струны каната к горизонту и толщины стенки.

3. На основе регрессионного анализа получены графики коэффициентов перехода от средних нормальных напряжений под подошвой подшипника к максимальному значению приведенных напряжений, которые могут использоваться для проверки прочности стенки узла по приведенным напряжениям.
4. В результате численных экспериментов установлено, что распределение напряжений смятия по торцу переднего упора подшипника направляющего шкива неравномерно, что обусловлено неравномерным характером напряжений в стенке подшипниковой

конструкции под подошвой подшипника. Коэффициент концентрации напряжений смятия составляет 1,5, что необходимо учитывать при расчёте упора подшипника шкива при аварийном сочетании нагрузок.

5. Получена новая конструктивная форма узла опирания направляющего шкива, которая позволяет обеспечить прочность по местным нормальным и приведенным напряжениям в стенке узла опирания направляющего шкива. Новая конструктивная форма узла снижает коэффициент концентрации: а) по местным нормальным напряжениям на 70 %; б) по приведенным напряжениям на 90 %.
6. Разработанные рекомендации по рациональному проектированию узлов опирания направляющих шкивов также эффективны для усиления действующих объектов.

Литература

1. 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.
2. Кущенко, В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров [Текст] : Монография / В. Н. Кущенко. – Матеевка : ДонНАСА, 2006. – 203 с.
3. Кущенко, В. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшипниковые конструкции шахтного укосного копра [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 97–109.
4. 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.
5. Кущенко, В. Н. Закономерности распределения местных напряжений в подшипниковых конструкциях рамных укосных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 203–213.
6. Кущенко, В. Н. Факторный анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов рамных шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Сб. научных

References

1. DBN V.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)
2. Kushchenko, V. N. Safety protection of engineering structures of cut-sample head-frame. Monograph. Makiyivka: DonNASEA, 2006. 203 p. (in Russian)
3. 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)
4. 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)
5. Kushchenko, Volodymyr; Nechitailo, Alexander. Mechanism of local stress distribution in subpulley structures of frame-type sloping headgears. In: *Metal Constructions*, 2013, Volume 19, Number 4, p. 203–213. (in Russian)
6. Kushchenko, V. N.; Nechitaylo, A. E. Factor analysis of strained state of construction units of support of angle sheave of deep beam of head-frame. In: *Edited volume*. Dnepropetrovsk: GVUZ PGASA, 2013, Issue 71, Volume 2, p. 92–101. (in Russian)
7. Gorev, V. V. (Ed.); Uvarov, B. Yu.; Filippov, V. V.; Belyi, G. I. et al. Metal structures. In three parts, the third part. Special structures and constructions Textbook. Second edition, revised. Moscow: High

- трудов. – Дн. : ГБУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. 71, Т. 2. – С. 92–101.
7. Металлические конструкции [Текст]. 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. – ISBN 5-06-003787-8.
 8. Кущенко, В. Н. Научные основы обеспечения надежности и экономичности шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, В. М. Левин, В. Ф. Муцанов. – 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 – Part 6: Crane supporting structures [Текст]. – Supersedes ENV 1993-6:1999 ; April 2007. – Brussels : CEN, 2007. – 37 p.
 11. EN 1993-1-1:2005 (E). Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1 General rules and rules for buildings [Текст]. – Supersedes ENV 1993-1-1:1992 ; May 2005. – Brussels : CEN, 2005. – 91 p.
 12. Kushchenko, Volodymyr. Experimental research of the mode of deformation of sub-pulley structures of shaft frame-type sloping headgear [Текст] / Volodymyr Kushchenko, Alexandr Nechitaylo // Металеві конструкції. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 143–154.
 - school, 2002. 544 p. ISBN 5-06-003787-8. (in Russian)
 8. Kushchenko, V. N.; Levin, V. M.; Mushchanov, V. F. Scientific foundation of reliability control and efficiency of head-frame. Makiyivka: DonNASEA, 2012. 461 p. (in Russian)
 9. Rozenblit, G. L. Metal structures of buildings and constructions of coal-mining industry. Moscow: Ugletekhizdat, 1953. 272 p. (in Russian)
 10. EN 1993-6:2007 (E). Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 6: Crane supporting structures. Supersedes ENV 1993-6:1999; April 2007. Brussels: CEN, 2007. 37 p.
 11. EN 1993-1-1:2005 (E). Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1 General rules and rules for buildings. Supersedes ENV 1993-1-1:1992; May 2005. Brussels: CEN, 2005. 91 p.
 12. Kushchenko, Volodymyr; Nechitaylo, Alexandr. Experimental research of the mode of deformation of sub-pulley structures of shaft frame-type sloping headgear. In: *Metal Constructions*, 2013, Volume 19, Number 3, p. 143–154.

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 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.

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 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.

Kushchenko Volodymyr – DSc (Eng.), Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Construction. His research interests include mathematical modeling of the special loads of designs of head frames.

Nechitailo Alexandr – a postgraduate, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific 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.