



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2012, ТОМ 18, НОМЕР 2, 97–109

УДК 624.96

(12)-0262-1

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ОПИРАННЯ НАПРАВЛЯЮЧИХ ШКІВІВ НА ПІДШКІВНІ КОНСТРУКЦІЇ ШАХТНОГО УКІСНОГО КОПРА

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 8 лютого 2012; прийнята 27 квітня 2012.

Анотація. У статті наведено результати аналізу напружено-деформованого стану вузлів опирання напрямівних шківів на підшківні конструкції шахтного рамного копра, який на цей час знаходиться в умовах експлуатації. Аналіз виконувався на розрахунковій моделі, що складається з плоских і просторових кінцевих елементів, реалізованих в середовищі програмного комплексу «LIRA». В результаті чисельних експериментів виявлені закономірності розподілу місцевих напружень під опорним підшипником напрямівного шківів, встановлені параметри плоского напруженого стану при аварійних навантаженнях і навантаженнях нормальної експлуатації. Встановлено характерні значення коефіцієнтів концентрації напружень при різних кутах нахилу рівнодійної від натягу підйомного канату. На підставі результатів чисельного моделювання розроблені рекомендації щодо вдосконалення конструктивної форми вузлів обпирання напрямівних шківів на підшківні конструкції рамного типу. В цілому отримані результати є основою для вдосконалення інженерних методик розрахунку сталевих конструкцій шахтних укисних копрів.

Ключові слова: шахтний рамний укисний копер, підшківні конструкції, вузол опирання напрямівного шківів, розрахункова схема, напружено-деформований стан, місцеві напруження.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ОПИРАНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ ШКИВОВ НА ПОДШКИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ШАХТНОГО УКОСНОГО КОПРА

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 8 февраля 2012; принята 27 апреля 2012.

Аннотация. В статье приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшківные конструкции шахтного рамного копра, который в настоящее время находится в условиях эксплуатации. Анализ производился на расчетной модели, состоящей из плоских и пространственных конечных элементов, реализованных в среде программного комплекса «LIRA». В результате численных экспериментов выявлены закономерности распределения местных напряжений под опорным подшипником направляющего шкива, установлены параметры плоского напряженного состояния при аварийных нагрузках и нагрузках нормальной эксплуатации. Определены характерные значения коэффициентов концентрации напряжений при различных углах наклона равнодействующей от натяжения подъемного каната. На основании результатов

численного моделирования разработаны рекомендации по совершенствованию конструктивной формы узлов опирания направляющих шкивов на подшивные конструкции рамного типа. В целом полученные результаты являются основой для совершенствования инженерных методик расчета стальных конструкций шахтных укосных копров.

Ключевые слова: шахтный рамный укосный копёр, подшивные конструкции, узел опирания направляющего шкива, расчётная схема, напряжённо-деформированное состояние, местные напряжения.

ANALYSIS OF THE MODE OF DEFORMATION OF THE JOINTS OF GUIDE PULLEY RESTING ON SHAFT 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 8 February 2012; accepted 27 April 2012.

Abstract. The paper is about the results of the analysis of the mode of deformation of the joints of guide pulley resting on sub-pulley structures of a shaft frame-type headgear which is presently under operating conditions. The analysis was done by the design model consisting of plane and solid finite elements and which was realized in the program «LIRA». Due to the numerical results, there were revealed the regularities of local stresses distribution under a guide pulley bearing; parameters of a plane stress under both emergency and normal working loads were found out. On the numerical simulation the guidelines to improve the construction of the joints of guide pulley resting on the sub-pulley frame-type structures were worked out. In whole, the results obtained are the base to improve the engineering procedures of designing steel structures of shaft sloping headgear.

Keywords: shaft frame-type sloping headgear, sub-pulley structures, joint of a guide pulley resting, design diagram, mode of deformation, local stresses.

Введение

Укосные шахтные копры являются наиболее ответственными сооружениями шахтной поверхности. Аварии шахтных копров имеют катастрофические последствия и приводят к длительным остановкам производства. Например: разрушение шахтного копра на шахте им. Бажанова в 2011 г. Причинами аварий являются: а) тяжелые условия эксплуатации; б) интенсивные динамические нагрузки; в) недостаточно точные инженерные методики расчёта; г) изменение технических характеристик ШПУ без должного инженерного обоснования.

В настоящее время шахтные копры на угольных предприятиях Украины, эксплуатирующиеся более 40 лет, в значительной мере исчерпали свой ресурс и требуют усиления и реконструкции. В связи с необходимостью добычи угля с глубин более 1 000 м существует тенденция

увеличения нагрузок на конструкции шахтных копров. Для разработки эффективных технических решений по реконструкции и проектированию новых шахтных подъёмных установок весьма актуальной является задача совершенствование инженерных методик расчёта конструкций шахтных копров. Одной из задач совершенствования инженерных методик расчёта стальных конструкций шахтных копров является учёт местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов [9].

Целью работы является совершенствование инженерной методики расчета конструкций узлов опирания направляющих шкивов.

Задачами работы является: а) выявление областей распределения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива при различных параметрах равнодействующей от натяжения подъемного каната; б) определение

параметров плоского напряженно-деформированного состояния подшивных конструкций; в) установление принципов рационального конструирования подшивных конструкций.

Анализ литературных источников

В настоящее время исследования в области совершенствования методов расчета и проектирования шахтных укосных копров осуществляются по трем основным направлениям.

1. Исследование процессов физического износа и поиск рациональных конструктивных форм [3, 4, 5, 6, 7].
2. Исследование напряженно-деформированного состояния копров. В этом направлении проводились как теоретические [10, 11, 12], так и экспериментальные исследования [13, 14].
3. Учет динамического характера нагрузок. Работы этого направления посвящены исследованию нагрузок нормальной эксплуатации, а также аварийных нагрузок [15, 16, 17].

В статье авторов [9] выполнен анализ напряженно-деформированного состояния рамного укосного копра на пространственной расчетной схеме, аппроксимированной пластинчатыми конечными элементами. Одним из выводов является определение области максимальных местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов. Анализ априорных источников показал, что в настоящее время отсутствуют инженерные методики проверки прочности подшивных конструкций по местным напряжениям.

Объектом исследования являются подшивные конструкции скипового шатрового рамного копра, который находится в условиях эксплуатации.

Копер имеет следующие технические характеристики: высота копра – 60,0 м; разнос ветвей укосины – 20,0 м; расстояние между укосинами – 50,0 м; наклон ветвей укосины к горизонту 69° ; сечения ветвей укосин – коробчатое; материал конструкций – сталь С255 (рис. 1).

а)



б)

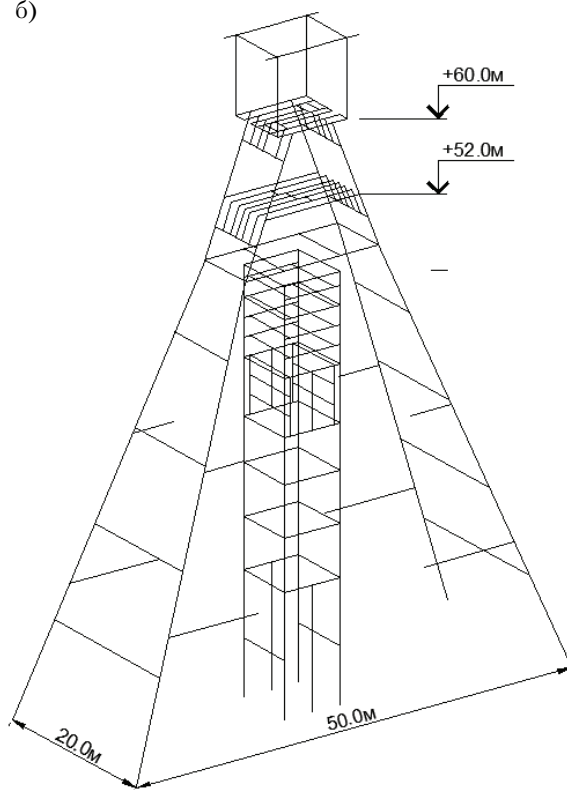


Рисунок 1. Характеристики скипового шатрового рамного копра: а) общий вид сооружения; б) геометрическая схема сооружения.

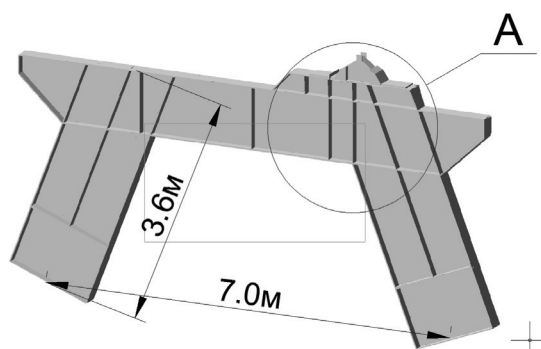
Подшивные конструкции рамных укосных копров служат для опирания направляющих шкивов. В данной работе рассмотрены подшивные конструкции верхнего шкива. По конструктивной схеме рассматриваемая подшивная конструкция представляет собой раму с наклонными к горизонту стойками (угол наклона 69°). Ригель рамы выполнен из сварного двутавра высотой 1 000 мм, шириной полки 250 мм. Сечения наклонных стоек выполнены из сварных двутавров высотой 1 400 мм, ширина полки 250 мм. В месте опирания подшипника направляющего шкива предусмотрено изменение сечения ригеля рамы путем добавления сверху к основному сечению ригеля тавра высотой 320 мм с шириной полки 300 мм (рис. 2а).

Узел «А», в дальнейшем «опорный узел направляющего шкива» (рис. 2б) состоит из:

опорного подшипника направляющего шкива (поз. 1), переднего и заднего упоров (поз. 2), опорной поверхности подшипника (поз. 3), ребер жесткости опорного узла направляющего шкива (поз. 4). Опорный подшипник направляющего шкива в вертикальном направлении крепится четырьмя болтами, а в горизонтальном – закреплён строганными клиньями между упорами, прикрепленными угловыми сварными швами к верхнему поясу ригеля подшивной рамы. Болты крепления подшипника направляющего шкива выполняют только монтажную функцию, поскольку растягивающие усилия при натяжении подъёмного каната в них не возникают.

Фотоиллюстрации подшивных конструкций и узлов опирания шкивов верхней подшивной площадки показаны на рис. 3.

а)



б)

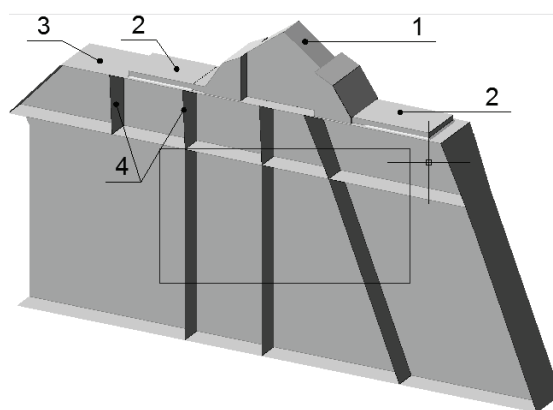


Рисунок 2. Конструктивная схема подшивной рамы: а) общий вид подшивной рамы; б) опорный узел направляющего шкива (узел «А» где: 1 – опорный подшипник направляющего шкива; 2 – передний и задний упоры; 3 – опорная поверхность подшипника; 4 – ребра жесткости опорного узла направляющего шкива).

а)



б)



Рисунок 3. Подшивные конструкции верхней подшивной площадки: а) вид снизу; б) узел опирания направляющего шкива.

Методики исследования

Исследование напряженно-деформированного состояния сооружения велось в три этапа:

1 этап. Моделирование напряженно-деформированного состояния сооружения на пространственной расчетной модели, аппроксимированной стержневыми конечными элементами в среде программно-вычислительного комплекса SCAD.

2 этап. Определение граничных условий взаимодействия моделируемой подшивной конструкции с остальной частью сооружения на основе стержневой конечно-элементной модели.

3 этап. Моделирование напряженно-деформированного состояния подшивной конструкции на пространственной расчетной схеме, аппроксимированной пластинчатыми и объемными конечными элементами в среде программно-вычислительного комплекса LIRA.

Расчет производился на следующие нагрузки: а) нагрузки нормальной эксплуатации (рабочее усилие от натяжения подъемных канатов, вес шкивов, постоянная нагрузка); б) аварийные нагрузки от разрыва каната верхнего шкива, определялись в соответствии с положениями [2].

Нагрузки от натяжения канатов передаются в узлах опирания направляющих шкивов в виде вертикальной и горизонтальной составляющих равнодействующей от натяжения ветви подъемного каната (рис. 4).

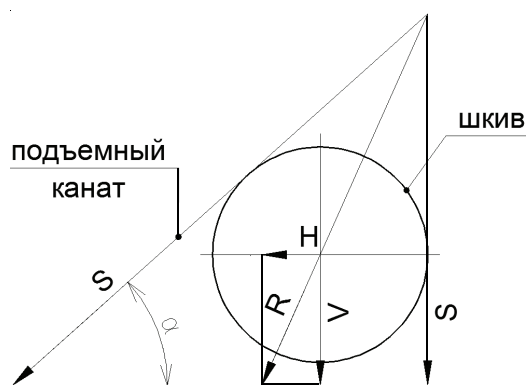


Рисунок 4. Схема передачи нагрузки от натяжения подъемных канатов где: S – натяжение в ветви каната; R – равнодействующая от натяжения подъемного каната; V – вертикальная составляющая равнодействующей; H – горизонтальная составляющая равнодействующей; α – угол наклона подъемного каната к горизонту.

1 этап. Стержневая аппроксимация конструктивной схемы рамного укосного копра осуществлена в программном комплексе SCAD. Характеристики расчетной модели: конечные элементы – стержневые общего вида (тип схемы 5 – система общего вида); количество конечных элементов – 563; соединяющих узлов – 357; закрепления ветвей укосин к основанию – жесткое (рис. 5а).

Нагрузки от натяжения каната прикладывались в местах опирания направляющих шкивов по схеме, приведенной на рис. 6.

2 этап. На пространственной расчетной модели, аппроксимированной стержневыми конечными элементами (рис. 5б), определены характеристики краевых условий для подшивной рамы верхнего шкива. Определены податливость и изгибная жесткость в местах примыкания к главным балкам укосины верхнего шкива.

3 этап. Подшивная рама верхнего шкива рассматривалась как пространственная пластинчатая система в среде программного комплекса LIRA в виде присоединяемой системы с учетом краевых условий взаимодействия (рис. 5в, 7).

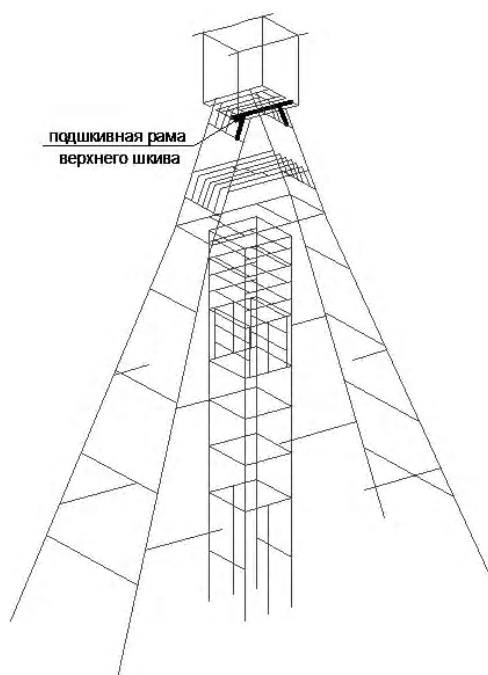
Характеристики расчетной модели: тип схемы 5 – система общего вида; тип КЭ 42, 44 – универсальный треугольный и четырехугольный КЭ оболочки размером от 0,02 до 0,10 м; тип КЭ 34, 36 – объемные КЭ; тип КЭ 266 – одноузловой КЭ односторонних упруго-податливых связей; тип КЭ 262 – двухузловой КЭ, моделирующий одностороннюю упругую связь между узлами; количество конечных элементов – 4781.

Упругое взаимодействие подшивной рамы с остальной частью сооружения укосины имитировалось путем введения упруго-податливых связей (КЭ 266), которые моделировали осевую и изгибную жесткость узла примыкания.

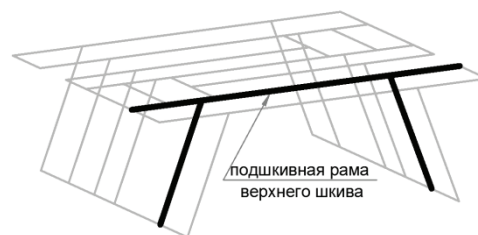
Подшипник направляющего шкива моделировался объемными конечными элементами (КЭ 34, 36) так, чтобы форма и размеры модели соответствовали конструкции опорного подшипника направляющего шкива (рис. 2б, 8). Опирание подошвы подшипника на раму выполнялось при помощи односторонних упругих связей (КЭ 262), работающих на сжатие и податливых в горизонтальном направлении.

Взаимодействие конструкции подшипника с упорами моделировалось также односторонними связями (КЭ 262), работающими на сжатие. Упоры выполнены из объемных элементов (КЭ 36). Крепления упоров осуществлялось угловыми сварными швами катетом 10 мм, которые моделировались объемными конечными элементами (КЭ 34).

а)



б)



в)

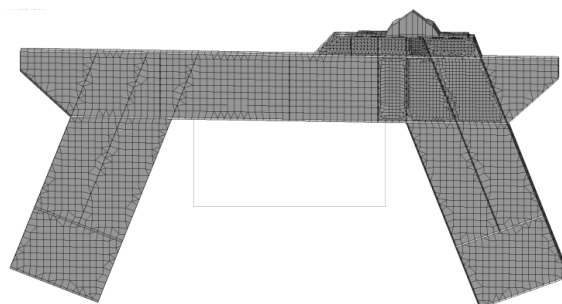


Рисунок 5. Шатровый копёр скипового ствола: а) общий вид стержневой аппроксимации конструктивной схемы; б) фрагмент стержневой аппроксимации верхней подшипниковой конструкции; в) пространственная пластинчатая аппроксимация рамы верхнего шкива.

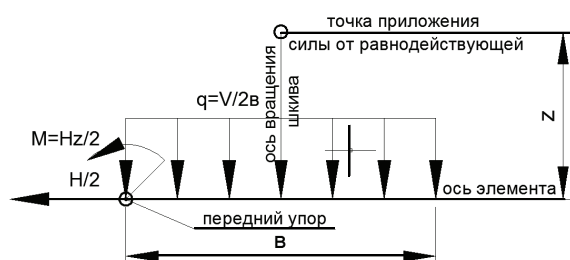


Рисунок 6. Схема передачи нагрузки от натяжения подъемных канатов в стержневой аппроксимации, где: V – вертикальная составляющие равнодействующей; H – горизонтальная составляющая равнодействующей; v – длина подошвы подшипника; z – расстояние от точки приложения равнодействующей до оси элемента; M – момент от сдвигающей силы в упоре.

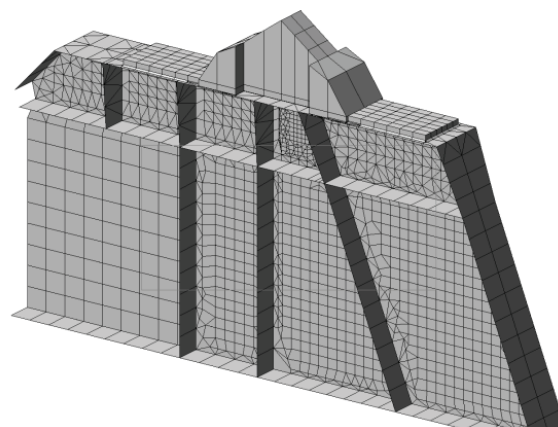


Рисунок 7. Фрагмент расчетной схемы, аппроксимированной пластинами.

тановок угол наклона струны каната к горизонту может изменяться, в процессе численного эксперимента выполнялась оценка влияния угла наклона каната на плоское напряженно-деформированное состояние. Угол наклона равнодействующей натяжения подъемного каната варьировался в пределах $30...65^\circ$ с шагом 5° .

Основная часть

В результате расчета пространственной системы, аппроксимированной пластинчатыми конечными элементами, получены: главные напряжения (σ_1, σ_2), приведенные напряжения ($\sigma_{\text{прив}}$), нормальные напряжения (σ_x, σ_y), касательные напряжения (τ_{xy}). Выполнен анализ характерных областей местных напряжений, определены размеры и привязка характерных областей к оси вращения шкива. Получены коэффициенты концентрации напряжений (K_u).

Анализ напряженно-деформированного состояния расчетной модели, аппроксимированной пластинчатыми конечными элементами, выявил следующие области распределения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива: «А» – область распределения

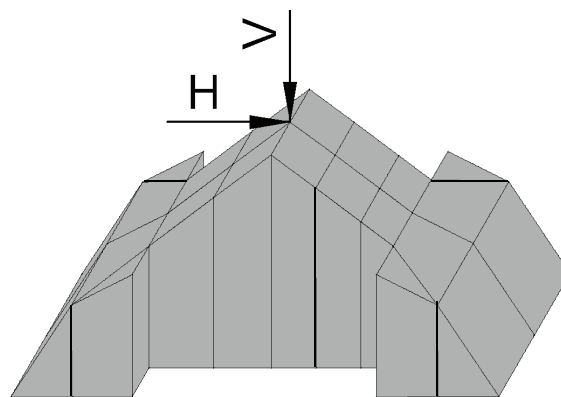


Рисунок 8. Схема передачи нагрузки от натяжения подъемного каната в пластинчатой аппроксимации, где: V – вертикальная составляющая равнодействующей; H – горизонтальная составляющая равнодействующей.

локальных напряжений под подошвой опорного подшипника (рис. 9, табл. 1, 2); «В» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке узла крепления шкива (рис. 9, табл. 1, 2); «С» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля (рис. 9, табл. 1, 2); «D» – область установившегося напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля (рис. 9, табл. 1, 2).

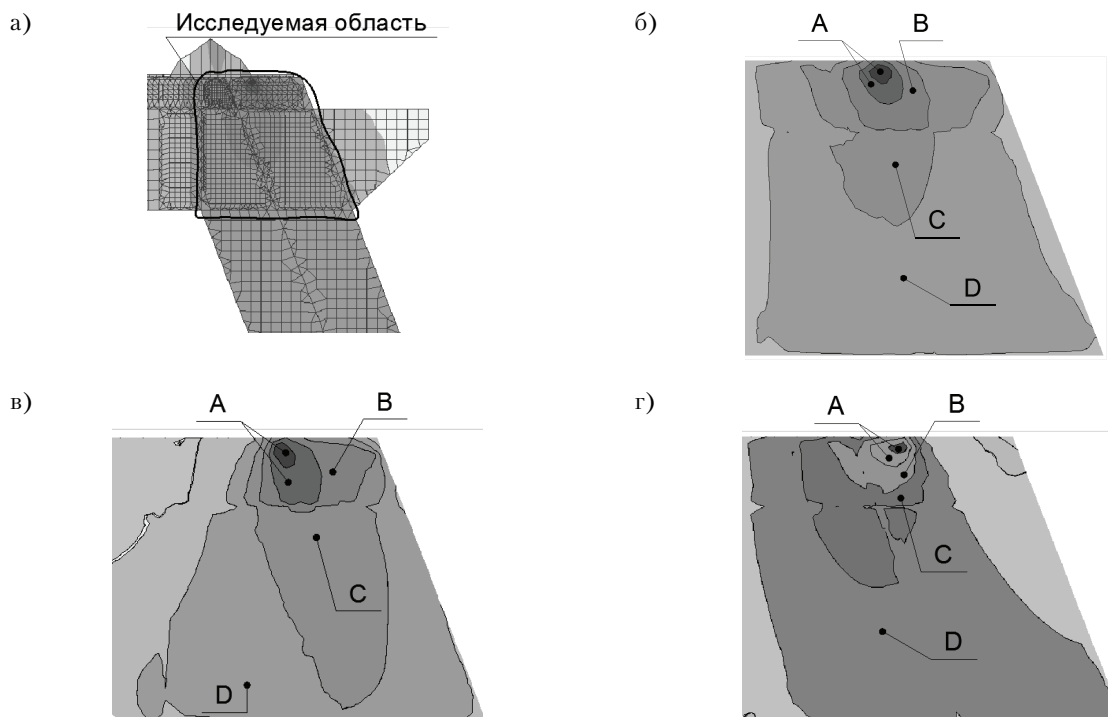


Рисунок 9. Области распределения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива (изополя напряжений): а) фрагмент подшипниковой рамы; б) $\sigma_{\text{прив}}$; в) σ_x ; г) τ_{xy} .

Из рис. 9 видно, что область распределения локальных напряжений (область «А») находится под передним торцом подшипника направляющего шкива. Область плоского напряженно-деформированного состояния (область «В») находится в стенке узла крепления шкива и ограничивается отсеком под передним упором подшипника шкива. Область плоского напряженно-деформированного состояния (область «С») распространяется как на стенку узла крепления шкива, так и на и стенку ригеля. Область установившегося напряженно-деформирован-

ного состояния (область «D») распространяется на стенку ригеля и переходит в наклонную стойку подшивной рамы.

Линейные размеры характерных областей, привязки к оси вращения шкива и отношение высоты (h) и ширины (d) характерной области к длине подошвы опорного подшипника (b) приведены в табл. 1.

Интенсивность напряженно-деформированного состояния в исследуемых областях и отношения $\sigma_{max1}/\sigma_{max2}$, $\sigma_{xmax}/R_y\gamma_c$, $\sigma_{прив}/1,15R_y\gamma_c$, а так же $\tau_{max}/0,58R_y\gamma_c$ приведены в табл. 2.

Таблица 1. Размеры областей местных напряжений в узле опирания направляющего шкива

Вид напряжений	Область напряжений	Линейные размеры области ($d \times h$), см	Привязка к оси вращения шкива, см		d/b	h/b
			по горизонтали	по вертикали		
$\sigma_{прив.}$	A	16 x 16	41	42	0,20	0,20
	B	39 x 30			0,49	0,38
	C	86 x 91			1,08	1,14
	D	150 x 135			1,88	1,69
σ_x	A	20 x 13	38	42	0,25	0,16
	B	40 x 25			0,50	0,31
	C	60 x 69			0,75	0,86
	D	150 x 135			1,88	1,69
τ_{xy}	A	25 x 31	46	46	0,31	0,39
	B	54 x 35			0,68	0,44
	C	66 x 127			0,83	1,59
	D	150 x 135			1,88	1,69

Примечания: b – длина подошвы подшипника направляющего шкива; d – ширина области; h – высота области.

Таблица 2. Экстремальные значения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива

Область напр.	σ_{max1} , МПа	σ_{max2} , МПа	$\sigma_{прив.}$, МПа	σ_{xmax} , МПа	τ_{max} , МПа	$\sigma_{max1}/\sigma_{max2}$	K_u	$\sigma_{xmax}/R_y\gamma_c$	$\sigma_{прив.}/1,15 R_y\gamma_c$	$\tau_{max.}/0,58 R_y\gamma_c$
A	6,5	-361,0	364,3	-277,6	172,2	-0,018	3,8	0,99	1,1	1,1
B	49,5	-147,9	177,9	-163,7	105,6	-0,335	1,9	0,58	0,6	0,6
C	25,6	-121,2	135,8	-128,0	63,9	-0,212	1,4	0,46	0,4	0,4
D	9,0	-103,2	108,0	-81,7	47,7	-0,087	1,1	0,29	0,3	0,3

Из табл. 2 видно, что области «А» и «Д» имеют близкое к линейно-деформированному напряженное состояние с отношением $\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2}$ равное $-0,018$ и $-0,087$ соответственно. Области «В» и «С» являются областями плоско-напряженного состояния с отношением $\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2}$ равным $-0,335$ и $-0,212$ соответственно. Для области «А» не выполняются проверки прочности по касательным и приведенным напряжениям при аварийном сочетании нагрузок.

Максимальные значения $\sigma_{\max 1}$, $\sigma_{\max 2}$, $\sigma_{\text{прив.}}$, $\sigma_{x \max}$, $\sigma_{y \max}$, τ_{\max} в узле опирания направляющего шкива при различных параметрах равнодействующей от натяжения подъемного каната, а также коэффициент концентрации напряжений (K_u) приведены в табл. 3 и рис. 10.

Поскольку в области местных напряжений подшивных конструкций выявлена область с нарушением условий прочности по касательным и приведенным напряжениям (коэффициент использования по приведенным и касательным напряжениям $-1,1$; см. рис. 9, табл. 2 – область «А»), были рассмотрены два варианта усиления узла путем установки дополнительных поперечных ребер под передним торцом опорного подшипника: а) вертикальное ребро; б) наклонное ребро (наклон ребра соответствует углу наклона равнодействующей от натяжения каната) см. рис. 11, табл. 4.

Из табл. 4 видно, что вертикальное ребро, расположенное под передним торцом опорного подшипника, эффективнее, поскольку при

Таблица 3. Экстремальные значения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива при изменении угла наклона равнодействующей

α , градусы	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_{\text{прив.}}$, МПа	$\sigma_{x \max}$, МПа	$\sigma_{y \max}$, МПа	τ_{\max} , МПа	σ_1/σ_2	K_u
30	10,2	-369,7	374,9	-334,0	-56,5	171,2	-0,028	4,57
35	9,3	-369,2	373,9	-332,4	-58,3	172,3	-0,025	4,33
40	8,3	-367,1	371,3	-329,2	-59,8	172,7	-0,023	4,09
45	7,2	-363,1	366,8	-324,3	-61,1	172,3	-0,020	3,86
50	6,1	-357,4	360,5	-317,7	-62,2	171,1	-0,017	3,65
55	5,0	-350,1	352,6	-309,6	-63,1	169,2	-0,014	3,44
60	3,9	-341,1	343,0	-299,9	-63,7	166,5	-0,011	3,24
65	2,7	-330,6	332,0	-288,8	-64,1	163,0	-0,008	3,04

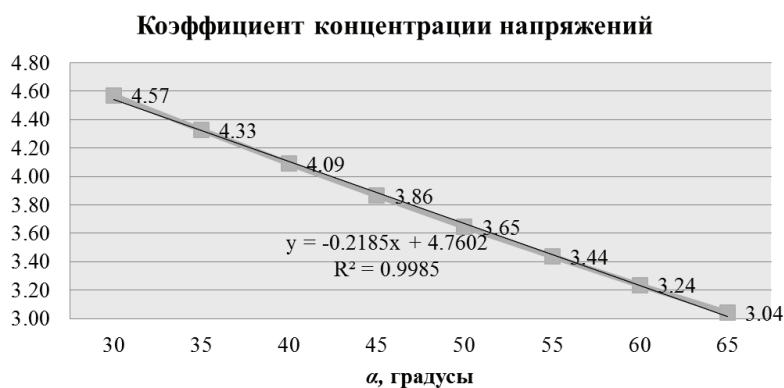


Рисунок 10. Коэффициент концентрации напряжений при различных параметрах равнодействующей от натяжения подъемного каната.

этом варианте усиления узла наблюдаются меньшие значения коэффициента концентрации напряжений.

Выводы

1. В результате численного эксперимента в стенке ригеля подшивной конструкции выявлены следующие характерные области распределения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива: «А» – область распределения локальных напряжений под подошвой опорного подшипника, близкая к линейному напряжённому состоянию ($\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2} = -0,018$); «В» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке узла крепления шкива ($\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2} = -0,335$); «С» – область плоского напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля ($\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2} = -0,212$); «D» – область установившегося напряженно-деформированного состояния в стенке ригеля, близкая к линейному напряжённому состоянию ($\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2} = -0,087$).
2. В области локальных напряжений «А» в стенке ригеля подшивной конструкции вы-

явлена область, для которой при «аварийном» сочетании нагрузок не обеспечена прочность по касательным и приведенным напряжениям ($\sigma_{\text{прив}}/1,15R_y\gamma_c = 1,1$; $\tau_{\max}/0,58R_y\gamma_c = 1,1$).

3. Для обеспечения прочности стенки ригелей в узлах опирания направляющих шкивов рекомендуется устанавливать дополнительные двухсторонние вертикальные ребра под передним торцом опорного подшипника в соответствии со схемой, приведенной на рис. 11.
4. Коэффициент концентрации напряжений в стенке ригеля подшивной конструкции в зоне локальных напряжений «А» при изменении угла наклона равнодействующей от натяжения подъёмного каната в диапазоне $30...65^\circ$ изменяется от 4,57 до 3,04.
5. Привязка центра области локальных напряжений (область «А») к оси вращения шкива, при изменении угла наклона равнодействующей от натяжения подъёмного каната, остается постоянной. Ширина и высота данной области, при изменении угла наклона равнодействующей, увеличиваются в 1,7 раз, при этом закон изменения имеет линейный характер.

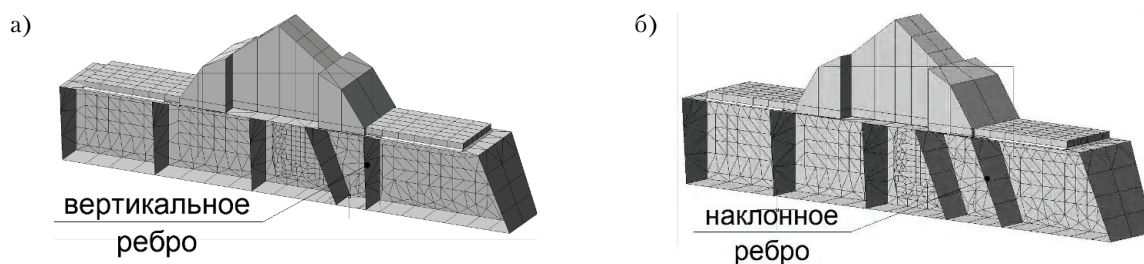


Рисунок 11. Поперечные ребра под передним торцом опорного подшипника: а) вертикальное ребро; б) наклонное ребро.

Таблица 4. Экстремальные значения местных напряжений в узле опирания направляющего шкива при различных вариантах установки дополнительных поперечных ребер

Распол. ребра	$\sigma_{\max 1}$, МПа	$\sigma_{\max 2}$, МПа	$\sigma_{\text{прив.}}$, МПа	$\sigma_{x \max}$, МПа	τ_{\max} , МПа	$\sigma_{\max 1}/\sigma_{\max 2}$	K_u	$\sigma_{x \max}/R_y\gamma_c$	$\sigma_{\text{прив.}}/1,15 R_y\gamma_c$	$\tau_{\max}/0,58 R_y\gamma_c$
Вертикальное	72,5	-185,2	230,2	-153,8	117,8	-0,4	2,0	0,5	0,7	0,7
Наклонное	145,6	-178,4	281,1	-169,7	121,0	-0,8	2,2	0,6	0,9	0,7

Литература

1. 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.
2. 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.
3. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации [Текст]. – К. : Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
4. РД 12.003-92. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров [Текст]. – К. : Госуглепром Украины, 1993. – 102 с.
5. РД 12.011-96. Здания и сооружения технологических комплексов шахтной поверхности. Требования к эксплуатации [Текст]. – К. : Госуглепром, 1996. – 75 с.
6. ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности [Текст]. – Донецк : ПромстройНИИ-проект, 1977. – 89 с.
7. Указания по определению нормативных нагрузок и коэффициентов перегрузки для надшахтных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности [Текст] / Госстрой СССР, Харьковский ПромстройНИИпроект, научно-исследовательская часть. – К. : Будівельник, 1964. – 81 с.
8. 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 легких металлических конструкций : Сб. науч. раб. / КИСИ. – К. : КИСИ, 1984. – С. 103–104.
9. 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.
10. 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.
11. Жербин, М. М. Исследование статических воздействий ветрового потока па 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.

References

1. 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)
2. 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)
3. RD 12.005-94. Metal structures of mine head-frames. Operation requirements. Kyiv: Gosugleprom of Ukraine, 1994. 68 p. (in Russian)
4. 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)
5. RD 12.011-96. Buildings and structures of technological complexes of mine grass. Operation requirements. Kyiv: Gosugleprom, 1996. 75 p. (in Russian)
6. VSN 46-75. Manuals to determine loads on buildings and structures of mine industry. Donetsk: Promstroiniiproekt, 1977. 89 p. (in Russian)
7. Determination of normative loads and overloading coefficients for pithead buildings and structures of mine industry. Kyiv: Budivelnik, 1964. 81 p. (in Russian)
8. 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)
9. 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, T. 17, No. 3, p. 151–165. (in Russian)
10. 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)
11. 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)
12. Kushchenko, V. N.; Kostrickiy, 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. Vol. 2. Towers: building materials, structures, processes, p. 46–52. (in Russian)

12. 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.
13. Кущенко, В. Н. Методика и результаты динамических испытаний укосного шахтного копра / 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.
14. 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 ПромстройНИИпроект, научно-исследовательская часть. – К. : Будівельник, 1964. – С. 274–283.
15. 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.
16. Балкарей, И. М. Колебания укосных копров при экстренном разрыве шахтного подъемного 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.
17. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design [Текст] / Ministry of Housing, Nordic Committee on Building Regulations. – Copenhagen : NKB, 1978. – Report No. 36. – 148 p.
13. Kushchenko, V. N.; Kostritskiy, 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. Vol. 2. Towers: building materials, structures, processes, p. 116–125. (in Russian)
14. 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)
15. 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)
16. 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)
17. Nordic Committee on Building Regulations. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design. Copenhagen: NKB, 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 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 металлические конструкции 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.

Volodymyr Kushchenko – DSc (Eng.), Professor; Metal Structures Department of the 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.

Alexander Nechitailo – a postgraduate of the Metal Structures Department of the 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.