



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2013, ТОМ 19, НОМЕР 4, 203–213

УДК 624.96

(13)-0298-1

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ МІСЦЕВИХ НАПРУЖЕНЬ У ПІДШКІВНИХ КОНСТРУКЦІЯХ РАМНИХ УКІСНИХ КОПРІВ**

**В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло**

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

*Отримана 30 вересня 2013; прийнята 22 листопада 2013.*

**Анотація.** У роботі наведені результати факторного аналізу напруженого стану вузлів опирання напрямівних шківів на підшківні конструкції шахтних рамних копрів, які на даний час знаходяться в умовах експлуатації. Аналіз проводився на розрахункових моделях, що складаються з плоских і просторових кінцевих елементів, реалізованих у середовищі програмного комплексу «Ansys Workbrench 14.0». В результаті чисельних експериментів встановлено закономірності розподілу місцевих напружень під опорними підшипниками напрямівних шківів, встановлені параметри напруженого стану при зміні технологічних і конструктивних факторів. Виконано порівняння отриманих результатів з даними натурних експериментів. У 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 шківа, факторний аналіз, напружений стан, місцеві напруження.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОДШКИВНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РАМНЫХ УКОСНЫХ КОПРОВ**

**В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло**

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

*Получена 30 сентября 2013; принята 22 ноября 2013.*

**Аннотация.** В работе приведены результаты факторного анализа напряженного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшківные конструкции шахтных рамных копров, которые в настоящее время находятся в условиях эксплуатации. Анализ производился на расчётных моделях, состоящих из плоских и пространственных конечных элементов, реализованных в среде программного комплекса «Ansys Workbrench 14.0». В результате численных экспериментов установлены закономерности распределения местных напряжений под опорными подшипниками направляющих шкивов: определены значимые технологические и конструктивные факторы и построена математическая модель для определения экстремальных напряжений. Выполнено сопоставление полученных результатов с данными натурных экспериментов. В целом полученные результаты являются основой для совершенствования инженерных методик расчета стальных конструкций шахтных укосных копров.

**Ключевые слова:** шахтный рамный укосный копр, подшківные конструкции, узел опирания направляющего шківа, факторный анализ, напряжённое состояние, местные напряжения.

## MECHANISM OF LOCAL STRESS DISTRIBUTION IN SUBPULLEY STRUCTURES OF FRAME-TYPE SLOPING HEADGEARS

**Volodymyr Kushchenko, Alexander Nechitailo**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: a.e.nechitaylo@mail.ru*

*Received 30 September 2013; accepted 22 November 2013.*

**Abstract.** The article is about the results of the factorial analysis of the stressed state of guide pulley joints resting on the sub-pulley structures of the shaft frame-type headgears under operating conditions. The analysis was carried out on the design models consisting of band and solid finite elements implemented within the program complex «Ansys Workbench 14.0». From the numerous experiments the mechanism of the local stress distribution under support bearings of the guide pulleys was found out, the parameters of the stressed state under changes of the processing and design factors were determined. The obtained results were compared with the full-scale experiment data. In general, the obtained results are the bases for the improvement of the engineering procedures of designing steel structures of the shaft sloping headgears.

**Keywords:** shaft sloping headgear, sub-pulley structures, guide pulley resting joint, factorial analysis, stressed state, local stresses.

### Актуальность

Укосные шахтные копры являются наиболее ответственными сооружениями шахтной поверхности. Аварии шахтных копров имеют катастрофические последствия и приводят к длительным остановкам производства. При обследовании металлических копров Донецкой области (более 110 копров) из-за выявленных эксплуатационных повреждений запрещена эксплуатация 62 копров. Причинами аварий и неудовлетворительного состояния шахтных копров являются: а) тяжелые условия эксплуатации; б) интенсивные динамические нагрузки; в) изменение технических характеристик подъемных канатов без должного инженерного обоснования [10, 17].

В проектной практике расчёт копров производится по расчётным схемам, в которых подшивные конструкции аппроксимируют стержневыми элементами, а равнодействующую от натяжения канатов представляют в виде двух сосредоточенных сил: горизонтальной и вертикальной составляющих, приложенных в местах опирания направляющих шкивов [1–6], что является причиной недостоверности результатов определения напряжённого состояния подшивных конструкций шахтных копров [14, 15]. Таким образом, анализ напряжённого состояния элементов подшивных конструк-

ций, с учётом факторов влияния, является актуальной научной задачей.

### Предыдущие исследования

В развитии работы [15] для уточнения местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов выполнялся анализ напряженно-деформированного состояния узлов опирания направляющих шкивов на подшивные конструкции [14].

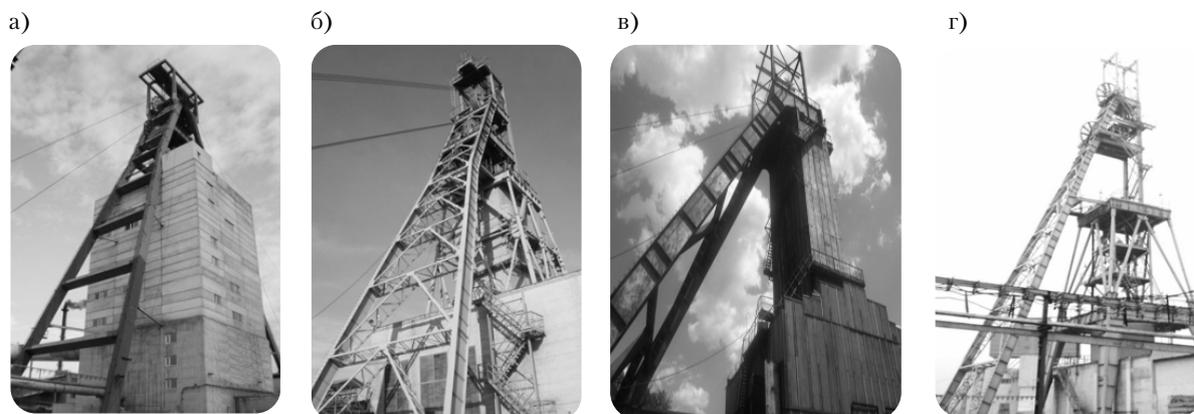
Анализ производился на расчётной модели, состоящей из плоских и пространственных конечных элементов, которые были реализованы в среде программного комплекса «LIRA». В этой работе выявлены характерные области распределения местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов. В ряде случаев для области локальных напряжений «А» в стенке ригеля подшивной конструкции при «аварийном» сочетании нагрузок не обеспечена прочность по касательным и приведенным напряжениям ( $\sigma_{\text{прив}}/1,15R_y \gamma_c = 1,1; \tau_{\text{max}}/0,58R_y \gamma_c = 1,1$ ). В указанной работе нагрузки от натяжения подъёмных канатов рассматривались как статические.

**Объектом исследования** являются подшивные конструкции рамных укосных копров.

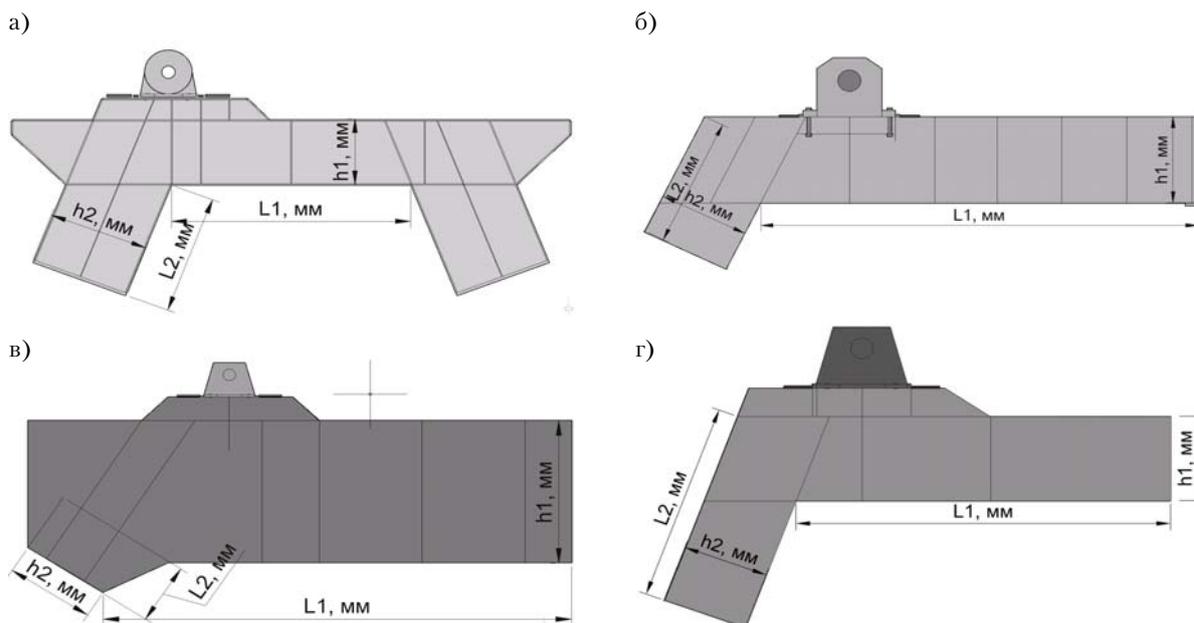
Подшивные конструкции рамных укосных копров служат для опирания направляющих шкивов [12, 17]. В данном исследовании рассмотрены подшивные конструкции копров: полушатрового (одноканатного и многоканатного подъёмов), шатрового и комбинированного (рис. 1).

Рассматриваемые подшивные конструкции представляют собой пространственные пластинчатые конструктивные системы. Характеристики подшивных конструкций представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Из табл. 1 видно, что для подшивных конструкций отношение высоты сечения к длине составляет диапазон 0,21–0,78, к тому же в местах опирания подшипника имеет место резкое изменение сечения, поэтому представление этих элементов в расчётных схемах в виде стержней не позволяет достаточно точно выполнить проверки прочности. Кроме этого, в нормативных документах [2, 4, 5, 20–22] отсутствуют указания о процедуре проверки местной прочности в узлах опирания направляющих шкивов.



**Рисунок 1.** Общий вид копра: а) шатровый скиповой копер; б) полушатровый скиповой копер; в) комбинированный полушатровый копер; г) полушатровый клетьевой копер.



**Рисунок 2.** Пространственные пластинчатые конструктивные системы подшивных балок: а) шатровый скиповой копер; б) полушатровый скиповой копер; в) комбинированный полушатровый копер; г) полушатровый клетьевой копер.

Таблица 1. Характеристики подшивных конструкций

Наименование копра	Угол наклона укосины к горизонту, градус	Сечение горизонтальной части $b_f$ 	Сечение наклонной части $b_f$ 	Опираие подшипника шкива	$h1/L1$	$h2/L2$
Шатровый скиповой копер	69°	$h1 = 1\ 000$ мм; $b_f = 250$ мм; $L1 = 4\ 600$ мм	$h2 = 1\ 400$ мм; $b_f = 250$ мм; $L2 = 180$ мм	на узел опирания	0,22	0,78
Полушатровый скиповой копер	63°	$h1 = 1\ 400$ мм; $b_f = 400$ мм; $L1 = 6\ 740$ мм	$h2 = 1\ 000$ мм; $b_f = 400$ мм; $L2 = 2\ 110$ мм	на верхнюю полку ригеля	0,21	0,47
Комбинированный полушатровый копер	57°	$h1 = 2\ 400$ мм; $b_f = 300$ мм; $L1 = 7\ 400$ мм	$h2 = 700$ мм; $b_f = 300$ мм; $L2 = 1\ 020$ мм	на узел опирания	0,32	0,69
Полушатровый клетевой копер	64°	$h1 = 1\ 000$ мм; $b_f = 320$ мм; $L1 = 3\ 300$ мм	$h2 = 800$ мм; $b_f = 320$ мм; $L2 = 1\ 860$ мм	на верхнюю полку ригеля	0,30	0,43

**Цель исследования:** установление закономерностей распределения местных напряжений в подшивных конструкциях рамных укосных копров.

#### Задачи исследования:

- анализ плоского напряженно-деформированного состояния в подшивных конструкциях в месте опирания направляющего шкива с учётом динамического характера нагрузок от натяжения подъёмных канатов;
- факторный анализ влияния технологических и конструктивных факторов на параметры плоского напряженного состояния подшивных конструкций;
- регрессионный анализ зависимости экстремальных значений местных напряжений в зависимости от факторов влияния.

#### Методика исследования

Для решения поставленных задач использовался метод численного моделирования напряженно-деформированного состояния подшивных конструкций с использованием МКЭ в среде современных программных вычислительных комплексов. Численное моделирование производилось в три этапа:

**1 этап.** Моделирование напряженно-деформированного состояния подшивных конструкций на пространственной расчетной схеме, аппроксимированной пластинчатыми и объемными конечными элементами, выполнялось в среде программно-вычислительного комплек-

са Ansys Workbench 14.0 [11, 13]. При моделировании подшивные конструкции рассматривались как механическая система, состоящая из следующих подсистем:

**1 подсистема.** Геометрически неизменяемая подсистема конструктивных элементов подшивной рамы, выполненная из стальных листов и элементов крепления направляющих шкивов.

**2 подсистема.** Механизм направляющего шкива.

**3 подсистема.** Подсистема «канат-подъемные сосуды», состоящая из следующих элементов: струна подъемного каната; вертикальная ветвь подъемного каната.

**2 этап.** Моделирование нагрузок с учётом динамической составляющей усилия натяжения подъемного каната при ускоренном движении подъёмной машины [12, 16]. Подъемный сосуд и канат представлялись в виде приведенной массы на конце безынерционного упругого элемента, моделирующего ветвь подъемного каната. К этой же сосредоточенной массе прикладывались переменные во времени нагрузки.

**3 этап.** Факторный анализ напряженного состояния узла опирания направляющего шкива [8]. Анализ напряженного состояния в узле опирания шкива в зависимости от технологических факторов (изменение угла наклона струны каната к горизонту, величины равнодействующей) и конструктивных факторов (толщина полки узла опирания шкива, толщины стенки узла опирания шкива).

Диапазон изменения факторов, влияющих на напряжённое состояние узла опирания шкива, приведен в табл. 2.

Факторный анализ напряженно-деформированного состояния подшивных конструкций выполнялся с использованием метода математического планирования эксперимента [8].

**Результаты исследования**

В результате численного моделирования получены параметры напряжённого состояния элементов подшивных конструкций: главные напряжения ( $\sigma_1, \sigma_2$ ), приведенные напряжения ( $\sigma_{прив.}$ ), нормальные напряжения ( $\sigma_x, \sigma_y$ ), касательные напряжения ( $\tau_{xy}$ ) с учётом динамической составляющей нагрузки от натяжения подъёмного каната.

Полученные результаты для узлов опирания направляющих шкивов представлены в табл. 3.

В результате анализа напряжённого состояния конструкций подшивных рам были установлены следующие характерные зоны местных напряжений: «А1» – в полке узла опирания подшипника шкива (под передним торцом подшипника шкива); «А2» – в стенке узла опирания подшипника шкива (под передней частью подошвы подшипника шкива); «А3» – в

сварных швах переднего упора подшипника шкива (рис. 3).

В соответствии с данными, приведенными в табл. 3, напряжённое состояние в зоне «А2» близко к линейному напряжённому состоянию. В отличие от традиционных представлений [2, 4, 5, 21], наиболее напряжённая точка в зоне «А2» находится не на пересечении линии действия равнодействующей от натяжения подъёмного каната, а смещена к переднему упору (рис. 4).

В результате численных экспериментов выявлена закономерность положения наиболее напряженной точки в зоне местных напряжений, которая заключается в том, что при изменении угла наклона струны подъёмного каната к горизонту положение точки экстремальных напряжений не изменяется. Указанная точка находится на пересечении прямой, проведенной под углом 45° из оси направляющего шкива, с нижней гранью поясного листа. Приведенная закономерность продемонстрирована на рис. 5 и в табл. 4.

Для зоны местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов выполнена оценка степени влияния конструктивных и технологических факторов. Результаты факторного анализа показаны на рис. 6.

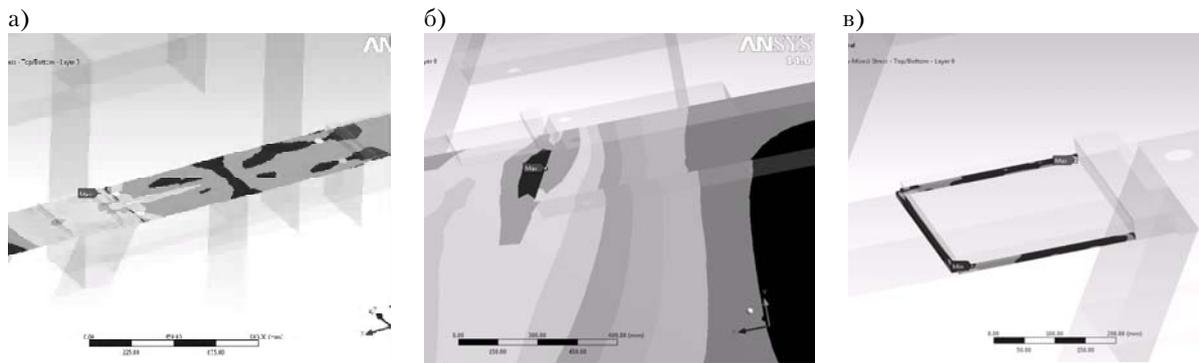
**Таблица 2.** Диапазон изменения факторов, влияющих на напряженное состояние узла шкива

Фактор	Нижний уровень	Верхний уровень
Технологические факторы		
Угол наклона струны каната к горизонту	35°	65°
Величина натяжения подъёмного каната, Н	Рабочее натяжение	Разрывное натяжение
Смещен. подшипника шкива с оси подшивной конструкции, мм	0	10
Конструктивные факторы		
Толщина полки узла опирания шкива, мм	20	30
Толщина стенки узла опирания шкива, мм	12	25

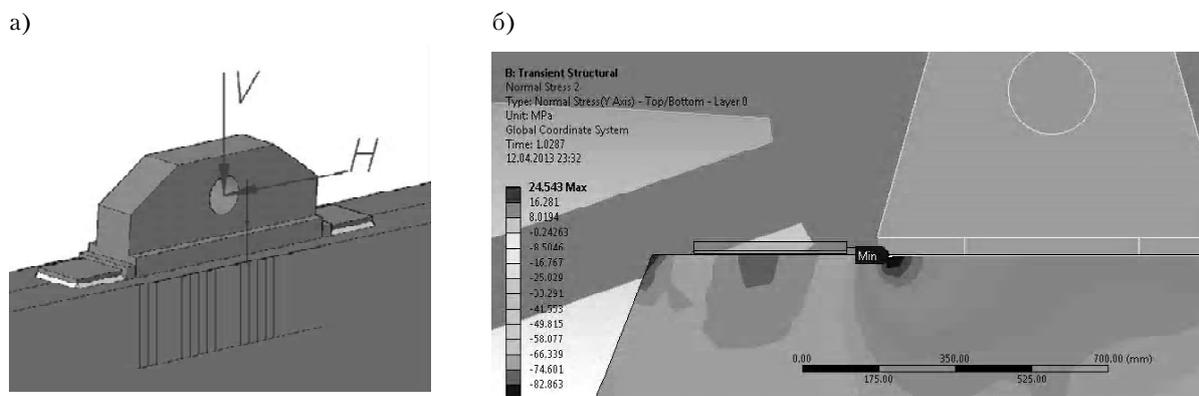
**Таблица 3.** Амплитудные значения местных напряжений в элементах узлов опирания направляющих шкивов

Элемент узла	$\sigma_{мк1}$ , МПа	$\sigma_{мк2}$ , МПа	$\sigma_{прв}$ , МПа	$\sigma_{нрлмк}$ , МПа	$\tau_{мк}$ , МПа	$\frac{\sigma_{мк1}}{\sigma_{мк2}}$	$\frac{\sigma_{нрлмк}}{R_{yc}}$	$\frac{\sigma_{прв}}{1,15R_{yc}}$	$\frac{\tau_{мк}}{0,58R_{yc}}$
Полка	-22,6; -27,2	77,8; 91,39	62,5; 86,4	59,9; 84,3	32,8; 49,1	-0,29; -0,4	0,26; 0,36	0,24; 0,32	0,25; 0,36
Стенка	-50,9; -66,9	0,001; 0,001	58,56; 81,4	-64,6; -87,4	33,8; 44,9	0,001; 0,001	0,28; 0,38	0,21; 0,30	0,25; 0,33
Сварные швы упора подшипника	-29,1; -37,7	4,9; 6,9	158,2; 239,4	101,1; 159,4	70,6; 127,6	-0,13; -0,24	0,43; 0,68	0,59; 0,89	0,52; 0,94

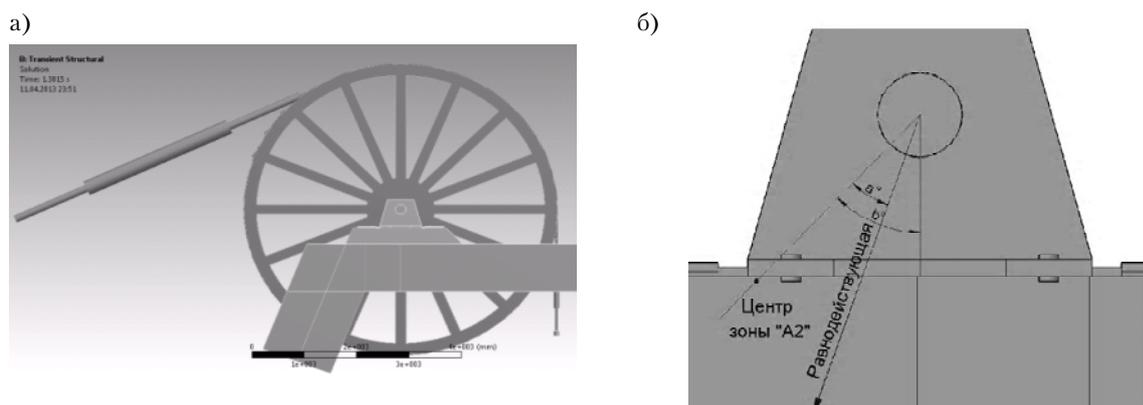
*Примечание:* в ячейках приведены амплитудные значения напряжений в наиболее напряженных точках элементов конструкции.



**Рисунок 3.** Характерные области распределения местных напряжений: а) «А1» – в полке узла опирания подшипника шкива, б) «А2» – в стенке узла опирания подшипника шкива, в) «А3» – в сварных швах переднего упора подшипника.



**Рисунок 4.** Положение точки с максимальными напряжениями в зоне «А2»: а) традиционное расчётное представление о распределении местных напряжений в узле опирания шкива [2, 4, 5, 21]; б) распределения местных напряжений, полученное в результате численного моделирования.



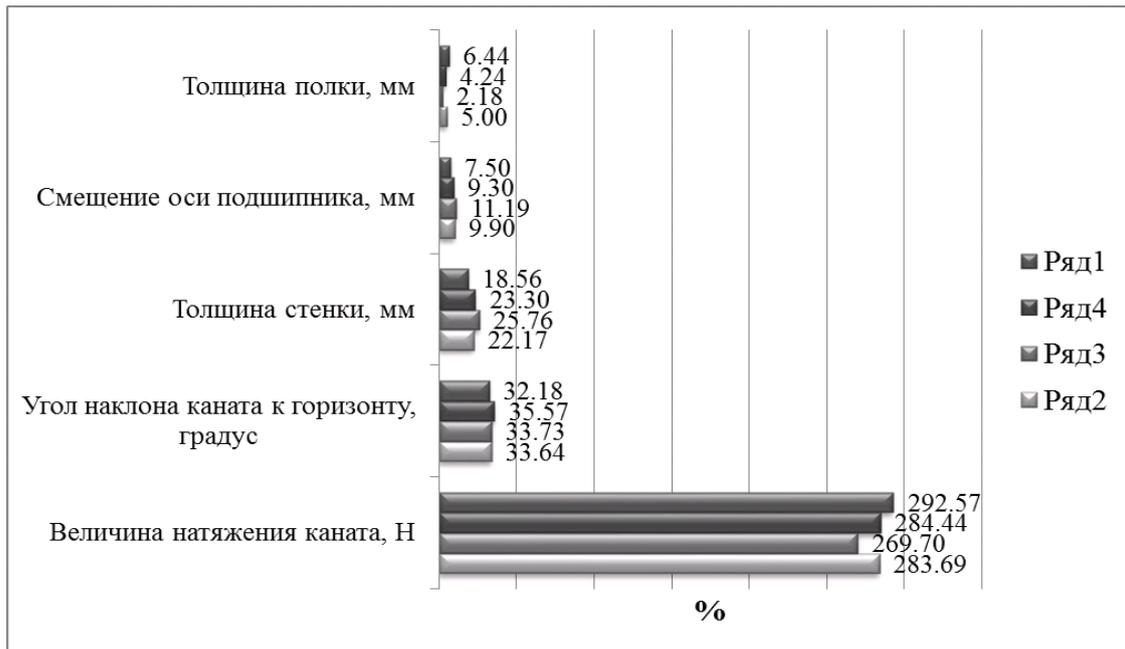
**Рисунок 5.** Закономерность положения наиболее напряженной точки в зоне «А2»: а) общий вид моделирования шкива и наклонного каната; б) положение наиболее напряженной точки в зоне «А2».

В соответствии с результатами факторного анализа на величину максимальных местных напряжений в зоне «А2» (рис. 3б, 4б, 5б) существенно влияют следующие технологические и конструктивные факторы: величина усилия

натяжения подъёмного каната; угол наклона струны подъёмного каната к горизонту; толщина стенки в узле опирания шкива. Все прочие технологические конструктивные факторы: смещение подшипника шкива с оси подшип-

**Таблица 4.** Положение наиболее напряженной точки в зоне «А2» при изменении угла наклона каната к горизонту

Угол наклона струны каната к горизонту $\alpha$ , градусы	$a$ , градусы	$b$ , градусы
35	17,5	44,8
45	22,5	44,9
55	27,5	45,1
65	32,5	45,1



**Рисунок 6.** Гистограмма влияния конструктивных и технологических факторов на величину максимальных местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов: ряд 1 – шатровый скиповой копер; ряд 2 – полусферический скиповой копер; ряд 3 – полусферический клетевой копер; ряд 4 – комбинированный полусферический копер.

ной конструкции; толщина полки в узле опирания шкива – существенно не влияют.

На основе результатов факторного анализа для наиболее напряжённой точки зоны местных напряжений «А2» (рис. 3б, 4б, 5б) составлен план эксперимента регрессионного анализа с размерностью матрицы планирования  $2^{3-2}$ , уровни варьирования факторов приведены в табл. 5.

По результатам факторного эксперимента получена регрессионная зависимость максимальных местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов:

$$\sigma_{loc}^{max}(x_1, x_2, x_3) = 268.5 + 207.3 \frac{x_1 - 2653625}{2041015} + 12.5 \frac{x_2 - 50}{15} - 41.1 \frac{x_3 - 16}{4} + 7.2 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right)^2 +$$

$$+ 6.6 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right)^2 - 14.01 \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right)^2 + 6.6 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) - 27.4 \left( \frac{x_1 - 2653625}{2041015} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) - 16.4 \left( \frac{x_2 - 50}{15} \right) \left( \frac{x_3 - 16}{4} \right) [МПа]$$

где:  $x_1$  – величина равнодействующей от натяжения каната, Н;  
 $x_2$  – угол наклона каната к горизонту, градус;  
 $x_3$  – толщина стенки, мм.

Сравнение результатов регрессионной зависимости  $\sigma_{loc}^{max}(x_1, x_2, x_3)$  с результатами численного моделирования в среде программного комплекса «Ansys Workbench 14.0», а также с данными, полученными в ходе натурального эксперимента, проведенного на двух характерных копрах (комбинированный полусатровый клетьевой копёр – рис. 1в, 2в; полусатровый скиповой копёр – рис. 1б, 2б) представлены на рис. 7.

Сопоставление результатов численного моделирования, экспериментальных данных и регрессионной зависимости показало хорошую сходимость результатов.

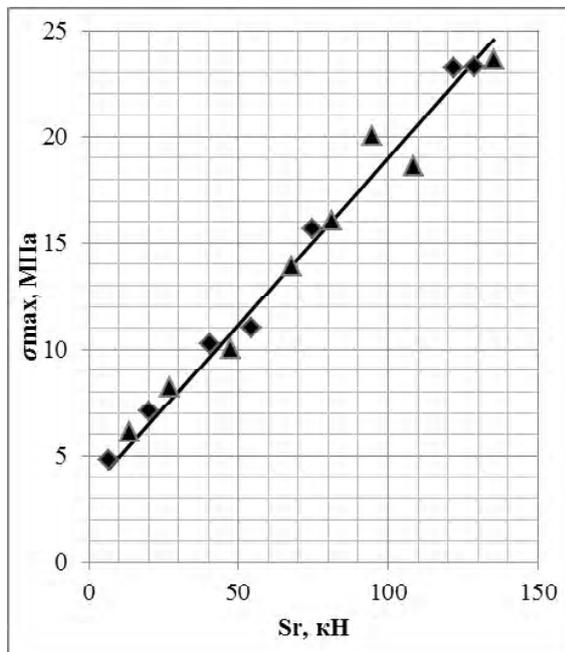
### Выводы

1. В зоне местных напряжений в стенке узла опирания подшипника шкива «А2» напряжённое состояние близко к линейному ( $\sigma_{max1} / \sigma_{max2} = 0,001$ ), площадки главных напряжений ориентированы под углом  $45^\circ$  к горизонтали.
2. Положение наиболее напряженной точки в узлах опирания направляющих шкивов не зависит от угла наклона равнодействующей натяжения подъёмного каната.
3. Наиболее напряжённая точка в узлах опирания направляющих шкивов определяется

Таблица 5. Уровни варьирования факторов эксперимента регрессионного анализа

ФАКТОРЫ	Уровни факторов		
	-1	0	1
x1 – Величина натяжения каната, Н	Рабочее натяжение	Двойное рабочее натяжение	Разрыв каната
x2 – Угол наклона каната к горизонту, градус	35,0	50,0	65,0
x3 – Толщина стенки, мм	12,0	18,5	25,0

а)



б)

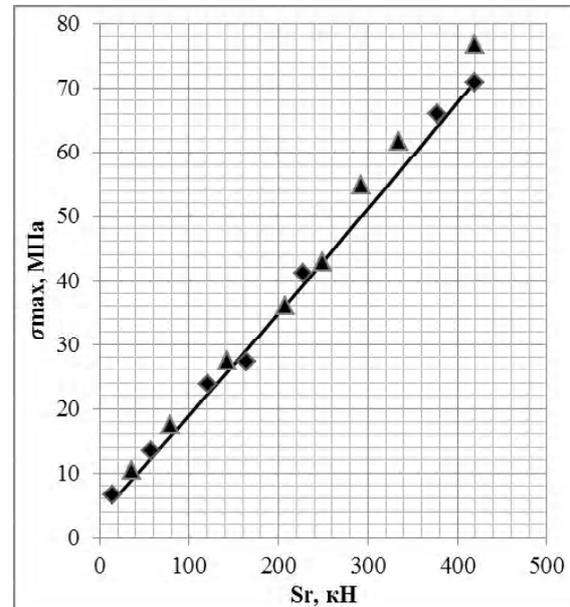


Рисунок 7. Сравнение результатов регрессионной зависимости  $\sigma_{loc}^{max}$  с результатами численного моделирования и данными, полученными в ходе натурального эксперимента: а) комбинированный полусатровый клетьевой копёр; б) полусатровый скиповой копёр; ———— – результаты регрессионной зависимости; ▲ – результаты экспериментальных данных; ■ – результаты мат. моделирования.

следующим образом: а) из центра вала направляющего шкива проводится прямая под углом 45 градусов к вертикали, б) точка максимальных местных напряжений определяется на пересечении указанной прямой с нижней гранью поясного листа подшивной конструкции (рис. 5б).

4. Существенное влияние на величину максимальных местных напряжений в зоне «А2» (рис. 3б, 4б, 5б) оказывают следующие технологические и конструктивные факторы: а) величина усилия натяжения подъёмного каната; б) угол наклона струны подъёмного каната к горизонту; в) толщина стенки в узле опирания шкива. Все прочие технологические

конструктивные факторы: смещение подшипника шкива с оси подшивной конструкции и толщина полки в узле опирания шкива – существенно не влияют.

5. Установлена зависимость максимальных местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов от следующих факторов: а) усилие натяжения подъёмного каната; б) угол наклона струны подъёмного каната к горизонту; в) толщина стенки подшивной конструкции.
6. Сопоставление результатов численного моделирования, экспериментальных данных и регрессионной зависимости показало расхождения в среднем:  $\pm 14\%$ .

## Литература

1. 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.
2. ДБН В.2.6163:2010. 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.
3. ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности [Текст]. – Донецк : ПромстройНИИ проект, 1977. – 89 с.
4. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации [Текст]. – К. : Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
5. 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.
6. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности [Текст]. – Донецк : ПромстройНИИ проект, 1968. – 72 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. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1968. – 155 с.

## References

1. DBN V.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)
2. DBN V.2.6163:2010. 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)
3. VSN 46-75. Manuals to determine loads on buildings and structures of mine industry. Donetsk: Promstroiniiproekt, 1977. 89 p. (in Russian)
4. RD 12.005-94. Metal structures of mine head frames. Operation requirements. Kyiv: Gosugleprom of Ukraine, 1994. 68 p. (in Russian)
5. 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)
6. Manuals to determine loads on buildings and structures of mine industry. Donetsk: Promstroiniiproekt, 1968. 72 p. (in Russian)
7. Determination of normative loads and overloading coefficients for pithead buildings and structures of mine industry. Kyiv: Budivelynyk, 1964. 81 p. (in Russian)
8. Adler, Yu. P. Introduction to design of experiments. Moscow: Metallurgy, 1968. 155 p. (in Russian)
9. Brovman, Ya. V. Headframes. Moscow: Gosgortehizdat, 1961. 239 p. (in Russian)
10. Gorokhov, Ye. V.; Kushchenko, V. N.; Kulichenko, P. E. Analysis of causes of accident conditions on constructions of mining surface. In: compendium *Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture*, Makiivka, 2000, Issue 2000-1(21): Buildings and constructions, p. 3–11. (in Russian)

9. Бровман, Я. В. Надшахтные копры [Текст] / Я. В. Бровман. – М. : Госгортехиздат, 1961. – 239 с.
10. Горохов, Е. В. Анализ причин возникновения аварий на сооружениях шахтной поверхности [Текст] / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко, П. Е. Куличенко // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти України, ДонДАБА. – Макіївка, 2000. – Вип. 2000-1(21) : Будівлі та споруди. – С. 3–11.
11. Инженерный анализ в Ansys Workbench [Текст] : Учеб. пособ. / В. А. Буряка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова [и др.]. – Самара : Самар. Гос. Техн. Ун-т, 2010. – 271 с.
12. Кущенко, В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров [Текст] : Монография / В. Н. Кущенко. – Макеевка : ДонНАСА, 2006. – 203 с.
13. Кущенко, В. Н. Анализ усталостной прочности конструкции рамных шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 171–183.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Кущенко, В. Н. Опасные состояния и усиление строительных конструкций укосных шахтных копров [Текст] / В. Н. Кущенко // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 2, № 4. – С. 204–216.
18. Розенблит, Г. Л. Стальные конструкции зданий и сооружений угольной промышленности [Текст] / Г. Л. Розенблит. – М. : Углетехиздат, 1953. – 272 с.
19. Analysis of the mode of deformation of the sub-pulley structures on shaft sloping headgear structures [Текст] / А. Ye. Nechytailo, Ye. V. Horokhov, V. N. Kushchenko, J. Hildebrand // 19th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering Weimar, Germany / K. Gurlebeck, T. Lahmer and F. Werner (Editors). – Weimar, 2012. – 19. – P. 1–16. – ISSN 1611-4086.
11. Buriaka, V. A.; Fokin, V. G.; Soldusova, E. A.; Glazunova, N. A.; Adeianov, I. E. Engineering review in Ansys Workbench: Tutorial. Samara: SSTU, 2010. 271 p.
12. Kushchenko, V. N. Organizations of safety of building constructions of cut-sample mine headframe. Monograph. Makiivka: DonNASEA, 2006. 203 p. (in Russian)
13. Kushchenko, Volodymyr; Nechitailo, Alexander. Analysis of the resistance to fatigue of shaft frame-type sloping headgear structures. In: *Metal Constructions*, 2011, Volume 17, Number 3, p. 171–183. (in Russian)
14. 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)
15. 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)
16. Kushchenko, V. N.; Kostrickiy, A. S. Experimental research of dynamic behavior of mine headframes 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)
17. Kushchenko, V. M. Dangerous states and reinforcement of building structures of sloping headframes. In: *Modern industrial and civil construction*, 2006, Volume 2, Number 4, p. 204–216. (in Russian)
18. Rozenblit, G. L. Стальные конструкции зданий и сооружений угольной промышленности. Moscow: Ugletekhizdat, 1953. 272 p. (in Russian)
19. Nechytailo, A. Ye, Horokhov, Ye. V., Kushchenko, V. N., Hildebrand, J. Analysis of the mode of deformation of the sub-pulley structures on shaft sloping headgear structures. In: *19th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering*, Weimar, 04–06 July 2012 / K. Gurlebeck, T. Lahmer and F. Werner (Editors), Weimar, 2012, 19, p. 1–16. ISSN 1611-4086.
20. DIN 4118:1981-06. Fördergerüste und Fördertürme für den Bergbau; Lastannahmen, Berechnungs- und Konstruktionsgrundlagen. Ersetzt DIN 41187:1971-07; Ausgabedatum 06/01/1981. Bochum: Deutsches Institut Fur Normung E. V., 1981. 4 s.
21. 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.
22. 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.

20. DIN 4118:1981-06. Fördergerüste und Fördertürme für den Bergbau; Lastannahmen, Berechnungs- und Konstruktionsgrundlagen [Текст]. – Ersetzt DIN 41187:1971-07 ; Ausgabedatum 06/01/1981. – Bochum : Deutsches Institut Fur Normung E.V., 1981. – 4 s.
21. 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.
22. 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.

**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.

**Volodymyr Kushchenko** – DSc (Eng.), Professor of 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.

**Alexander Nechitailo** – 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.