

УДК 624.059.3:624.96

*В.Н. Кущенко, д.т.н.*

*НТУ "Львовская политехника";*

*А.Е. Нечитайло, к.т.н., ГВУЗ "Национальный горный университет", г. Львов*

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ОПИРАНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ ШКИВОВ

### АННОТАЦИЯ

Проверочные расчёты укосных рамных шахтных копров с высотой подъёма 800 м и более, показывают недостаточную несущую способность узлов опирания направляющих шкивов, обусловленную концентрацией напряжений под подошвой опорных подшипников. На основании теоретических и экспериментальных исследований предложены рациональные конструктивные формы узлов опирания направляющих шкивов, устраняющие явление концентрации напряжения, что позволяет обеспечить несущую способность подшипников конструкций, как при новом проектировании, так и при усилении существующих сооружений.

Ключевые слова: шахтный рамный укосный копёр, подшипниковые конструкции, узел опирания направляющего шкива, напряжённое состояние; местные напряжения, анализ прочности.

**Актуальность работы.** В настоящее время на угледобывающих предприятиях Украины эксплуатируется около 356 металлических укосных шахтных копров [1], для которых в настоящее время наблюдается тенденция увеличения нагрузок от натяжения подъёмных канатов, что обусловлено необходимостью добычи угля с глубин более 1500 м.

Проверочные расчёты уже возведенных сооружений в ряде случаев показали недостаточную прочность узлов опирания направляющих шкивов при воздействии местных напряжений. Анализ конструктивных решений узлов опирания направляющих шкивов показал их нерациональность, которая проявляется в значительной концентрации напряжений и необходимости применения для стенок подшипников конструкций стальных листов толщиной более 20 мм, что является причиной увеличения металлоёмкости подшипников конструкций [1, 3-5].

В предыдущих исследованиях авторов [3-6] выполнялся анализ напряжённо-деформированного состояния рамных укосных копров на пространственных расчётных схемах аппроксимированных пластинчатыми и объёмными конечными элементами. В результате были установлены закономерности распределения местных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов [3, 5, 6]. Адекватность результатов теоретических исследований подтверждена экспериментами на реальных объектах [2]. Однако в настоящее время в литературных источниках отсутствуют рекомендации по рациональному проектированию подшипников конструкций рамных укосных копров.

Объектом исследования являются подшипниковые конструкции рамных укосных копров.

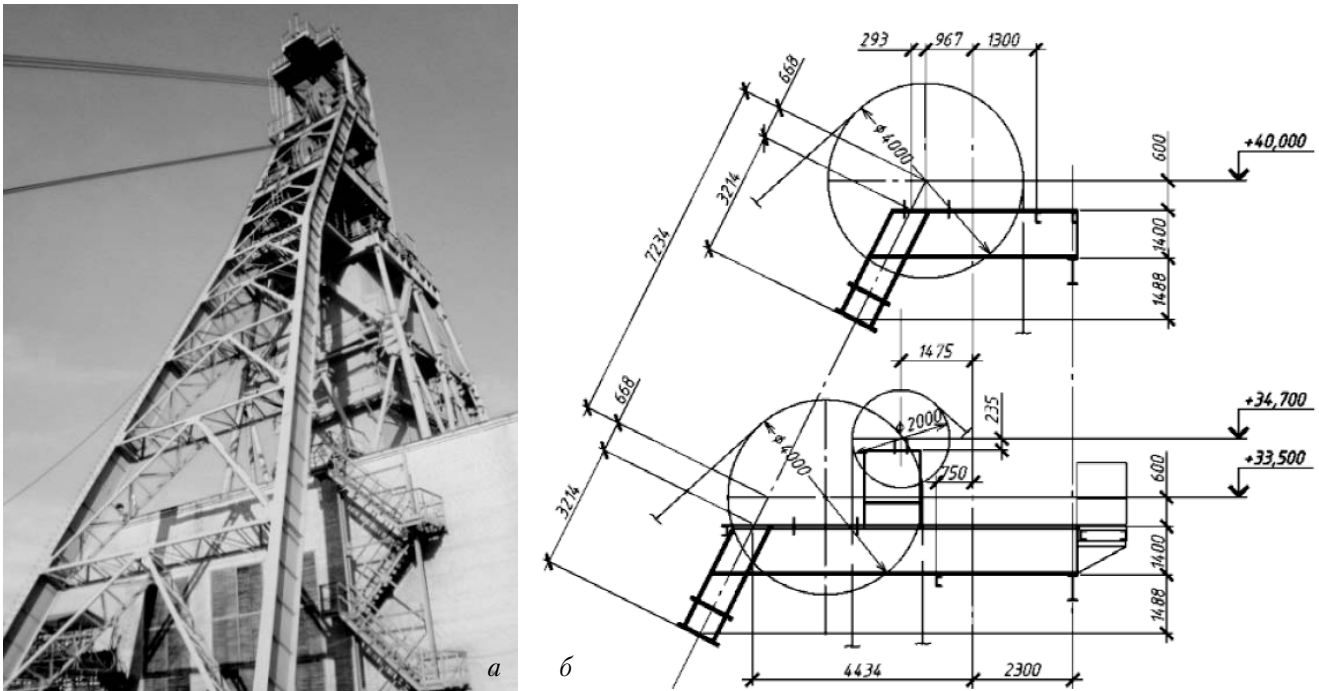
Подшипниковые конструкции служат для опирания направляющих шкивов [1]. В результате анализа применяемых конструктивных решений выявлены следующие разновидности узлов опирания направляющих шкивов: а) опирание на верхнюю полку подшипниковой рамы (рис. 1а); опирание на дополнительный элемент в виде тавра, который приваривается к верхней полке подшипниковой рамы (рис. 1б).

Целью работы является установление принципов рационального проектирования узлов опирания направляющих шкивов.

Задачей исследования является анализ влияния различных конструктивных форм подшипниковых конструкций на концентрацию напряжения в узлах опирания направляющих шкивов.

**Методика исследований.** Основой для разработки рациональной конструктивной формы узлов является установленный в [3, 5-6] вид напряжённо-деформированного состояния характерных узлов. Напряжённо-деформированное состояние узлов опирания определялось путём численного моделирования в среде программного комплекса ANSYS в соответствии с методикой, описанной в работе авторов [4]. В результате численных и физических экспериментов установлены следующие закономерности (рис. 2): а) локальный максимум приведенных напряжений находится на пересечении луча проведённого из оси вала направляющего шкива под углом  $45^\circ$  с нижней гранью полки; б) локальный максимум нормальных напряжений находится на расстоянии  $2/5b$  от оси вала.

Для уменьшения концентрации напряжений в стенках узлов опирания предлагается установка

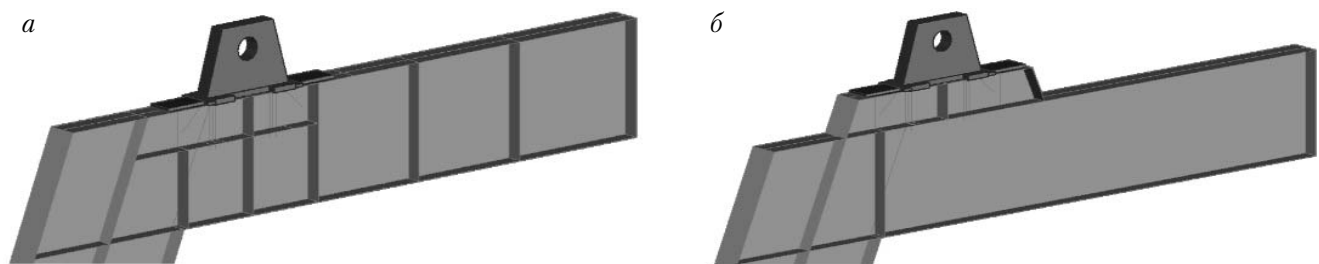


**Рис.1.** Объект исследования: а) укосный шахтный копёр комбинированной системы с рамными подшивными конструкциями; б) подшивные конструкции шахтного копра

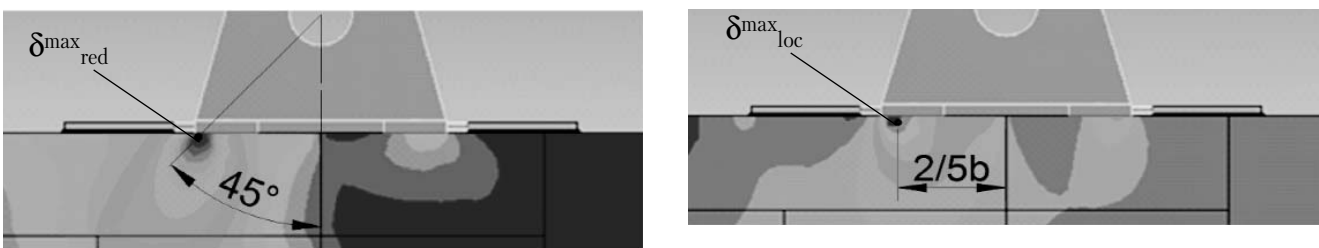
двухсторонних вертикальных и наклонных рёбер жёсткости пересекающихся точки максимальных напряжений. Наклонные рёбра устанавливаются под углом  $45^\circ$  так, что бы ребро проходило через точку локального максимума приведенных напряжений. Вертикальные рёбра устанавливаются на расстоянии  $2/5b$  от оси вала шкива. Ширина рёбер ( $br$ ) принимается равной половине полки, а толщина принимается равно толщине стенки. Указанные рёбра жёсткости одновременно обеспечивают,

как местную прочность и устойчивость стенки узла опирания, так и снижение концентрации напряжений в стенке узла опирания направляющего шкива. В случае опирания подшипника на полку (рис. 1а, 3а) необходимо добавить горизонтальное ребро толщиной, равной толщине стенки на расстоянии  $0,3 h_{ef}$  от нижней грани верхней полки.

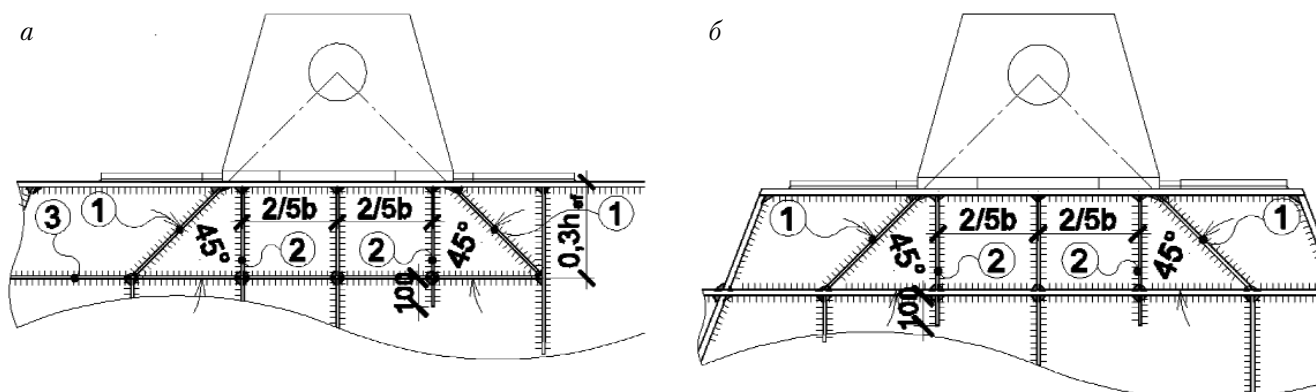
Конструктивные схемы расположения рёбер жёсткости для двух видов узлов опирания приведены на рис. 3.



**Рис. 1.** Виды узлов опирания направляющих шкивов: а — опирание на верхнюю полку подшивной рамы; б — опирание на дополнительный элемент в виде тавра



**Рис. 2.** Положения точек локальных максимумов:  $\delta_{loc}^{max}$  — точка локального максимума нормальных напряжений;  $\delta_{red}^{max}$  — точка локального максимума приведенных напряжений.



**Рис. 3.** Конструктивные схемы расположения рёбер жёсткости для двух видов узлов: а) на верхнюю полку подшипной 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

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

Эффективность конструктивных решений подтверждается сопоставлением коэффициентов концентрации напряжений в узлах опирания направляющих шкивов реальных объектов (см. табл. 1).

**Таблица 1.** Сопоставление коэффициентов концентрации местных напряжений

Исходная конструктивная форма узла	Предлагаемая конструктивная форма узла
Опираение на дополнительный элемент в виде тавра	
<div> <math>\sigma_{red}^{max} = 350 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 175.4 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.99</math> </div>	<div> <math>\sigma_{red}^{max} = 190 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 175.5 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.08</math> </div>
<div> <math>\sigma_{loc}^{max} = 302 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 175.4 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.72</math> </div>	<div> <math>\sigma_{loc}^{max} = 130 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 175.4 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 0.74</math> </div>
Опираение на верхнюю полку подшипной конструкции	
<div> <math>\sigma_{red}^{max} = 330 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 202.8 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.63</math> </div>	<div> <math>\sigma_{red}^{max} = 220 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 202.8 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.08</math> </div>
<div> <math>\sigma_{loc}^{max} = 320 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 202.8 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.58</math> </div>	<div> <math>\sigma_{loc}^{max} = 210 \text{ МПа};</math>  <math>\sigma_{loc} = 202.8 \text{ МПа};</math>  <math>k_n = 1.04</math> </div>

## ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах выполненных исследований сформулированы следующие принципы рационального проектирования узлов опирания направляющих шкивов:

1) при опирании подшипника шкива на верхнюю полку подшипной конструкции, необходимо устанавливать двухсторонние горизонтальные рёбра жёсткости (поз. 3 рис. 3) на расстоянии  $0,3h_{ef}$  от нижней грани верхней полки;

2) при опирании подшипника шкива на дополнительный элемент в виде тавра высоты этого элемента (тавра) необходимо принимать  $0,3h_{ef}$ , но не более 300мм, от верхней грани полки;

3) двусторонние наклонные рёбра жёсткости (поз. 1 рис. 3) следует устанавливать симметрично относительно оси вала шкива, таким образом, что бы рёбра располагались вдоль луча, проведённого из центра вала под углом  $45^\circ$ ;

4) вертикальные двухсторонние рёбра (поз. 2 рис. 3) необходимо устанавливать симметрично, на расстоянии  $2/5b$  от оси вала шкива;

5) ширину вертикальных и наклонных рёбер ( $b_r$ ) рекомендуется принимать равной половине полки, а толщину — равной толщине стенки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров [Текст]: Монография / В. Н. Кущенко; Донбасская нац. акад. стр. и арх. — Макеевка: ДонНАСА, 2006. — 202 с.: ил., табл.

2. Kuschenko, Volodymyr. Experimental research of the mode of deformation of sub-pulley structures of shaft frame-type sloping headgear [Текст] / Volodymyr Kuschenko, Alexander Nechitaylo // Металеві конструкції. — 2013. — Т. 19, № 3. — С. 143-154.

3. Кущенко В.М. Анализ прочности узлов опирания направляющих шкивов рамных укосных шахтных копров [Текст] / В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло // Металеві конструкції. — 2014. — Т. 20, № 1. — С. 15-27.

4. Кущенко, В.М. Анализ усталостной прочности узлов опирания многоканатных шкивов трения рамного шахтного копра [Текст] / Кущенко В.Н., Нечитайло А.Е. // Сборник докладов по материалам XIII Международной конференций "Материалы. Методы. Технологии", 18-22 февраля 2013 г. / редкол. Главацкая и др. — п. Плавья: УИЦ, 2013. — С. 103-105.

5. Кущенко, В.М. Аналіз напружено-деформованого стану вузлів опирання направляючих шківів на підшківні конструкції шахтного укiсного копра: [Текст] / Кущенко В.М., Нечитайло О.Є. // Металеві конструкції. — 2012. — Т. 18, № 2. — С. 97-109.

6. Кущенко, В.М. Аналіз напружено-деформованого стану основних несучих елементів рамних укiсних шахтних копрів [Текст] / В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло // Металеві конструкції. — 2011. — Т. 17, № 3. — С. 151-165.

АНОТАЦІЯ

Перевірочні розрахунки укiсних рамних шахтних копрів з висотою підйому 800 м і більше, показують недостатню несучу здатність вузлів обпирання напрямних шківів, обумовлену концентрацією напружень під підшківною опорних підшипників. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновані раціональні конструктивні форми вузлів опирання напрямних шківів, що усувають явище концентрації напружень, яке дозволяє забезпечити несучу здатність підшківних конструкцій, як при новому проектуванні, так і при посиленні існуючих споруд.

## АНОТАЦІЯ

Ключові слова: шахтний рамний укiсний копер, підшківні конструкції, вузол опирання напрямного шківів, напружений стан, місцеві напруження, аналіз міцності.

ANNOTATION

Verification calculations of frame sloping shaft headgear, with a lifting height of more than 800m, do not show sufficient bearing capacity of guide pulley resting units. Concentration of stresses under the base thrust bearings is the reason. The rational design forms proposed on the basis of theoretical and experimental research. These forms eliminate the concentration of stresses. The proposed constructive forms provide a load bearing capacity with new design and with strengthen the existing structures.

## ANNOTATION

Key words: frame sloping shaft headgear, sub-pulley structures, guide pulley resting unit, strength analysis, stressed state, local stresses.

45