



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 3, 151–165

УДК 624.96

(11)-0241-1

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВНИХ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РАМНИХ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: snpcsh@mail.ru

Отримана 24 травня 2011; прийнята 24 червня 2011.

Анотація. Виконано чисельний аналіз напружено-деформованого стану основних несучих елементів характерного рамного укісного шахтного копра. Аналіз проводився за двома кінцевоелементними розрахунковими моделями, реалізованими у програмних комплексах SCAD та LIRA у вигляді стрижневої і пластинчастої апроксимації елементів. Для стрижневої розрахункової моделі виконано пружно-пластичний аналіз. У результаті розрахунків отримані: параметри напружено-деформованого стану, спектри власних частот коливань, коефіцієнти запасу стійкості системи як єдиної пружної системи. В результаті зіставлення отриманих результатів встановлено ряд конструктивних елементів копра, для яких розрахунок за розрахунковою схемою у вигляді стрижневої апроксимації дає значну похибку. Представлені рекомендації з розрахунку рамних укісних копрів з використанням розрахункових моделей, що складаються зі стрижнів і пластин.

Ключові слова: шахтний рамний укісний копер, розрахункова схема, комп'ютерне моделювання, пружно-пластичний аналіз, напружено-деформований стан, коефіцієнти використання за напруженням, коефіцієнти запасу стійкості споруди, спектр власних частот.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАМНЫХ УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: snpcsh@mail.ru

Получена 24 мая 2011; принята 24 июня 2011.

Аннотация. Выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния основных несущих элементов характерного рамного укосного шахтного копра. Анализ производился по двум конечноэлементным расчетным моделям, реализованным в программных комплексах SCAD и LIRA в виде стержневой и пластинчатой аппроксимации элементов. Для стержневой расчетной модели выполнен упруго-пластический анализ. В результате расчётов получены: параметры напряжённо-деформированного состояния, спектры собственных частот колебаний, коэффициенты запаса устойчивости системы как единой упругой системы. В результате сопоставления полученных результатов установлен ряд конструктивных элементов копра, для которых расчёт по расчётной схеме в виде стержневой аппроксимации даёт значительную погрешность. Представлены рекомендации по расчёту рамных укосных копров с использованием расчётных моделей, состоящих из стержней и пластин.

Ключевые слова: шахтний рамний укосний копір, расчётная схема, компьютерное моделирование, упругопластический анализ, напряжённо-деформированное состояние, коэффициенты использования по напряжениям, коэффициенты запаса устойчивости сооружения, спектр собственных частот.

THE ANALYSIS OF THE INTENSE-DEFORMED CONDITION OF THE BASIC BEARING ELEMENTS OF FRAME MOWING MINE HEADGEARS

Kushchenko Volodymyr, Nechitailo Alexander

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

Received 24 May 2011; accepted 24 June 2011.

Abstract. The numerical analysis of the intense-deformed condition of the basic bearing elements of a typical frame mowing mine headgear is made. The analysis has been made of two finite element for the design models realized in program complexes SCAD and LIRA in the form of rod and lamellar approximation of elements. For rod settlement model the elastic-plastic analysis is made. As a result of calculations parameters of the intense-deformed condition, spectra of own frequencies of fluctuations, factors of a stock of system stability, as elastic system are received. As a result of comparison of the received results a number of constructive elements of the headgear for which calculation under the settlement scheme in the form of rod approximation gives a considerable error is established. Recommendations for the design of frame mowing headgears with use of the settlement models consisting of cores and plates are presented.

Keywords: mine frame mowing headgear; the settlement scheme; computer modeling; elastic plastic analysis; intense-deformed condition; operating ratios on pressure; factors of a stock of stability of a construction; a spectrum of own frequencies.

Введение

Укосные шахтные копры являются наиболее ответственными сооружениями шахтной поверхности. Проектирование шахтных копров регламентировано строительными нормами и правилами [1, 2], отраслевыми и руководящими документами [3, 4, 5, 6, 7]. В настоящее время при проектировании рамных укосных копров с коробчатыми сечениями применяются упрощенные расчетные модели, состоящие из стержневых конечных элементов. Расчет копров ведется на действие статических эквивалентов нагрузок от натяжения подъемных канатов [3]. Однако не все элементы укосных рамных копров можно представить в виде стержней, например, подшкивные конструкции (рис. 1а, 1б, 1в), т. к. для этих элементов отношение высоты сечения к длине составляет диапазон $1/2...1/5$.

Вследствие этого параметры плоского напряженно-деформированного состояния несущих конструкций шахтных копров рассчитываются недостаточно точно, например, в узлах опирания направляющих шкивов на подшкив-

ные конструкции, а также в местах резкого изменения сечений конструктивных элементов. Таким образом, анализ плоского напряженно-деформированного состояния металлических конструкций копров, выполненных из элементов коробчатого сечения, является актуальной научной задачей.

Объектом исследования являются укосные рамные шахтные копры.

Укосные рамные шахтные копры являются частью сооружений шахтной подъемной установки и состоят из следующих конструктивных частей (рис. 2): 1 – подшкивные конструкции; 2 – укосина; 3 – вертикальные опоры; 4 – станок; 5 – подкопровая рама; 6 – фундаменты укосины и вертикальной опоры.

По характеру связи между указанными конструктивными частями различают следующие конструктивные системы рамных укосных шахтных копров (рис. 3):

- полушатровые (подшкивные конструкции опираются на пространственную конструкцию, состоящую из вертикальной опоры и укосины, которые в совокупности образуют

пространственную стержневую систему, воспринимающую нагрузки от натяжения подъемных канатов, при этом станок в восприятии нагрузок от подъемных канатов не участвует (рис. 3а);

– шатровые (подшивные конструкции опираются на шатёр, который состоит из двух укосин, образующих пространственную раму, воспринимающую нагрузки от натяжения подъемных канатов, при этом станок в восприятии нагрузок от подъемных канатов не участвует (рис. 3б);

– комбинированные (подшивные конструкции опираются на станок или надшахтное здание (рис. 3в).

Наиболее ответственные узлы и элементы конструкций рамных шахтных копров схематично показаны на рис. 4.

Целью работы является сопоставление результатов анализа напряженно-деформированного состояния конструкций характерного рамного укосного полушатрового копра по двум расчетным моделям: стержневой и пластинчатой аппроксимации.

Задачами работы является определение параметров напряженно-деформированного состояния конструкций копра по указанным расчетным моделям.

Методики исследования

Для исследования был выбран характерный скиповой полушатровый рамный укосный копер высотой 39,3 м (рис. 5).

Для решения поставленной задачи использовался метод компьютерного моделирования с использованием программных комплексов SCAD и LIRA.

Стержневая аппроксимация конструктивной схемы характерного 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 – 68; соединяющих узлов – 37; закрепления ветвей укосины и стоек к основанию – жесткое (рис. 6а).

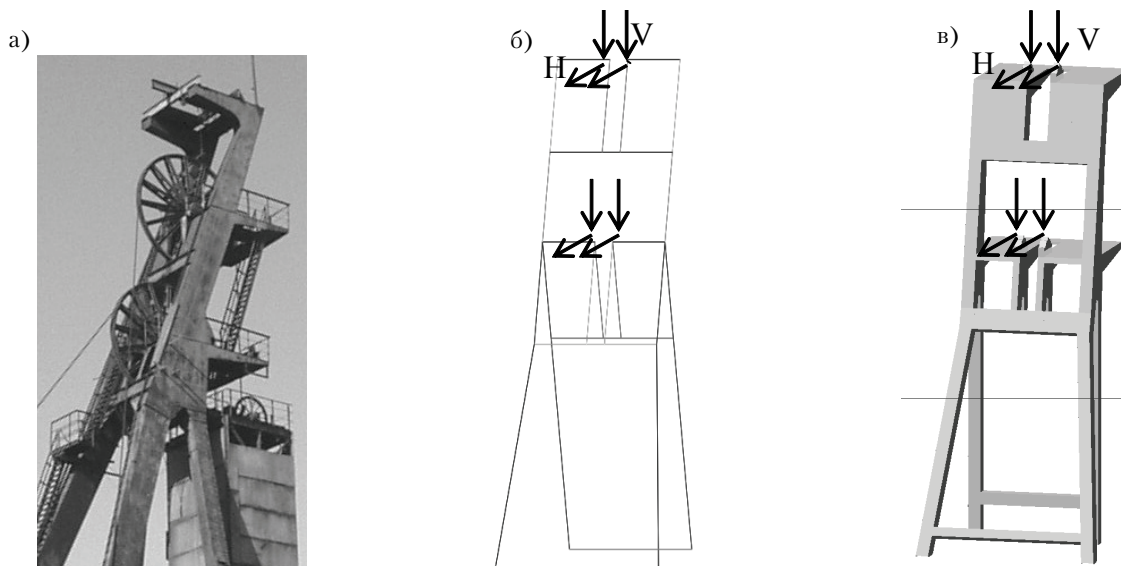


Рисунок 1. Общий вид и принципиальные расчетные схемы подшивных конструкций: а – фрагмент общего вида характерных подшивных конструкции; б – фрагмент расчетной схемы подшивных конструкций из стержней; в – фрагмент расчетной схемы подшивных конструкций из пластинчатых элементов (H, V – соответственно горизонтальные и вертикальные составляющие равнодействующей от натяжения подъемных канатов).

Пластинчатая аппроксимация конструктивной схемы сооружения осуществлена в среде программного комплекса LIRA (рис. 6б, 7). Характеристики расчетной модели: конечные элементы – тип 41 (универсальный прямоугольный КЭ оболочки), 42 (универсальный треугольный КЭ оболочки), 44 (универсальный четырехугольный КЭ оболочки) размером $0,1 \times 0,1$ м (тип схемы 5 – система общего вида); количество конечных элементов – 48 496; крепления укосин и стоек к основанию – жесткое.

Расчет производился на следующие нагрузки: а) нагрузки нормальной эксплуатации (рабочее усилие от натяжения подъемных канатов, вес шкивов, постоянная нагрузка, ветровая нагрузка определялась в соответствии с положениями [2]); б) аварийные нагрузки от внезапно заземления поднимающегося сосуда определялись в соответствии с положениями [9, 12, 13].

Нагрузки от натяжения канатов прикладывались в узлах опирания направляющих шкивов в виде вертикальных и горизонтальных составляющих, равнодействующих от натяжения ветвей подъемного каната (рис. 8). Ветровые нагрузки на копер прикладывались как равномерно распределенные в соответствии с положениями [2].

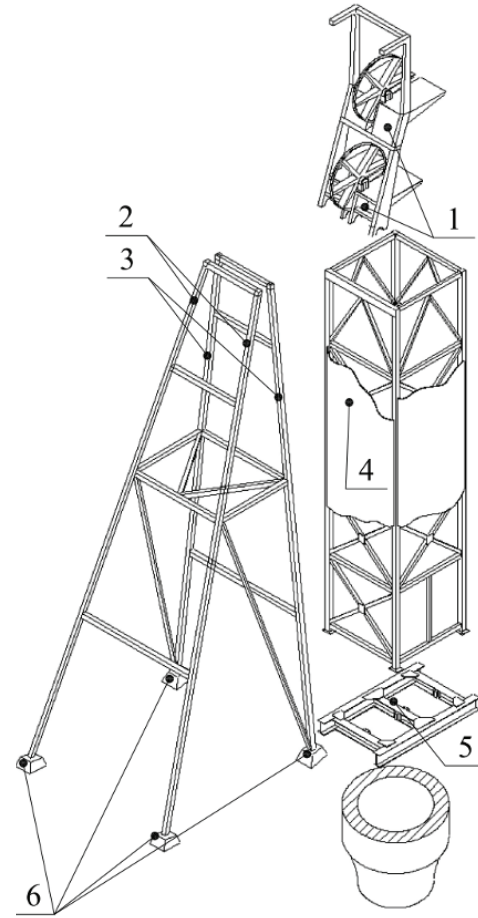


Рисунок 2. Состав конструктивной схемы рамных укосных копров.

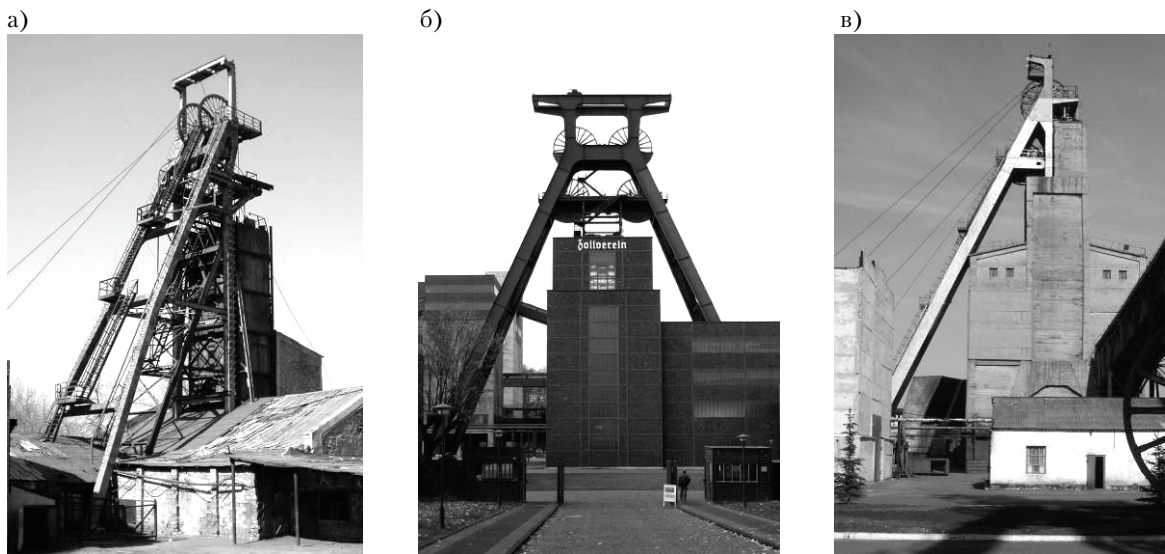


Рисунок 3. Конструктивные системы рамных укосных шахтных копров: а) полушатровая система; б) шатровая система; в) комбинированная система.

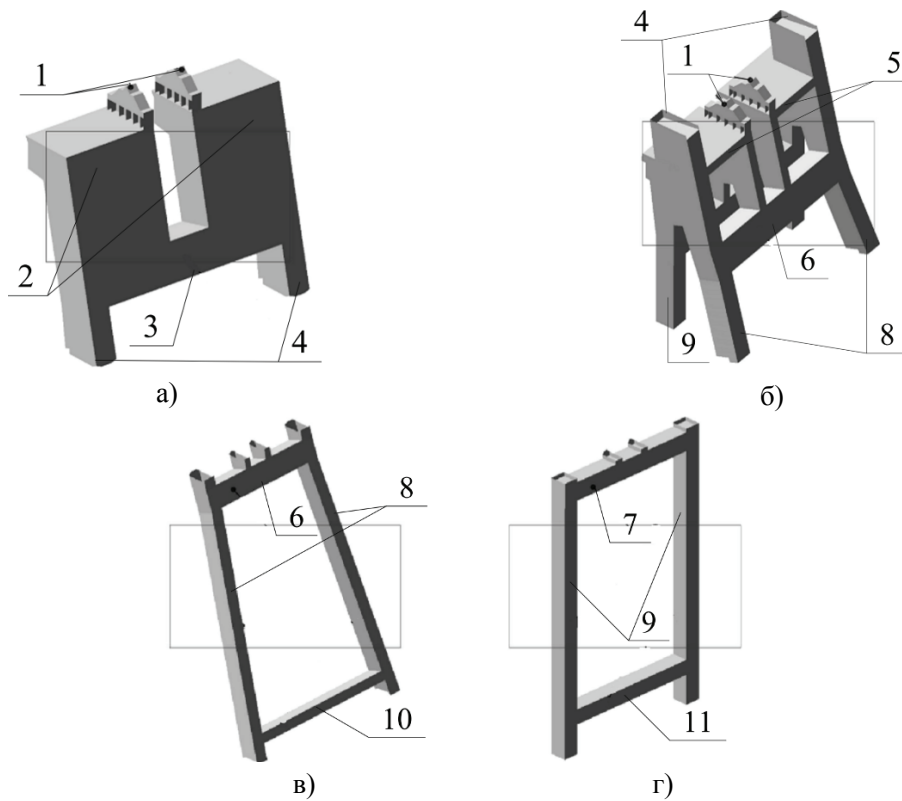


Рисунок 4. Основные узлы и элементы укисного рамного коробчатого копра: а – фрагмент верхней подшивной конструкции; б – фрагмент нижней подшивной конструкции; в – фрагмент верхней части укисины; г – фрагмент верхней части вертикальной опоры (1 – опорные подшипники шкива; 2 – подшивная тумба верхней подшивной площадки; 3 – главный ригель укисины верхней подшивной площадки; 4 – ветви укисины между подшивными площадками; 5 – тумба нижней подшивной площадки; 6 – главный ригель укисины нижней подшивной площадки; 7 – главный ригель вертикальных опор нижней подшивной площадки; 8 – ветви укисины; 9 – стойки вертикальной опоры; 10 – ригель укисины; 11 – ригель вертикальных опор).

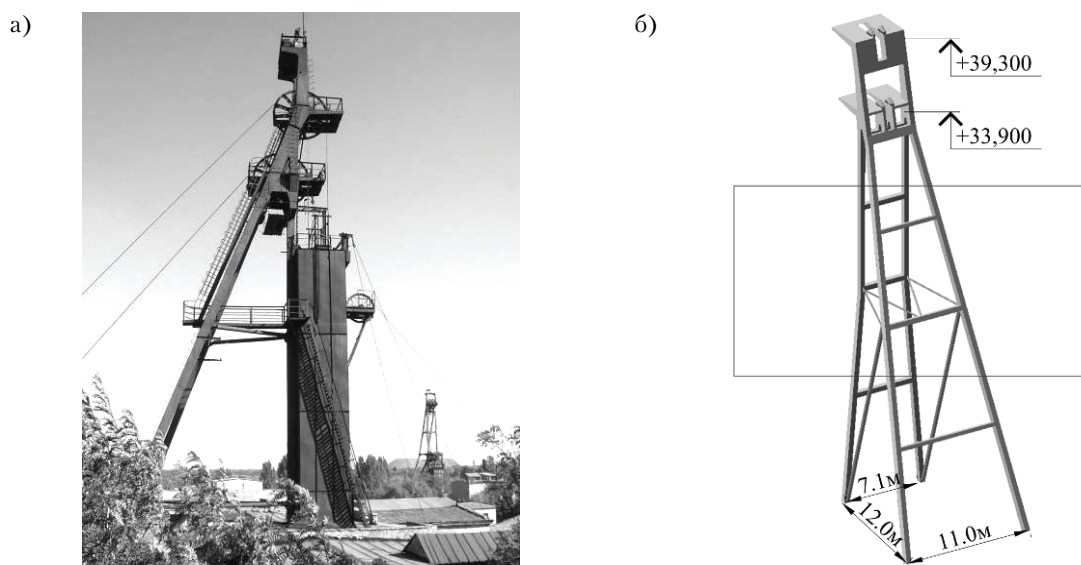


Рисунок 5. Объект исследования – полушатровый скиповый рамный укисный копер: а – общий вид исследуемого копра; б – геометрическая схема копра.

В результате расчета по первой модели получены: внутренние усилия, упругие перемещения от наиболее неблагоприятных комбинаций нагрузений, спектр собственных частот колебаний, коэффициенты запаса устойчивости системы, как единой упругой системы. В результате расчета по второй модели для каждого пластинчатого конечного элемента получены: главные (σ_1 , σ_2) и приведенные напряжения ($\sigma_{\text{прив.}}$), характеристики собственных колебаний и упругие перемещения элементов.

Для стержневой расчетной модели выполнен упруго-пластический анализ в соответствии с положениями [8]. При этом нагрузка увеличивалась этапами по 10 %, и по мере достижения предельного состояния отдельными элементами конструкции расчетная схема изменялась следующим образом: а) растянутые элементы удалялись, а их действие заменялось постоянно действующей силой, соответствующей переходу материала стержня в идеальное пластическое состояние; б) в изгибаемых элементах вводились идеальные шарниры для се-

чений, в которых возникали условия образования шарниров пластичности; в) сжатые и сжато-изогнутые элементы удалялись из расчетной схемы в момент потери общей устойчивости элемента.

Анализ публикаций по теме исследования

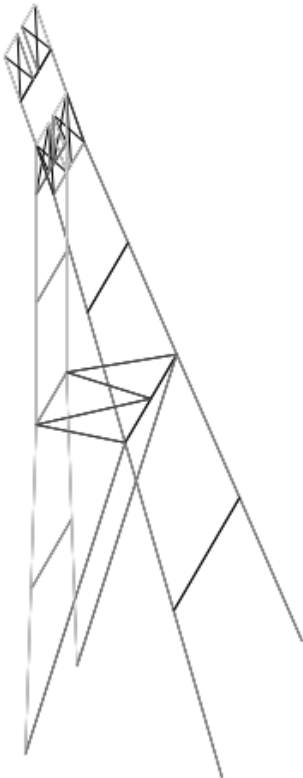
В настоящее время исследования в области совершенствования методов расчета и проектирования шахтных укосных копров осуществляются по трем основным направлениям.

1. Исследование процессов физического износа [3, 4, 5, 6, 7].

2. Исследование напряженно-деформированного состояния копров. В этом направлении проводились как теоретические [9, 10, 11], так и экспериментальные исследования [12, 13].

3. Учет динамического характера нагрузок. Работы этого направления посвящены исследованию нагрузок нормальной эксплуатации, а также аварийных нагрузок [14, 15, 16].

а)



б)

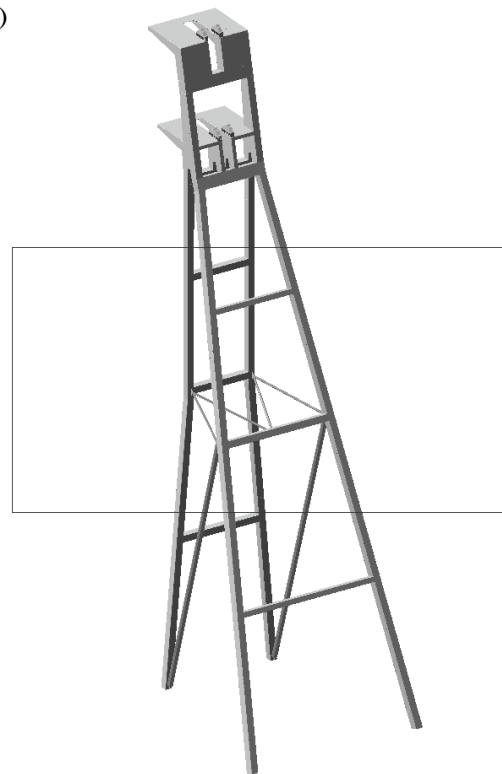


Рисунок 6. Конечно-элементные модели объекта исследования: а – модель из стержней в программном комплексе SCAD; б – модель из пластин в программном комплексе LIRA.

Аналіз літературних джерел по темі дослідження показав, що в наші часи відсутні роботи, присвячені аналізу плоского напружено-деформованого стану конструкцій коробчатих рамних укосних шахтних копрів.

Основная часть

В результате численных исследований напряженно-деформованного состояния на модели объекта в виде стержневой аппроксимации определены: внутренние усилия N, M_y, M_z, Q_y, Q_z ; максимальные значения нормальных, касательных и приведенных напряжений, а также коэффициенты использования для опасных сечений в стержневых элементах основных несущих конструкций: $\sigma_1, \sigma_{прив}, \tau, K_u$ (табл. 1). Зависимость коэффициента запаса устойчивости сооружения, как единой упругой системы от величины обобщенной аварийной нагрузки приведена на рис. 9. Спектр собственных частот сооружения приведен на рис. 10.

Наибольшие значения коэффициента использования выявлены для следующих элементов: главный ригель укосины верхней подшивной площадки – 0,88; главный ригель укосины нижней подшивной площадки – 0,43; для прочих элементов коэффициент использования по несущей способности составляет диапазон от

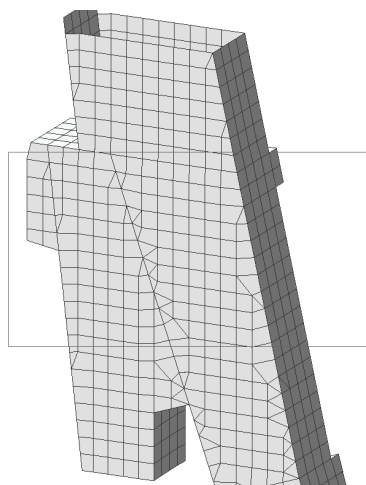


Рисунок 7. Фрагмент расчетной схемы аппроксимированной пластинами – КЭ типа 41, 42, 44.

0,06 до 0,41. Приведенные факты свидетельствуют о неравнопрочности различных частей сооружения. В связи с этим был выполнен упруго-пластический анализ с целью оценки верхней границы несущей способности сооружения. Упруго-пластический анализ, показал следующую последовательность механизма разрушения конструктивной схемы: а) при увеличении проектной аварийной нагрузки на 20 % происходит образование шарнира пластичности в главном ригеле верхней подшивной площадки; б) после образования шарнира пластичности в главном ригеле, при таком же значении нагрузки, образуются шарниры пластичности в элементах укосин между подшивными конструкциями, что соответствует началу лавинообразного разрушения сооружения (рис. 9). Наименьший коэффициент запаса устойчивости сооружения как единой упругой системы составляет 5,57 при аварийной нагрузке на верхнем шкиве.

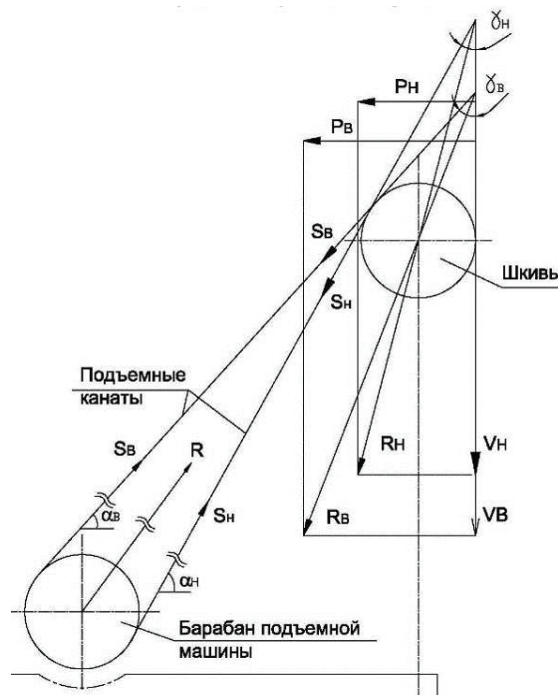


Рисунок 8. Схема передачи нагрузки от натяжения подъемных канатов где: $S_v(n)$ – натяжение в ветвях канатов; $R_v(n)$ – равнодействующие от натяжения подъемного каната; $V_v(n)$ – вертикальные составляющие равнодействующих; $R_h(n)$ – горизонтальные составляющие равнодействующих.

В результате расчёта на второй модели (аппроксимированной пластинчатыми конечными элементами) были получены распределения главных (σ_1 , σ_2), касательных (τ) и приведенных напряжений ($\sigma_{\text{прив}}$). На основании анализа напряженно-деформированного состояния произведено зонирование конструкций копра по характеру и интенсивности напряженно-деформированного состояния (рис. 11 и табл. 2).

Из табл. 2 видно, что максимальные значения σ_1 возникают в узлах опирания направляющих шкивов, а наибольшие σ_2 выявлены в ветвях укосины в местах сопряжения с подшкивными конструкциями. Для выделенных зон в областях максимальных напряжений были вычислены отношения σ_1/σ_2 , $\sigma_{\text{прив}}/1,15R_y\gamma_c$, а так же $\tau_{\text{max}}/0,58R_y\gamma_c$, которые приведены в табл. 3.

Сопоставление параметров плоского напряженно-деформированного состояния, получен-

ных в результате расчёта по двум расчётным моделям приведены в табл. 4.

Сопоставление трех первых собственных частот колебаний полусферического копра по двум расчётным моделям представлено в табл. 5.

Выводы

1. Согласно результатам упруго-пластического анализа стержневой расчётной модели разрушение конструктивной системы копра, происходит при увеличении аварийной нагрузки на 20 %. Этот результат противоречит данными расчёта по расчётной схеме, состоящей из пластин (коэффициент использования составляет 0,31). Таким образом, расчёт по стержневой расчётной модели даёт значительно завышенные значения внутренних усилий в подшкивных конструкциях.

Таблица 1. Максимальные значения главных, приведенных и касательных напряжений, коэффициенты использования по максимальным значениям приведенных напряжений для элементов расчетной схемы в виде стержневой аппроксимации

Наименование элементов	От действия аварийных расчетных сочетаний нагрузок				От действия эксплуатац. расчетных сочетаний нагрузок			
	σ_1 , МПа	$\sigma_{\text{прив}}$, МПа	τ , МПа	K_u	σ_1 , МПа	$\sigma_{\text{прив}}$, МПа	τ , МПа	K_u
Ветви укосины (рис. 4 п. 8)	28.6	48.9	28.3	0.19	8.6	14.40	8.4	0.300

	61.1	104.5	60.4	0.41	11.8	19.75	11.5	0.075
Стойки вертикальной опоры (рис. 4 п. 9)	14.1	24.2	13.95	0.09	8.3	13.96	8.15	0.020

	38.3	65.5	37.90	0.26	10.6	17.82	10.40	0.055
Главный ригель укосины нижней подшкивной площадки (рис. 4 п. 6)	64.5	110.2	63.75	0.43	38.8	65.20	38.05	0.08
Главный ригель вертикальных опор нижнего шкива (рис. 4 п. 7)	15.3	26.1	15.1	0.10	2.5	4.2	2.45	0.02
Тумба нижней подшкивной площадки (рис. 4 п. 7)	62.6	107.1	61.9	0.11	12.7	21.35	12.45	0.02
Вертикальные стойки подшкивной тумбы нижнего шкива (рис. 4 п. 9)	4.3	7.3	4.25	0.26	2.5	4.13	2.45	0.05
Горизонтальные элементы нижней подшкивной тумбы	7.0	12.0	0.05	0.05	6.2	10.48	0.1	0.01
Горизонтальные элементы верхней подшкивной тумбы	9.5	16.2	0.1	0.06	9.6	16.15	0.2	0.01
Ветви укосины между подшкивными площадками (рис. 4 п. 4)	50.6	86.6	50.05	0.34	10.8	18.20	10.6	0.06
Подшкивная тумба верхней подшкивной площадки (рис. 4 п. 2)	33.4	57.2	33.05	0.22	6.3	10.67	6.2	0.04
Главный ригель укосины верхней подшкивной площадки (рис. 4 п. 3)	131.0	224.0	129.5	0.88	77.7	130.6	76.15	0.16

2. Наибольшие расхождения между результатами расчёта по двум расчётным схемам выявлены для следующих элементов: главный ригель укосины верхней подшивной площадки 137...167 % (в запас прочности);

вертикальные стойки подшивной тумбы нижнего шкива 82...90 % (в ущерб прочности); главный ригель укосины нижней подшивной площадки 58...85 % (в запас прочности).

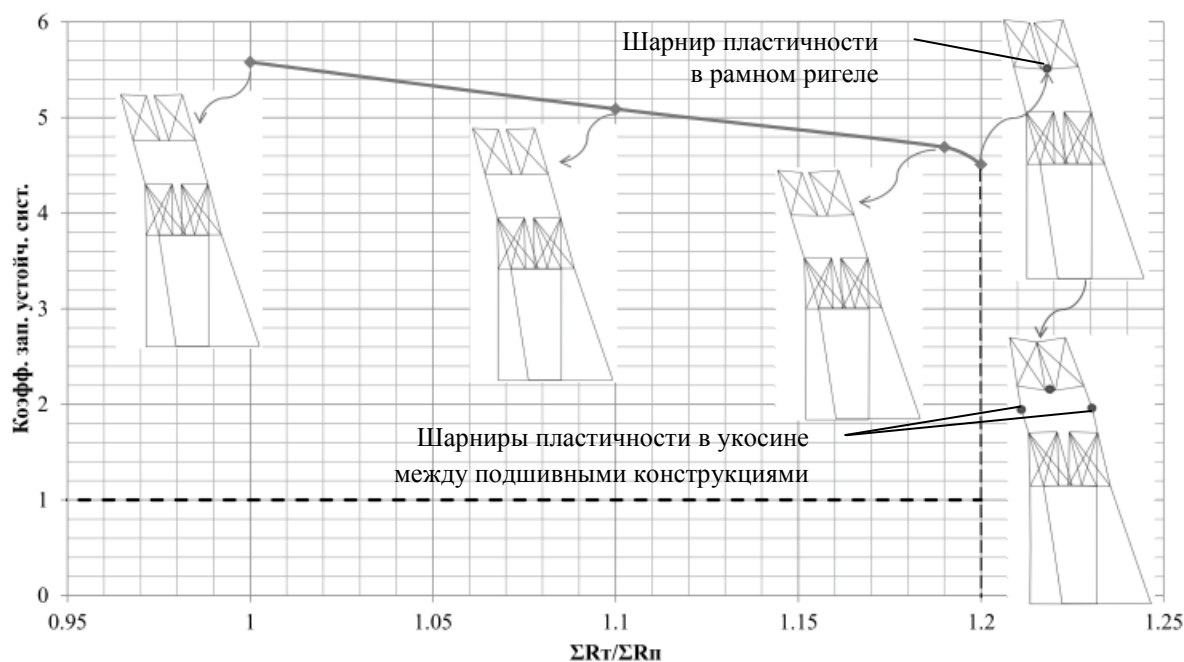


Рисунок 9. Коэффициент запаса устойчивости системы.



Рисунок 10. Спектр собственных частот сооружения как стержневой системы.

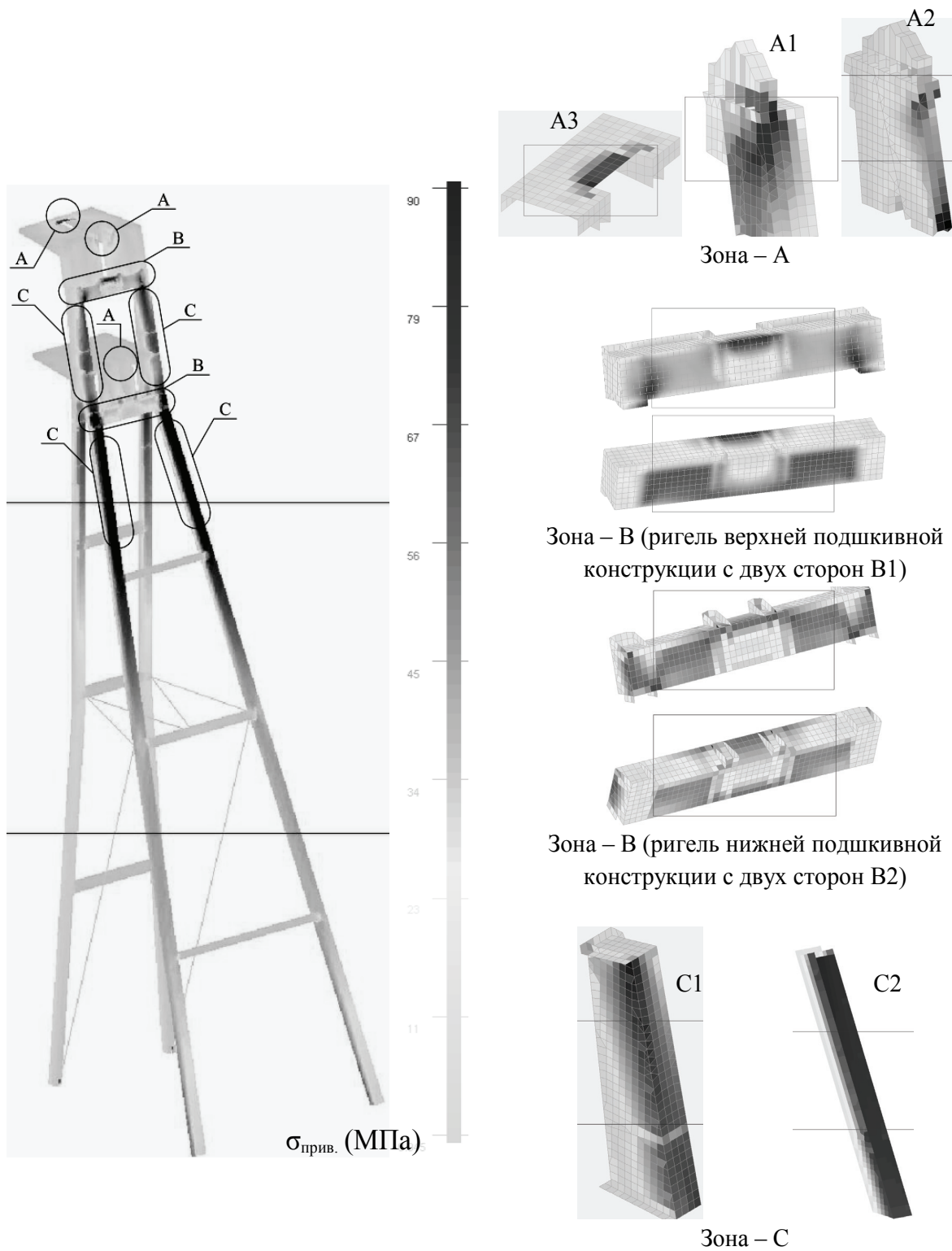


Рисунок 11. Зонирование конструкций копра по характеру и интенсивности напряженно-деформированного состояния: А – зона местных напряжений; В – зона концентрации напряжений; С – наиболее напряженные зоны.

Таблиця 2. Зонирование по видам плоского напряженно-деформированного состояния в элементах копра при пластинчатой аппроксимации конструктивной схемы сооружения и максимальные значения напряжений по зонам

Зона напряжений		Линейн. размеры зоны, м	От действия аварийных расчетных сочетаний нагрузок				От действия эксплуатац. расчетных сочетаний нагрузок			
			σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_{прив.}$, МПа	$\tau_{max.}$, МПа	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_{прив.}$, МПа	$\tau_{max.}$, МПа
А	А1 – область опирания верхнего шкива (сопряжение элементов 1 и 2 рис. 4а)	0,5×0,3	2.33	-33.6	34.8	18.0	0.48	-6.08	6.3	3.3
	А2 – область опирания нижнего шкива (сопряжение элементов 1 и 5 рис. 4б)	1,8×0,4	-2.6	-71.2	69.9	34.3	-0.43	-7.21	7.00	3.4
	А3 – область в месте изменения сечения подшківной площадки	2,2×0,4	-0.3	-67.0	66.9	33.4	-0.06	-16.5	16.42	8.2
В	В1 – ригель верхней подшківной конструкции (элемент 3 рис. 4а)	-	49.2	0.28	49.0	24.4	13.4	0.075	13.34	6.7
	В2 – ригель нижней подшківной конструкции (элемент 6 рис. 4б, 4в)	-	47.9	0.15	47.8	23.9	11.3	0.048	11.23	5.6
С	С1 – укосины между подшківными площадками (элемент 8 рис. 4в)	3,1×2,2	-1.2	-70.3	69.7	34.5	-0.05	-6.8	6.86	3.4
	С2 – ветвь укосины (элемент 4 рис. 4а, 4б)	8,4×0,8	0.34	-85.7	84.7	43.0	0.07	-6.46	6.64	3.4

Таблиця 3. Отношение главных напряжений при аварийной и эксплуатационной нагрузке и коэффициенты использования по максимальным значениям приведенных и касательных напряжений в зонах

Зона напряжений		От действия аварийных расчетных сочетаний нагрузок			От действия эксплуатац. расчетных сочетаний нагрузок		
		σ_1/σ_2	$\sigma_{прив.}/1.15 R_y\gamma_c$	$\tau_{max.}/0.58 R_y\gamma_c$	σ_1/σ_2	$\sigma_{прив.}/1.15 R_y\gamma_c$	$\tau_{max.}/0.58 R_y\gamma_c$
А	А1	-0.07	0.13	0.1	-0.08	0.02	0.03
	А2	0.04	0.25	0.3	0.06	0.03	0.03
	А3	0.001	0.24	0.3	0.001	0.06	0.07
В	В1	175.50	0.18	0.2	178.67	0.05	0.05
	В2	319.33	0.17	0.2	235.42	0.04	0.04
С	С1	0.02	0.25	0.3	0.01	0.02	0.03
	С2	0.001	0.31	0.3	0.001	0.02	0.03

Таблица 4. Отношение и отклонение приведенных напряжений по двум расчетным схемам при аварийном и эксплуатационном сочетании нагрузок

Наименование элементов	От действия аварийных расчетных сочетаний нагрузок		От действия эксплуатац. расчетных сочетаний нагрузок	
	$\sigma^I_{прив.}/\sigma^II_{прив.}$	$\frac{(\sigma^I_{прив.} - \sigma^II_{прив.})100\%}{\sigma^II_{прив.}}$	$\sigma^I_{прив.}/\sigma^II_{прив.}$	$\frac{(\sigma^I_{прив.} - \sigma^II_{прив.})100\%}{\sigma^II_{прив.}}$
Ветви укосины *	1.23	23 %	1.28	28 %
Главный ригель укосины нижней подшкивной площадки **	1.85	85 %	1.58	58 %
Главный ригель вертикальных опор нижней подшкивной площадки **	0.55	-45 %	0.40	-60 %
Подшкивная тумба нижнего шкива **	1.53	53 %	1.44	44 %
Вертикальные стойки подшкивной тумбы нижнего шкива **	0.10	-90 %	0.18	-82 %
Горизонтальные элементы нижней подшкивной тумбы **	0.17	-83 %	0.30	-70 %
Горизонтальные элементы верхней подшкивной тумбы **	0.47	-53 %	0.45	-55 %
Ветви укосины между подшкивными площадками *	1.56	56 %	1.68	68 %
Подшкивная тумба верхней подшкивной площадки **	0.56	-44 %	0.54	-46 %
Главный ригель укосины верхней подшкивной площадки **	2.67	167 %	2.37	137 %
Стойки вертикальной опоры *	1.07	-7 %	0.96	-4 %
Ригель укосины *	1.18	18 %	1.23	23 %

Примечания: * – сечение с максимальными значениями напряжений в стержневой аппроксимации *соответствует* сечению с максимальными значениями напряжений в пластинчатой аппроксимации; ** – сечение с максимальными значениями напряжений в стержневой аппроксимации *не соответствует* сечению с максимальными значениями напряжений в пластинчатой аппроксимации; $\sigma^I_{прив.}$ – приведенные напряжения при стержневой аппроксимации; $\sigma^II_{прив.}$ – приведенные напряжения при пластинчатой аппроксимации.

Таблица 5. Сравнение собственных частот колебаний полшатрового копра, вычисленных по двум расчетным моделям (модальный анализ)

Форма	Вид расчетной модели				Расхождение, %
	Стержневая аппроксимация		Пластинчатая аппроксимация		
	Частота, ГЦ	Периоды (сек)	Частота, ГЦ	Периоды (сек)	
1	1.88	0.53	1.73	0.58	8.7
2	3.98	0.25	3.51	0.44	13.4
3	4.16	0.24	3.75	0.39	10.1

3. Выявленное в результате численного эксперимента превышение приведенных напряжений в подшивных конструкциях (полученных на пластинчатой расчётной модели) над аналогичными напряжениями (полученными на стержневой расчётной модели) объясняется наличием зоны местных напряжений в узлах опирания подшивников направляющих шкивов.
4. Анализ результатов расчета по главным и приведенным напряжениям не выявил существенных расхождений (4...23 %) для сле-

дующих элементов: ветви укосин; стойки вертикальной опоры; ригели укосины; ригели вертикальной опоры. Таким образом, представление этих элементов в расчетных схемах копров стержневыми конечными элементами допустимо.

5. Основываясь на результатах проведенных численных исследований, можно утверждать возможность применения рациональных расчётных моделей рамных укосных копров из стержневых и пластинчатых элементов.

Литература

1. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции : СНиП II-23-81*. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
2. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – 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. – К. : Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
4. РД 12.003-92. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров. – К. : Госуглепром Украины, 1993. – 102 с.
5. РД 12.011-96. Здания и сооружения технологических комплексов шахтной поверхности. Требования к эксплуатации. – К. : Госуглепром, 1996. – 75 с.
6. ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности. – Донецк, 1977. – 89 с.
7. Указания по определению нормативных нагрузок и коэффициентов перегрузки для надшахтных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности. – К. : Будівельник, 1964. – 81 с.
8. Стрелецкий, Н. С. Избранные труды / Н. С. Стрелецкий. – М. : Стройиздат, 1975. – 422 с.
9. Горохов, Е. В. Резервы несущей способности стальных конструкций при кратковременных динамических воздействиях / Е. В. Горохов, В. Н. Куценко // Перспективы развития и пути повышения эффективности применения легких и особо лёгких металлических конструкций : Сб. науч. раб. – Киев, 1984. – С. 103–104.
10. Жербин, М. М. Развитие строительной науки и техники в УССР: В 3-х томах / АН УССР, Центр

References

1. Structural Rules and Regulations. Steel structures: SNiP II-23-81*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian)
2. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects: DBN B.1.2-2:2006. 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, 1977. 89 p. (in Russian)
7. Determination of normative loads and overloading coefficients for pithead buildings and structures of mine industry. Kyiv: Budivelnyk, 1964. 81 p. (in Russian)
8. Streletskiy, N. S. Selectas. Moscow: Stroiizdat, 1975. 422 p. (in Russian)
9. Gorokhov, Ye. V.; Kushchenko, V. N. Reserves of carrying ability of steel structures under short dynamic influences. *Development prospects and efficiency increasing of using of light and very light metal structures. Scientific works.* Kyiv, 1984, p. 103–104. (in Russian)
10. Zherbin, M. M. Development of engineering science and machines in Ukrainian Soviet Socialist Republic. 3 volumes. 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-

- исследования науч.-техн. потенциала и истории науки. – К. : Наукова Думка, 1989. – 308 с.
11. Жербин, М. М. Исследование статических воздействий ветрового потока на башенные надшахтные копры / М. М. Жербин, В. А. Владимирский // Реферативная информация о законченных НИР в ВУЗах. Строительство, архитектура, строительные материалы и издания. Вып. 6. – К. : Вища школа, 1972. – С. 22–25.
 12. Куценко, В. Н. Экспериментальное исследование динамического поведения конструкций шахтных копров / В. Н. Куценко, А. С. Кострицкий // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти України, ДонДАБА. – 2003. – Вип. 2(39) : Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Т. 2. Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 46–52.
 13. Куценко, В. Н. Методика и результаты динамических испытаний укосного шахтного копра / В. Н. Куценко, А. С. Кострицкий, Ю. П. Некрасов // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти України, ДонДАБА. – 2003. – Вип. 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 / И. М. Балкарей // Труды III конференции молодых ученых строителей. Вопросы современного строительства и архитектуры. – Киев : Будівельник, 1964. – С. 274–283.
 15. Балкарей, И. М. Экстренные нагрузки на конструкции рудничных и шахтных копров / И. М. Балкарей // Динамика и прочность сооружений. – Киев: Будівельник, 1965. – С. 60–63.
 16. Балкарей, И. М. Колебания укосных копров при экстренном разрыве шахтного подъемного каната / И. М. Балкарей, Г. В. Колтакова // Динамика и прочность строительных конструкций. – Киев : Будівельник, 1967. – С. 50–64.
 17. Murgewski, J. Reliability: State-of-Art, EX International Conference on Metal Structures. Final Report. – Poland : Krakov, 1996. – P. 99–112.
 18. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design Nordic Committee on Building Regulations, 1978.
 - frames. *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.; Kostrikiy, A. S. Experimental research of dynamic behavior of mine head-frames structures. *In compendium Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2003, Vol. 2(39): Building structures, buildings and constructions. Vol. 2. Towers: building materials, structures, processes, p. 46–52. (in Russian)
 13. Kushchenko, V. N.; Kostrikiy, A. S.; Nekrasov, Yu. P. Methods and results of dynamic testing of a jib mine head-frame. *In compendium Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2003, Vol. 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. *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. *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. *Dynamics and strength of structures*. Kyiv: Budivelnik, 1967, p. 50–64. (in Russian)
 17. Murgewski, J. Reliability: State-of-Art, EX International Conference on Metal Structures. Final Report. Poland: Krakov, 1996, p. 99–112.
 18. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design Nordic Committee on Building Regulations, 1978.

Куценко 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 – D.Sc., professor of the department «Metal Structures» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work and perfection of methods of design of building structures of mining constructions.

Nechitailo Alexander – a post-graduate student of the department «Metal Structures» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work and perfection of methods of design of frame mining constructions made of elements of box-shaped section.