

УДК 624.059.3:624.96

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШКИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАМНЫХ УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

*д. т. н., проф. Кущенко В. Н. *, асс. Нечитайло А. Е. ***

** ГВУЗ «Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов;*

*** ГВУЗ «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка*

Актуальность работы. Стальные шахтные копры являются сварными конструкциями, воспринимающими интенсивные сосредоточенные динамические нагрузки от натяжения подъёмных канатов [1]. Характерная особенность рамных шахтных копров – конструктивная форма элементов подшивных рам, которые представляют собой пространственные листовые конструкции, по существу, не являющиеся стержнями. Как правило, в проектной практике – при расчётной идеализации – эти конструктивные элементы аппроксимируют стержневыми конечными элементами, и расчёт производится на статические эквиваленты динамических нагрузок от натяжения подъёмных канатов [1, 6]. Вследствие такого условного подхода напряжённо-деформированное состояние подшивных конструкций определяется недостаточно точно. Таким образом, нормативные инженерные методики расчёта конструкций шахтных копров требуют усовершенствования [6].

В предыдущих работах [3-6] авторов выполнялся анализ влияния различных способов задания расчётной схемы на адекватность результатов расчёта. Такой анализ не выявил существенных различий для элементов находящихся ниже подшивных конструкций. Аппроксимация стержневыми элементами подшивных конструкций даёт существенные различия (в 1,9-2,5 раза) как в большую, так и в меньшую стороны, поэтому в расчётных схемах копров эти элементы необходимо аппроксимировать пластинчатыми конечными элементами. Наибольшие отклонения в большую сторону наблюдаются в узлах опирания направляющих шкивов в зоне действия местных нормальных и приведенных напряжений.

Объектом исследования являются подшивные конструкции рамных укосных копров. Подшивные конструкции служат для опирания направляющих шкивов [1, 2, 4].

Целью исследования является обоснование методики компьютерного

моделирования напряжённно-деформированного состояния подшкивных конструкций.

Задачей исследования является проверка гипотез и допущений принятых при компьютерном моделировании напряжённно-деформированного состояния подшкивных конструкций.

Методика исследований

Приближение расчётных моделей к действительной работе конструкций осуществлялось в четыре этапа: на первом этапе – объекты моделирования аппроксимировались стержневыми конечными элементами в среде программного комплекса SCAD (см. рис. 1а); на втором этапе – элементы расчётной схемы конструкций аппроксимировались пластинчатыми конечными элементами в среде программного комплекса LIRA, при этом опорные подшипники направляющих шкивов моделировались с помощью объёмных конечных элементов (см. рис. 1б); на третьем этапе – в среде программного комплекса LIRA проводилось численное моделирование напряжённно-деформированного состояния подшкивных конструкций с подробной детализацией узлов опирания направляющих шкивов (см. рис. 1в); на четвёртом этапе – численное моделирование напряжённно-деформированного состояния подшкивных конструкций осуществлялось в среде программного комплекса Ansys Workbench 14.0, который позволил смоделировать не только подшкивную конструкцию, но и механическую часть подъёмной установки (в составе направляющих шкивов, подъёмных канатов, приведенных масс подъёмных сосудов), что позволило исследовать процесс динамического взаимодействия опорных подшипников направляющих шкивов с подшкивными конструкциями (см. рис. 1г, д).

Численное моделирование напряжённно-деформированного состояния подшкивных конструкций на 4-м этапе осуществлялось на основе следующих допущений: а) взаимодействие подшкивных конструкций с остальной частью сооружения рассматривалась по схеме геометрически линейного упругого взаимодействия; б) пластинчатые конечные элементы располагались по срединным плоскостям стенок и поясов конструктивных элементов коробчатого и двутаврового сечения; в) канаты моделировались в виде упругих линейных безынерционных элементов с характеристиками жёсткости, эквивалентными осевой жесткости подъёмных канатов; г) соединение пластинчатых конечных элементов в узлах расчётной схемы - жёсткое; д) струна и ветвь подъёмного каната прикреплялись жёстко к направляющему шкиву в месте касания обода шкива, а также в месте касания барабана подъёмной машины; е) объёмные конечные элементы опорных подшипников направляющих шкивов прикреплялись к пластинчатым элементам подшкивной конструкций при помощи недеформированных односторонних связей, работающих на сжатие, но позволяющих перемещение в

горизонтальном направлении; ж) масса подъёмного сосуда и ветви подъёмного каната по принципу кинетического подобия приводилась к свободному концу упругого элемента, моделирующему подъёмный канат.

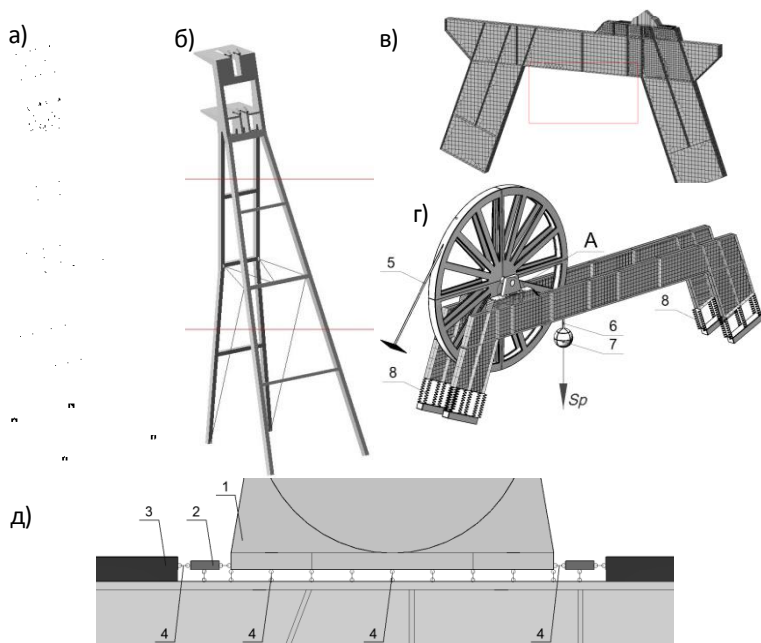


Рис. 1. Этапы моделирования напряжённно-деформированного состояния рамных укосных копров:

а – аппроксимация стержневыми элементами; б – аппроксимация пластинами; в – модель подшкивных конструкций из пластин и объёмных элементов; г – модель подшкивных конструкций вместе с направляющими шкивами, подъёмными канатами и сосудами; д – узел «А» (узел опирания опоры подшипника); 1 – объёмный элемент, моделирующий опорный подшипник; 2 – клинья упоров направляющего шкива; 3 – упоры направляющего шкива; 4 – односторонние связи; 5 – элемент, моделирующий струну подъёмного каната; 6 – элемент, моделирующий ветвь подъёмного каната; 7 – приведенная масса сосуда и каната; 8 – упруго-подагильные элементы, которые моделируют взаимодействие с остальной частью сооружения; S_p – переменная сосредоточена сила, возникающая в результате вынужденных колебаний подъёмного сосуда.

Краевые условия взаимодействия подшкивной рамы с остальной частью

сооружения имитировались путем введения упруго-податливых связей, которые моделировали осевую жёсткость узла примыкания. К расчётным моделям прикладывались динамические нагрузки от натяжения подъёмных канатов двух видов: а) нормальной эксплуатации – по гармоническому закону с амплитудой значения переменной составляющей усилия, равной $1,96 S_p$ (S_p см. рис. 1г); б) аварийной нагрузки – от разрыва подъёмного каната, как импульс в виде половины синусоиды, продолжительностью 0,8с и амплитудой, равной разрывному усилию подъёмного каната.

С целью проверки основных допущений, использованных при разработке численных моделей выполнялся натурный эксперимент. В процессе эксперимента измерялись: статические и динамические деформации в узлах опирания направляющих шкивов.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались статистическими методами. В результате обработки экспериментальных данных получены значения главных напряжений и выполнено сравнение со значениями, полученными путем численного моделирования (см. табл. 1).

Таблица 1.

Сопоставление расчётных и экспериментальных значений главных напряжений в узлах опирания направляющих шкивов комбинированного полушатрового клетьевого копра

№ точки	Расчёт. знач. σ_1 , МПа	Мат. ожидание σ_1 , МПа		Отклонение от данных эксперимента	Расчёт. знач. σ_2 , МПа	Мат. ожидание σ_2 , МПа		Отклонение от данных эксперимента
		нижняя	верхняя			нижняя	верхняя	
1	18,8	18,40	22,74	0	-42,4	-52,2	-45,15	6%
2	23,8	23,58	32,09	0	-50,3	-64,89	-53,25	6%
3	23,4	21,54	30,92	0	-62,1	-72,90	-67,83	8%
4	0,001	1,88	2,90	-	-71,1	-80,49	-70,19	0
5	0,001	-1,19	-0,47	-	-43,1	-50,65	-45,29	5%
6	0,001	-2,63	-1,13	-	-26,1	-41,69	-36,71	29%

Сравнение расчётных значений главных напряжений с экспериментальными данными, приведенными табл. 1 показало удовлетворительную сходимость, как по видам напряжённого состояния, так и по расположению точек с экстремальными значениями напряжений. Расхождения между расчётными и экспериментальными значениями напряжений в расчётных точках для проверки местной прочности при

доверительной вероятности 0,95 составило диапазон: 5 ... 10%.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований подтвердили справедливость гипотез и допущений, положенных в основу математического моделирования. Таким образом, методика математического моделирования является адекватной.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ 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] / В. Н. Кущенко, А. Е. Нечитайло // Сборник докладов по материалам XIII Международной конференций «Материалы. Методы. Технологии», 18–22 февраля 2013 г. / редкол. Главацкая и др. – п. Плавыя : УИЦ, 2013. – С. 103–105.
5. Кущенко, В. М. Аналіз напружено-деформованого стану вузлів опирання направляючих шківів на підшківні конструкції шахтного укосного копра : [Текст] / В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 97–109.
6. Кущенко, В. М. Аналіз напружено-деформованого стану основних несучих елементів рамних укосних шахтних копрів [Текст] / В. М. Кущенко, О. Є. Нечитайло // Металеві конструкції. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 151–165.