



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

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

№1, ТОМ 14 (2008) 53-66

УДК 624.014:624.96.042:622

(07)-0154-1

## **УТОЧНЕННЯ СКЛАДУ АВАРІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ**

**В.М. Кущенко, О.В. Михайлов**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,*

*вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.*

*E-mail: snpcsh@mail.ru*

*Отримана 21 січня 2008; прийнята 25 січня 2008*

**Анотація.** У статті на основі узагальнення результатів математичного моделювання динамічного поведіння механічної системи «конструкції шахтного копра – підйомна машина» зроблено уточнення складу особливих навантажень. Для конструкцій шахтних копрів, обладнаних підйомними машинами, з технічними характеристиками, що обумовлюють можливість розриву піднімального каната при защемленні судини, що піднімається, розрахункові значення особливих навантажень визначаються максимальним значенням амплітуди сумарного натягу піднімального каната, що при заданій тахограмі руху піднімальної машини визначається критичним значенням довжини затисненої вітки піднімального каната. Для конструкцій копрів клітьового підйому при розриві підйомного каната в результаті защемлення кліті, що піднімається, у момент спрацьовування шахтного парашута зусилля в суміжній вітці може продовжувати збільшуватися і досягати амплітудного значення. Унаслідок цього при визначенні особливого навантаження від спрацьовування шахтного парашута, крім зусиль у гальмових канатах, необхідно так само враховувати амплітудне значення зусиль в суміжній вітці підйомного каната. Для конструкцій копрів скіпових і клітьових підйомів, не обладнаних шахтним парашутом, і для яких розривши піднімального каната неможливий, необхідно враховувати можливість розриву підйомного каната в результаті зависання піднімальної судини на рівні розвантажувальних пристроїв.

**Ключові слова:** укисні шахтні копри; аварійні навантаження; розрахунок будівельних конструкцій.

## **УТОЧНЕНИЕ СОСТАВА АВАРИЙНЫХ НАГРУЗОК УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ**

**В.Н. Кущенко, А.В. Михайлов**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.*

*E-mail: snpcsh@mail.ru*

*Получена 21 января 2008; принята 25 января 2008*

**Аннотация.** В статье на основе обобщения результатов математического моделирования динамического поведения механической системы «конструкции шахтного копра – подъемная машина» произведено уточнение состава особых нагрузок. Для конструкций шахтных копров, оборудованных подъемными машинами, с техническими характеристиками, обуславливающими возможность разрыва подъемного каната при защемлении поднимающегося сосуда, расчетные значения особых нагрузок определяются максимальным значением амплитуды суммарного натяжения подъемного каната, которое при заданной тахограмме движения подъемной машины определяется критическим значением длины защемленной ветви подъемного каната. Для конструкций копров клетового подъема, при разрыве подъемного каната в результате защемления поднимающегося сосуда, в момент срабатывания

шахтного парашюта усилие в смежной ветви может продолжать увеличиваться и достигать амплитудного значения. Вследствие этого при определении особой нагрузки от срабатывания шахтного парашюта, помимо усилий в тормозных канатах необходимо также учитывать амплитудное значение усилия в смежной ветви подъёмного каната. Для конструкций копров скиповых и клетевых подъёмов, не оборудованных шахтным парашютом, и для которых разрыв подъёмного каната невозможен, необходимо учитывать возможность разрыва подъёмного каната в результате зависания подъёмного сосуда на уровне разгрузочных устройств.

**Ключевые слова:** укосные шахтные копры; аварийные нагрузки; расчёт строительных конструкций.

## SPECIFICATION OF EMERGENCY LOADS STRUCTURE OF HEAD-FRAMES

**V.M. Kuschenko, O.V. Mykhailov**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.  
E-mail: snpcsh@mail.ru*

*Received 21 January 2008; accepted 25 January 2008*

**Abstract.** On the basis of generalization of the results of mathematical modeling of the dynamic behaviour of the mechanical system «head-frame structures - a winder» a specification of special loads structure has been done. For head-frames structures equipped with winders which have technical characteristics causing a possibility of a hoisting rope breaking on jamming a rising vessel, design values of special loads being determined by a maximum value of the amplitude of a total hoisting rope tension which is determined by a critical value of the length of the hoisting rope jammed branch at a given speed of a winder movement. For the structures of cage winding head-frames, at a hoisting rope breaking as a result of jamming a rising vessel, the effort in an adjacent branch can keep on increasing and reach a peak value at the moment of a dog response. As a result of this when determining a special load because of a dog response, besides the efforts in brake ropes one should take into account a peak value of the effort in a hoisting rope adjacent branch. For the structures of skip hoisting and cage winding head-frames which are not equipped with a dog and for which a hoisting rope breaking it is not possible, one should consider a possibility of breaking a hoisting rope as a result of a rising vessel hanging-up at the level of discharges.

**Keywords:** head-frame, emergency loads, building structure designs.

### Актуальность

Укосные копры (рис. 1) являются наиболее ответственными стальными сооружениями шахтной поверхности, поскольку они обеспечивают вертикальный транспорт и связаны с системами вентиляции горных выработок и безопасности подъёма [1-6].

В связи с перспективами развития угольной промышленности Украины требуется возведение укосных шахтных копров высотой 60-70м, что значительно превышает технические характеристики ранее возводимых сооружений этого типа (30-50м), при этом, как правило, увеличивается интенсивность нагрузок от подъёмных канатов. Также актуальны задачи техни-

ческой диагностики и реконструкции шахтных копров в связи с физическим износом и изменением технических характеристик шахтных подъёмных установок. В настоящее время, в соответствии с нормами [7-9], расчёт конструкций шахтных копров производится на условные статические эквиваленты нагрузок от натяжения подъёмных канатов. Вследствие пренебрежения динамическим характером нагрузок от натяжения подъёмных канатов, результаты расчёта конструкций являются недостаточно достоверными [10-14, 17-21].

**Объектом исследования** являются стальные конструкции укосных шахтных копров во взаимодействии с механической системой подъёмной машины. Целью работы является

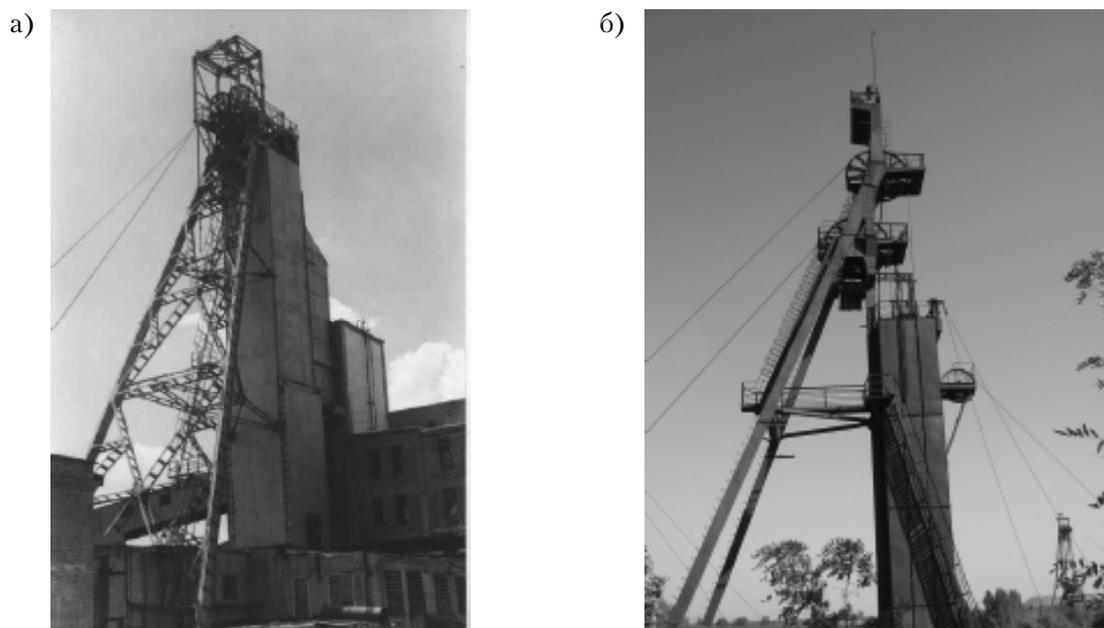


Рис.1. Укосные шахтные копры: а) станковый; б) полушатровый.

уточнение состава особых нагрузок конструкций шахтных копров для проверочных расчётов существующих и вновь проектируемых сооружений.

#### Методика работы

Уточнение состава особых нагрузок производилось на основе анализа действующих норм и априорных источников, определяющих состав особых нагрузок укосных шахтных копров [1-6], а также на основе результатов математического моделирования динамического поведения механической системы «конструкции шахтного копра – механизм подъёмной машины». Математическая модель рассматриваемой механической системы реализована в виде вычислительной программы, состоящей из двух подпрограмм в среде программного комплекса «Mathcad-11». Первая подпрограмма производит вычисление усилий в ветвях и струнах подъёмного каната на всех стадиях изменения механической системы подъёмной машины, моделирующих различные сценарии аварии при защемлении поднимающегося сосуда. Вторая подпрограмма производит вычисление переменной во времени нагрузки от натяжения ветвей подъёмного

каната, параметров упругих перемещений конструкций копра и значений инерционных нагрузок по направлениям динамических степеней свободы приведенных масс сооружения. Расчётные значения указанных составляющих особой нагрузки определялись по моменту времени, соответствующему амплитудному значению упругих перемещений сооружения. Дальнейший расчёт производился на ПК «SCAD», в результате определялись амплитудные значения внутренних усилий в элементах конструкций. Графическая интерпретация результатов математического моделирования особых нагрузок от разрыва подъёмного каната приведена на рис. 2. Подробно методика математического моделирования динамического взаимодействия конструкций шахтных копров с подъёмной машиной при различных авариях на шахтных подъёмных установках описана в работах автора [14, 15, 16].

#### Анализ априорных источников

Наиболее неблагоприятные для конструкций шахтных копров эпизодические нагрузки возникают при авариях на подъёмных установках [1, 6, 7, 8, 14]. При проектировании

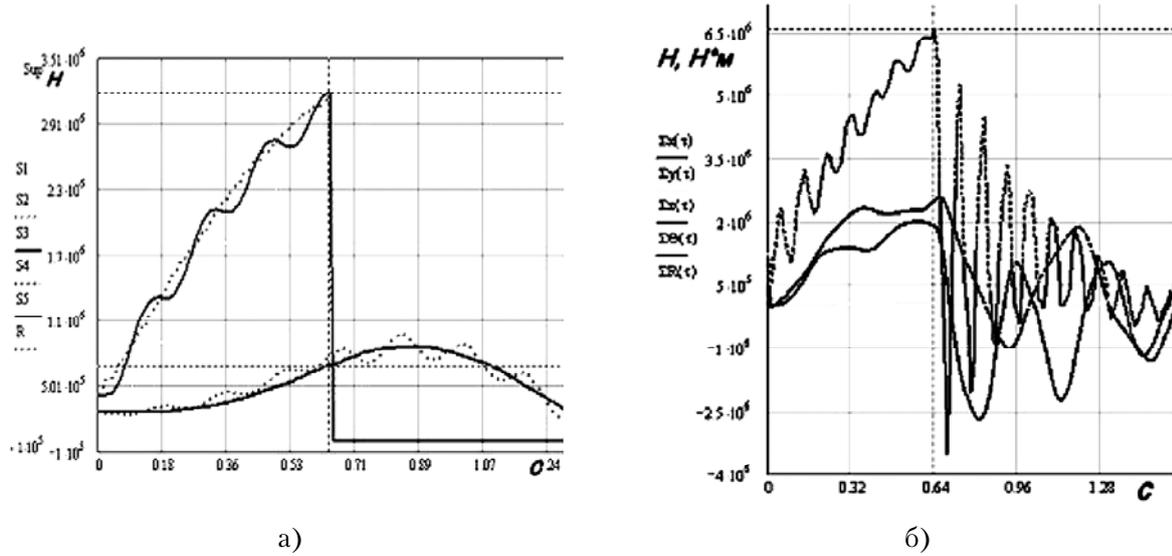


Рис. 2. Характерные результаты математического моделирования защемления поднимающегося сосуда в шахтном стволе: а) усилия в подъемных канатах; б) особая нагрузка с учётом сил инерции (главный вектор).

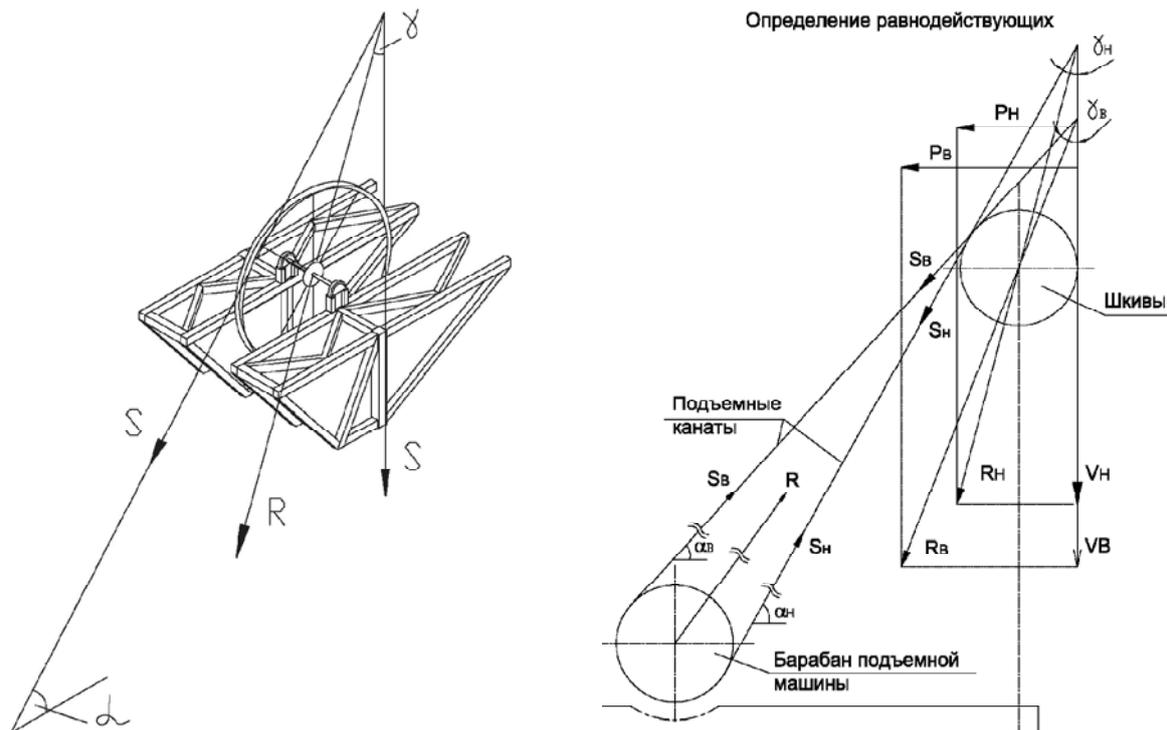


Рис. 3. Схема передачи нагрузок от подъемных канатов на конструкции копров.

шахтных копров учитываются эпизодические нагрузки от следующих аварий на ШПУ [1,6,7]:  
 – внезапная остановка (защемление в шахтном стволе) сосуда, поднимающегося с максимальной скоростью;

- разрыв подъемного каната и последующее натяжение тормозящих канатов при срабатывании парашютов типа ПТК;
- удар по конструкциям копра в результате резкой посадки клетки на кулаки;

- срабатывание предохранительной автоматики и аварийное торможение подъемной машины;
- отказ системы управления, переподъём сосуда и последующий удар по конструкциям шахтного копра.

Аварийные нагрузки конструкций шахтных копров имеют динамический характер, значительно превышают нагрузки нормальной эксплуатации и являются определяющими при проектировании и проверочных расчётах. В соответствии с действующими нормами [7, 8], особые нагрузки от аварийного натяжения ветвей подъемного каната определяются в зависимости от двух параметров: разрывного усилия подъемного каната и рабочего натяжения ветвей подъемного каната.

Поскольку канат подъемной машины наземного расположения состоит из отвесных частей и наклонных (под углом  $35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ) струн (см. рис. 3), нагрузки от натяжения подъемных канатов могут быть представлены в виде вертикальных и горизонтальных составляющих главного вектора нагрузки, приложенной к конструкциям шахтного копра.

Прочие нагрузки также могут быть представлены как результирующие вертикальные и горизонтальные сосредоточенные силы. Если полученные результирующие силы отнести к величине суммарного разрывного усилия подъемного каната, то величины расчётных нагрузок конструкций шахтных копров можно представить в виде системы безразмерных параметров, которые характеризуют влияние той или иной нагрузки на величину внутренних усилий в элементах сооружения. Сопоставление относительных значений вертикальных  $V_z/P_c$  и горизонтальных составляющих  $H_x/P_c$  и  $H_y/P_c$  нагрузок шахтных копров приведено в табл. 1.

В соответствии с данными, приведенными в табл. 1 аварийные нагрузки от разрыва подъемного каната превышают нагрузки нормальной эксплуатации в 5-9 раз, прочие эпизодические нагрузки в 2-2,6 раза. Таким образом, при проектировании шахтных копров особые нагрузки от разрыва подъемного каната в основном определяют проверки несущей способности конструктивных элементов.

**В результате численных экспериментов** установлена зависимость особых нагрузок от

**Таблица 1.** Сопоставление относительных значений составляющих нагрузок шахтных копров.

№ п.п.	Составляющая нагрузки	Номер нагрузки						
		1(const)	2(W)	3( $R_n$ )	4( $AP_c$ )	5(AIII)	6(AT)	7(AII)
Копры скиповых подъёмов								
1	$V_z/P_c$	0,6-0,9	-	0,5	2,4	-	1,1	1,1
2	$H_x/P_c$	-	0,2-0,3	0,3	1,12	-	0,5	0,5
3	$H_y/P_c$	-	0,2-0,3	0,01	0,03	-	0,02	0,02
Копры клетевых подъёмов								
4	$V_z/P_c$	0,6-0,9	-	0,23	2,1	0,6	0,8	0,8
5	$H_x/P_c$	-	0,2-0,3	0,1	1	-	0,4	0,4
6	$H_y/P_c$	-	0,2-0,3	0,01	0,02	-	0,01	0,01

**Примечание.** Наименование нагрузок: 1(const) – постоянная; 2(W) – ветровая; 3( $R_n$ ) – рабочее натяжение канатов; 4( $AP_c$ ) – особая, разрыв каната; 5(AIII) – особая, срабатывание парашюта; 6(AT) – особая, аварийное торможение; 7(AII) – особая, переподъём.

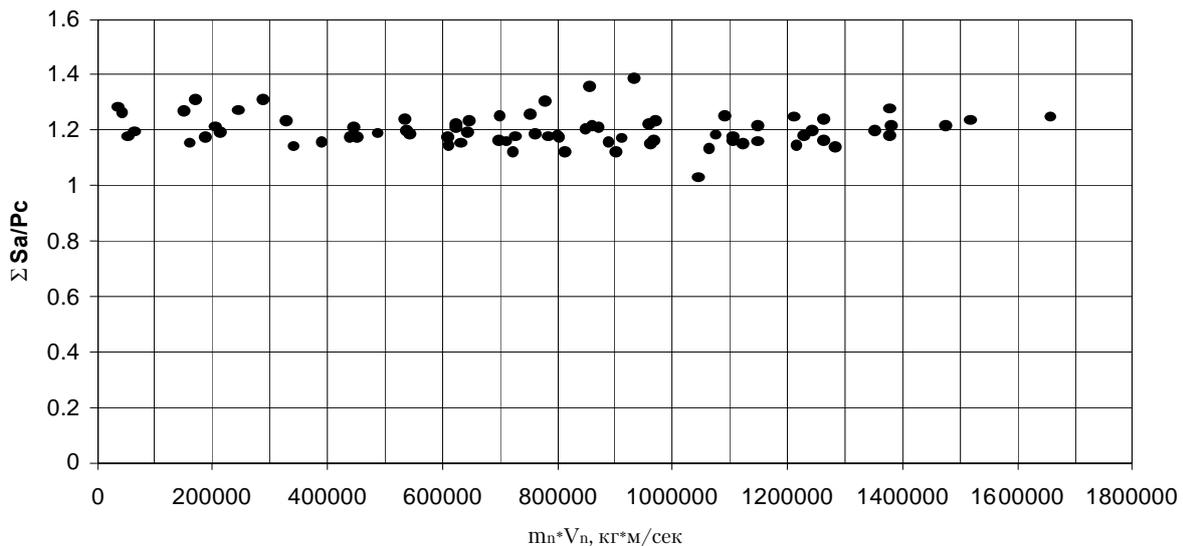
трёх качественно отличных групп факторов влияния: а) условия аварийной ситуации; б) технические характеристики шахтной подъёмной установки; в) динамические свойства конструкций шахтных копров. Факторы условий аварийной ситуации имеют случайную природу и включают: положение аварии по высоте ствола; жёсткость и прочность препятствия. Факторы технических характеристик подъёмных машин барабанного типа характеризуются количеством движения вращающихся частей подъёмной машины, разрывным усилием каната и высотой подъёма. К факторам динамических характеристик конструкций шахтных копров относятся: собственные частоты колебаний; значение логарифмического декремента затухания [10].

При увеличении жёсткости и прочности случайного препятствия амплитуда суммарного натяжения ветвей каната монотонно возрастает и достигает максимального значения при заземлении в абсолютно жёстком основании [10]. После разрыва подъёмного каната усилие в смежной ветви возрастает и достигает амплитудного значения (рис 2а). В связи с этим состав эпизодической нагрузки при действии шахтного парашюта требует уточнения. Взамен нормативного определения [9]: «динамические

усилия от натяжения тормозных канатов при сработавших парашютах одной из клетей» + «статические усилия натяжения тормозных канатов парашютов смежной ветви» + «нагрузка от рабочего усилия в смежной ветви» - следует рассматривать: «динамические усилия от натяжения тормозных канатов при сработавших парашютах одной из клетей» + «статические усилия натяжения тормозных канатов парашютов смежной ветви» + «динамическое усилие в смежной ветви». Динамическое усилие в смежной ветви следует принимать равным 40% от величины суммарного разрывного усилия проволок подъёмного каната (рис. 4).

Скорость движения подъёмной машины и положение аварии по высоте подъёма оказывают существенное влияние на амплитуду усилия суммарного натяжения ветвей подъёмного каната. На рис. 5 представлены результаты исследования зависимости амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната от скорости подъёма (см. рис. 5б) и положения аварии по высоте ствола (см. рис. 5а) для крупной подъёмной машины ШМП 1-6.3-6.0.

Представленные графики демонстрируют возможность двух качественно отличных сценариев развития аварийной ситуации: а) отсутствие разрыва подъёмного каната (графики 1,



**Рис. 4.** Зависимость относительных значений экстремальных амплитуд суммарного натяжения ветвей подъёмных канатов от количества движения приведенной массы движущихся частей подъёмной машины при заземлении поднимающегося сосуда в абсолютно жёстком препятствии ( $\Sigma S_a$  – абсолютное значение экстремальных амплитуд суммарного натяжения ветвей подъёмных канатов;  $P_c$  – суммарное разрывное усилие).

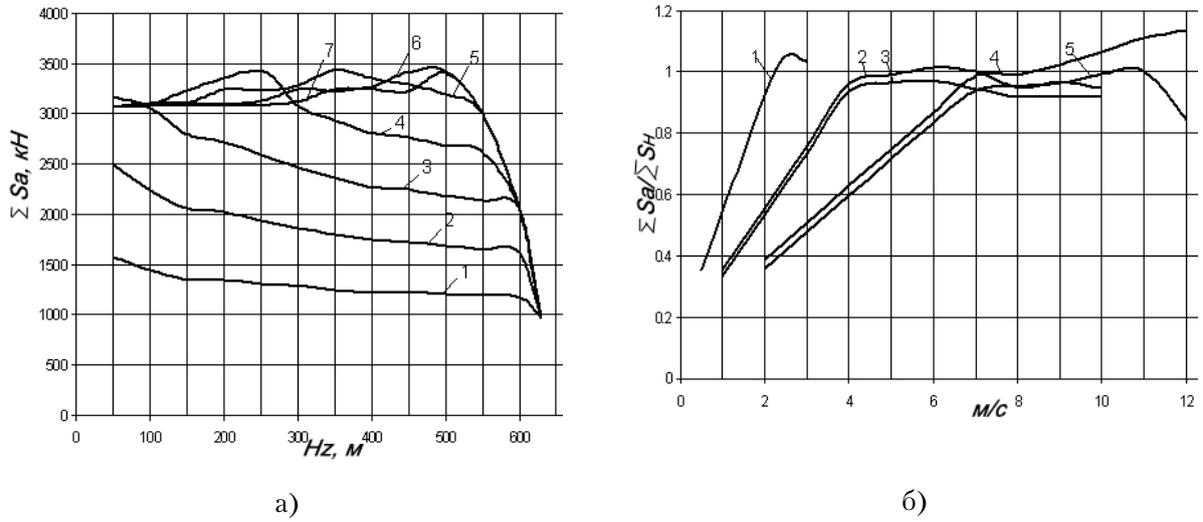


Рис. 5. Характерные зависимости экстремальных значений амплитуд суммарных усилий от скорости движения (а) и положения аварии по высоте подъёма (б).

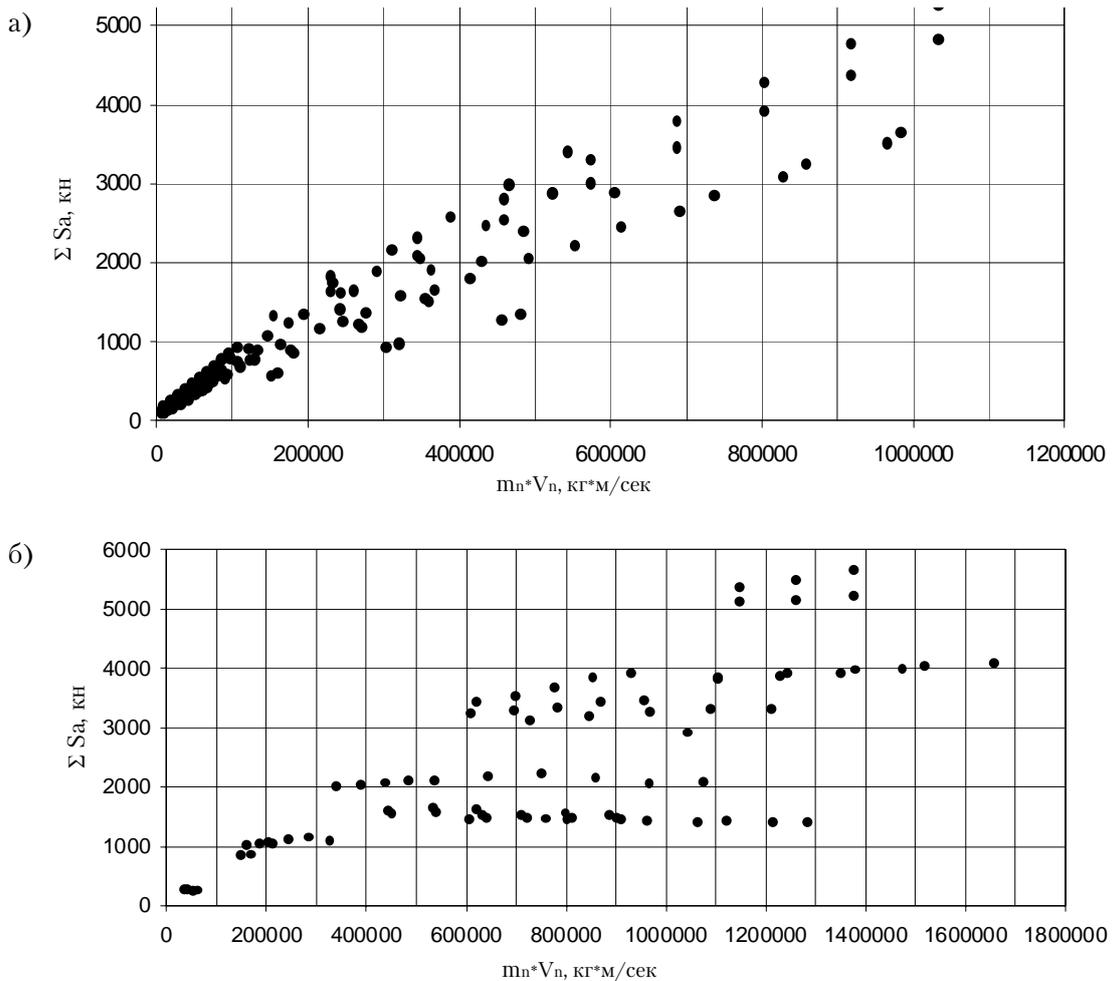


Рис. 6. Экстремальные значения амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната в зависимости от импульса количества движения подъёмной установки: а) разрыв подъёмного каната невозможен; б) разрыв подъёмного каната возможен.

2, 3); б) с разрывом подъёмного каната (графики 4, 5, 6, 7). Для сценариев первого типа характерна монотонно возрастающая зависимость амплитудных значений усилий в ветвях подъёмного каната, как от скорости подъема, так и от высоты положения аварии в шахтном стволе.

Для сценариев второго типа характерна незначительная вариация максимального значения амплитуды суммарного натяжения ветвей подъёмного каната (5-10%) при изменении скорости. При максимально возможных скоростях движения, для малых однобарабанных машин с диаметром барабана до 2,5м характерны сценарии аварий без разрыва подъёмного каната, для прочих подъёмных машин - с разрывом подъёмного каната.

На рис. 6 приведены результаты исследования влияния технических характеристик подъёмных машин на параметры особых нагрузок.

Для случаев, когда в результате защемления поднимающегося сосуда разрыв подъёмного каната невозможен (см. рис. 6а) наблюдается линейная зависимость между экстремальными значениями амплитуд суммарного усилия ветвей подъёмного каната и импульсом количества движения. В случае, если разрыв подъёмного каната возможен (см. рис. 6б), наблюдается группировка экспериментальных точек около значений, которые превышают разрывное усилие каната: а) для клетевых подъёмных установок на 10-40%; б) для скиповых подъёмных установок на 18-26%.

В результате математического моделирования установлены основные виды сочетаний импульсивных усилий экстремальных особых нагрузок от натяжения ветвей подъёмного каната (см. рис. 7). Для всех типов импульсивных нагрузок выполняются условия:  $0,1 < \phi / T_{1y} < 2,5$ ;  $0,1 < \phi / T_{1n} < 2,5$ ;  $\phi / T_{1z} > 2,5$  (где:  $\phi$  – продолжительность импульса;  $T_{1y}$ ,  $T_{1n}$ ,  $T_{1z}$  – периоды самых низких частот собственных колебаний сооружения по соответствующим динамическим степеням свободы). Таким образом, при особых нагрузках возможно действие существенных сил инерции в направлении горизонтальных составляющих нагрузок от натяжения подъёмных канатов.

При возможности разрыва подъёмного каната для равнодействующей от натяжения за-

щемлённой ветви коэффициент динамичности незначительно отличается от единицы и составляет 1,05-1,1. Если при защемлении поднимающегося сосуда разрыв подъёмного каната невозможен, коэффициент динамичности по горизонтальным перемещениям составляет 1,3-1,5, по вертикальным перемещениям – 1,15-1,2.

В результате численных экспериментов установлены закономерности, позволяющие построить методику определения экстремальных значений особых нагрузок в зависимости от технических характеристик шахтных подъёмных установок. На рис. 8 приведен график «1» изменения экстремальных значений амплитуд суммарного усилия в ветвях подъёмного каната в зависимости от длины защемлённой ветви, который при неограниченной прочности каната и фиксированной скорости представляет собой убывающую функцию.

График «2» (см. рис. 8) представляет зависимость амплитуды суммарного усилия ветвей с учётом ограниченной прочности каната и состоит из двух частей: часть левее точки «М» – возрастающая функция, соответствует случаю разрыва защемлённой ветви, часть, расположенная правее точки «М», – монотонно убывающая и совпадает с графиком «1», соответствует случаям, когда разрыв подъёмного каната невозможен. Таким образом, точка «М» лежащая на пересечении возрастающей и убывающей функций, соответствует абсолютному максимуму амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната. Следовательно, для определения расчётной ситуации, соответствующей экстремальному значению особой нагрузки, необходимо определить критическую длину защемлённой ветви ( $L_{кр}$ ), соответствующую точке «М» на графике рис. 8.

Точка «М» является графическим решением следующего уравнения:

$$S_{1cm} + S_{1d}(T_1/4) + S_{2cm} + S_{2d}(T_1/4) = P_c + S_{2cm} + S_{2d}(T_1/4) \quad (1)$$

где  $S_{1cr}$ ,  $S_{2cr}$  – значение статических усилий в защемлённой и смежной ветвях, Н;

$S_{1d}(T_1/4)$ ,  $S_{2d}(T_1/4)$  – значение динамических усилий в защемлённой и смежной ветви в момент времени, равный четверти периода

тона механической системы подъёмной машины, Н;

$T_1$  – период тона механической системы подъёмной машины, с;

$P_c$  – разрывное усилие подъёмного каната, Н.

Поскольку величины  $S_{1cr}$  и  $S_{1д}$  являются функциями переменной длины заземлённой ветви ( $L$ ) и скорости, решение уравнения (1) при фиксированном значении скорости позволяет

определить критическую длину ветви ( $L_{кр}$ ), которая соответствует абсолютному максимуму амплитуды суммарного натяжения ветвей подъёмного каната для заданных параметров механической системы шахтной подъёмной установки.

Относительно установленной закономерности экстремальных значений амплитуд суммарного усилия натяжения ветвей подъёмного

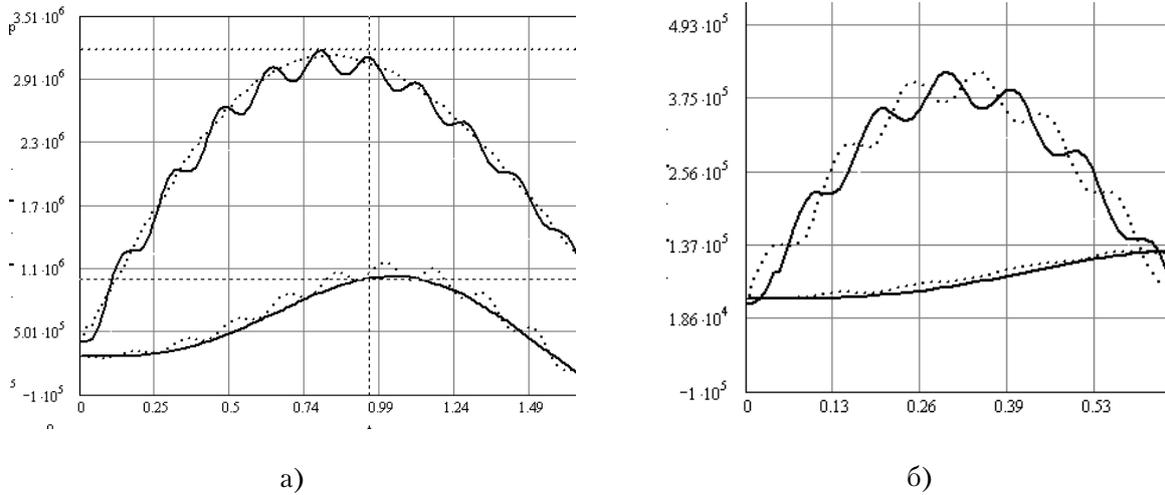


Рис. 7. Основные виды сочетаний импульсивных усилий экстремальных особых нагрузок при заземлении подъёмного сосуда: а) механические системы первого вида (разрыв подъёмного каната возможен); б) механические системы второго вида (разрыв подъёмного каната невозможен).

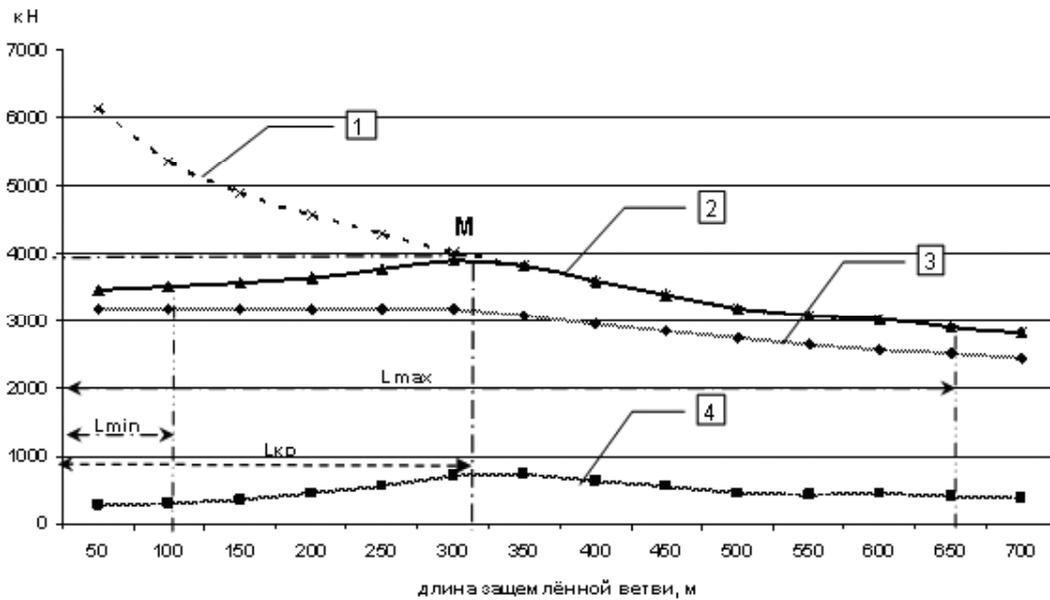


Рис. 8. Зависимость значения амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната от длины заземлённой ветви при фиксированной скорости подъёма.

каната возможна следующая классификация механических систем шахтных подъёмных установок: а) первый тип - механические системы, для которых критическая длина заземлённой ветви находится в диапазоне между возможными значениями максимальной и минимальной длины, то есть выполняется условие  $L_{max} \geq L_{кр} \geq L_{min}$  (разрыв подъёмного каната возможен); второй тип - механические системы, для которых критическая длина заземлённой ветви меньше минимально возможной, то есть когда  $L_{кр} < L_{min}$  (разрыв подъёмного каната не возможен).

Предварительно для механических систем первого типа критическая длина ветви определяется по следующей формуле:

$$L_{кр} = V^2 m_1 E_k A_k / (\alpha^2 P_c^2), \quad (2)$$

где  $V$  – номинальная скорость подъёма, м/с;

$m_1$  – приведенная масса всех движущихся частей подъёмной машины, кг;

$E_k$  – модуль упругости каната, Н/м<sup>2</sup>;

$A_k$  – площадь сечения каната, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент влияния статического натяжения подъёмного каната;

$P_c$  – разрывное усилие подъёмного каната, Н.

В первом приближении критическая длина ветви подъёмного каната может быть опреде-

лена для значения коэффициента влияния статического натяжения 0,8-0,9. В дальнейшем на более точной математической модели аварийной ситуации (состоящей из двух или пяти масс) уточняется длина и производится расчёт значений усилий в ветвях подъёмного каната.

Для механических систем второго типа критическая длина ветви соответствует положению поднимающегося сосуда в начале торможения подъёмной машины. После этого расчётные усилия в ветвях подъёмного каната определяются в том же порядке, что и для механических систем первого типа. Однако, в этом случае, при определении особой нагрузки составляющие равнодействующих сил натяжения ветвей подъёмного каната умножаются на коэффициенты динамичности. Для горизонтальных составляющих коэффициент динамичности - 1,5, для вертикальных – 1,2.

Для скиповых подъёмных установок второго типа (при заземлении поднимающегося сосуда разрыв каната невозможен) возможен случай зависания и последующее падение опускающегося сосуда. При этом отмечается, что при разрыве подъёмного каната вследствие агрессивных воздействий его реальная прочность, как правило, была несколько меньше номинальной агрегатной прочности [6]. Таким образом, в

**Таблица 2.** Связь видов особых нагрузок с назначением шахтной подъёмной установки.

Вид особой нагрузки	Назначение подъёмной установки
1. Внезапная остановка поднимающегося подъёмного сосуда на случайном препятствии	Подъём грузов, подъём людей
2. Зависание опускающегося подъёмного сосуда на случайном препятствии с последующим падением	Подъём грузов
3. Переподъём поднимающегося подъёмного сосуда с последующим ударом о конструкции копра	Подъём грузов, подъём людей
4. Нагрузки от срабатывания шахтного парашюта	Подъём грузов и людей
5. Нагрузки от резкой посадки клетки на кулаки	Подъём грузов и людей

нормативном определении отсутствует одна из возможных аварийных ситуаций, связанная с разрывом каната при зависании подъемного сосуда. В классических работах по динамике шахтного каната различные виды аварий на шахтных подъемных установках моделируются внезапным приложением скорости к массе сосуда, в этом случае амплитуда динамического усилия в подъемном канате определяется осевой жесткостью и линейной плотностью каната и скоростью [18]:

$$P_{дин} = kV\sqrt{\rho A}, \quad (3)$$

где  $P_{дин}$  – амплитуда динамического усилия в подъемном канате, Н;

$k$  – коэффициент, зависящий от отношения массы каната к массе сосуда;

$V$  – номинальная скорость подъема, м/с;

$\rho$  – линейная плотность каната, кг/м;

$A$  – продольная жесткость каната, Н/м.

Для случая зависания скипа в разгрузочных кривых, при определении усилия возле направляющего шкива, коэффициент  $k=3$ . После подстановки в формулу (3) в качестве предельной амплитуды усилия суммарного разрывного усилия каната и после преобразования получаем формулу для определения критической скорости при зависании:

$$V_{кр} = \frac{P_c}{3\sqrt{cE_k F_k L}}. \quad (4)$$

Расчёты по формуле (4) показывают возможность разрыва подъемного каната скиповых подъемов при зависании сосуда в разгрузочных кривых и напуске каната на длину 6-8 м, что в действительности наблюдается на шахтных подъемных установках [6,18]. На клетевых подъемных установках «зависание» невозможно, поскольку в этом случае срабатывает шахтный парашют. Таким образом, технологическое назначение подъемной установки определяет возможность возникновения тех или иных видов аварий. В табл. 2 приведены данные о совместимости аварийных нагрузок с основными разновидностями подъемных установок по назначению.

На рис. 9 и табл. 3 приведены результаты численного эксперимента, выполненного с целью уточнения особых нагрузок при заземлении поднимающегося сосуда для копра скипового подъема, оборудованного подъемной машиной ШПУ 6,5х3,5 номинальная скорость движения -  $V=14$  м/сек, максимальной статическое натяжение ветви подъемного каната - 547кН, суммарное разрывное усилие проволок подъемного каната - 1950кН.

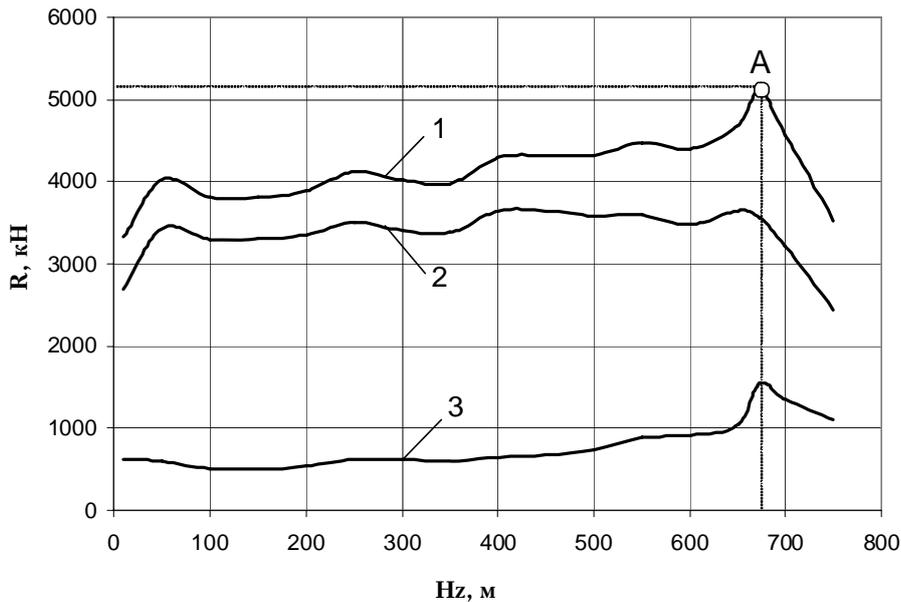


Рис. 9. Изменение амплитуд равнодействующих усилий натяжения ветвей подъемного каната в зависимости от положения аварии в шахтном стволе: 1- суммарное значение усилий; 2 - заземленной ветви; 3 - смежной ветви.

На графике 1, приведенном на рис. 8, видно наличие нескольких локальных экстремальных точек при длине заземлённой ветви, равной 673м, которая соответствует критической длине заземлённой ветви, на графике виден абсолютный максимум амплитуды суммарного натяжения ветвей подъёмного каната (2722кН).

На рис. 10 приведены определённые в результате численного эксперимента импульсы, действующие в горизонтальном и вертикальном направлениях, действующие в узлах опирания подшипников направляющих шкивов, которые соответствуют экстремальному значению особой нагрузки. Полученные результаты были использованы при проверочном расчёте совмещённого копра скипового подъёма ВПС2 УК «Красноармейская Западная №1».

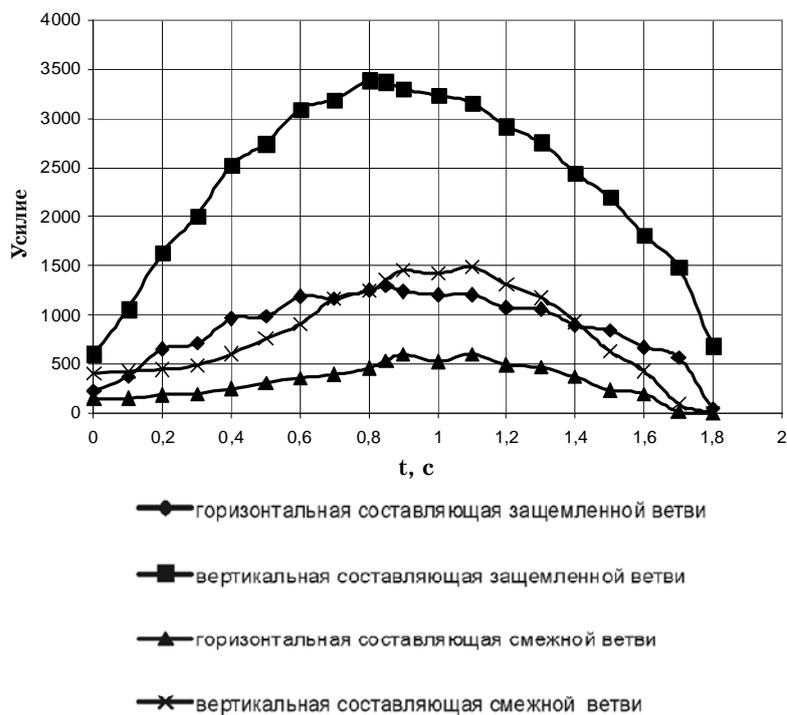
### Выводы

1. Для конструкций шахтных копров, оборудованных подъёмными машинами, с техническими характеристиками, обуславливающими возможность разрыва подъёмного каната при заземлении поднимающегося сосуда, расчётные значения особых нагрузок определяются максимальным значением амплитуды суммарного натяжения подъёмного каната, которое при заданной тахограмме движения подъёмной машины определяется критическим значением длины заземлённой ветви подъёмного каната.
2. Для конструкций копров клетового подъёма, при разрыве подъёмного каната в результате заземления поднимающегося сосуда в

Таблица 3. Результаты численного эксперимента.

Z <sub>з</sub> , м	V <sub>с</sub> , м/с	Усилие в заземленной ветви, кН		Усилие в смежной ветви S <sub>2</sub> , кН		φ с	Σ R, кН	Σ V, кН	Σ H, кН	б <sub>Рз</sub> , град.	б <sub>Рсм</sub> , град.
		S <sub>2</sub> , верт. ветвь	S <sub>3</sub> , накл. ветвь	S <sub>5</sub> , верт. ветвь	S <sub>4</sub> , накл. ветвь						
10	3,4	1650	1230	358	310	0,64	3326	3158	1041	72,39	69,04
50	7,6	1950	1720	388	241	0,38	4027	3779	1385	70,58	65,77
100	10,8	1570	1950	313	228	0,3	3804	3500	1491	66,87	67,32
150	13,2	1580	1950	304	228	0,3	3805	3503	1485	66,94	67,61
200	14	1630	1950	334	231	0,34	3883	3579	1504	67,27	66,81
250	14	1950	1800	399	256	0,46	4126	3863	1445	70,09	66,08
300	14	1950	1690	380	273	0,52	4021	3783	1360	70,77	67,18
350	14	1950	1660	365	267	0,58	3973	3742	1331	70,96	67,36
400	14	1950	1950	357	327	0,68	4291	4013	1518	69,22	69,61
450	14	1950	1950	379	336	0,72	4320	4039	1532	69,22	69,28
500	14	1880	1950	431	350	0,78	4317	4024	1565	68,82	68,40
550	14	1890	1950	539	396	0,9	4473	4164	1633	68,88	67,40
600	14	1770	1950	537	431	0,98	4392	4077	1632	68,17	68,28
650	14	1950	1950	573	526	1,2	4682	4380	1654	69,22	69,63
<b>673</b>	<b>11,8</b>	<b>1920</b>	<b>1890</b>	<b>883</b>	<b>751</b>	<b>1,78</b>	<b>5103</b>	<b>4771</b>	<b>1810</b>	<b>69,39</b>	<b>68,86</b>
700	10,4	1720	1710	764	668	1,74	4557	4261	1615	69,28	69,14
750	7,1	1320	1280	623	541	1,8	3528	3303	1241	69,55	69,07

Примечание. Глубина положения препятствия измеряется от устья ствола.



**Рис. 10.** Импульсы, действующие на опорные подшипники направляющих шкивов, которые соответствуют экстремальной нагрузке от заземления поднимающегося сосуда.

момент срабатывания шахтного парашюта усилие в смежной ветви может продолжать увеличиваться и достигать амплитудного значения. Вследствие этого, при определении особой нагрузки от срабатывания шахтного парашюта помимо усилий в тормозных канатах необходимо также учитывать амплитудное значение усилия в смежной ветви подъемного каната.

3. Для конструкций копров скиповых и клетевых подъемов, не оборудованных шахтным парашютом, и для которых разрыв подъемного каната невозможен, необходимо учитывать возможность разрыва подъемного каната в результате зависания подъемного сосуда на уровне разгрузочных устройств.

## Литература

1. Бровман Я.В. Надшахтные копры. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 239с.
2. Завозин Л.Ф. Шахтные подъемные установки. Изд. 2-е переработ. и доп.– М.: Недра, 1975.– 368 с.
3. Ильичев А.С. Собрание трудов/Шахтные подъемные установки.– М.: Углетехиздат, 1954. – Т. 2.– 208 с.
4. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. – М.: Недра, 1976. – 304 с.
5. Правицкий Н.К. Рудничные подъемные установки – М.: Госгортехиздат, 1963. – 416 с.
6. Белый В.Д., Лесин К.К., Самарский А.Ф. Выбор, навеска, эксплуатация и контроль состояния шахтных канатов. – М.: Недра, 1967. – 227 с.
7. ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения угольной промышленности. – Донецк, 1977. – 89 с.
8. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации.- К.: Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
9. Указания по определению нормативных нагрузок и коэффициентов перегрузки для надшахтных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности. – К.: Будівельник, 1964. – 81с.
10. Куценко В.Н. Параметры и факторный анализ особых нагрузок укосных шахтных копров от заземления поднимающегося сосуда// Металлические конструкции. –2006. –Т.12, №4. –С.217-232.

11. Кущенко В.Н., Кострицкий А.С. Динамический расчёт укосных шахтных копров на особые нагрузки от заклинивания поднимающегося сосуда // *Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: VIII Украинской научно-технической конференции. Сб. науч. трудов.* – К., 2004. – С. 267-276.
12. Кущенко В.Н. Учёт динамического характера усилий в подъёмных канатах при расчёте строительных конструкций укосных шахтных копров // *Металлические конструкции.* – 2006. – Т.11, №3. – С. 171-185.
13. Кущенко В.Н. Совершенствование методики расчёта укосных шахтных копров на действие особых нагрузок от внезапной остановки поднимающегося сосуда // *Металеві конструкції.* – 2005. – Т.8, №1. – С.53-65.
14. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров: Монография. – Макеевка: ДонНАСА, 2006. – 203 с.
15. Кущенко В.Н., Кострицкий А.С. Методика математического моделирования особых нагрузок на конструкции шахтных копров от заклинивания поднимающейся клетки // *Будівельні конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.* – Макіївка, 2004. – Вип. 2004-2(44). – С. 35-45.
16. Кущенко В.Н. Параметры и факторный анализ особых нагрузок укосных шахтных копров от заземления поднимающегося сосуда // *Металлические конструкции.* – 2006. – Т.12, №4. – С.217-232.
17. Балкарей И.М., Колтакова Г.В. Колебания укосных копров при экстренном разрыве шахтного подъёмного каната//В кн.: *Динамика и прочность строительных конструкций.* Киев: Будівельник, 1967. – С. 50-64.
18. Дворников В.И., Кърцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъёмного комплекса. – София, 1997. – 364 с.
19. ISO 13380:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on using performance parameters
20. Kejrival B.K. Safety in mines. – Dyanbad, 1994
21. Kulyabko V.V. Drawing up of the dynamic models of long-shan and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics// Proc. 2nd RILEM International Conf. Štrbské pleso «Diagnosis of Concrete Structures». – Bratislava (Slovakia). – 1996. – P. 382-385.

**Кущенко Володимир Миколайович** – Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи та удосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій гірничотехнічних споруд.

**Михайлов Олександр Васильович** є магістрантом кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: удосконалення методів розрахунку і проектування шахтних укісних копрів.

**Кущенко Владимир Николаевич** – Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: исследование действительной работы и, совершенствование методов расчёта строительных конструкций горнотехнических сооружений.

**Михайлов Александр Васильевич** является магистрантом кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: совершенствование методов расчета и проектирования шахтных укосных копров.

**Kuschenko Volodymyr Mykolayovych** is a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His research interests include mathematical modeling of special loads of head-frames structures.

**Mykhailov Oleksandr Vasylyovych** is an undergraduate at the Department of Metal Structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: perfection of design methods and head-frame designing.