



(05)-0097-1

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ НА ОСОБЛИВІ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД РАПТОВОЇ ЗУПИНКИ ПІДНІМАЄМОЇ ПОСУДИНИ

В.М. Кущенко

Кафедра "Металеві конструкції", Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: snpcsh@mail.ru

Отримана 22 червня 2005; прийнята 9 вересня 2005

Анотація. В статті наведена методика та результати математичного моделювання особливих навантажень конструкцій укісних шахтних копрів від раптової зупинки піднімаємої посудини. На підставі аналізу апріорних джерел та даних числових експериментів утановлені три групи факторів впливу на параметри особливих навантажень: стохастичні фактори умов аварійної ситуації; фактори технічних характеристик підйомних машин та фактори динамічних характеристик конструкцій шахтних копрів. Н підставі аналізу та узагальнення результатів чисельних експериментів та натурних експериментів, встановлені принципи визначення розрахункових значень особливих навантажень в залежності від технічних характеристик піднімальних установок та динамічних властивостей конструкцій шахтних копрів.

Ключові слова: шахтні копри, особливі навантаження, фактори впливу, математичне моделювання, розрахункові значення особливих навантажень.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ НА ДЕЙСТВИЕ ОСОБЫХ НАГРУЗОК ОТ ВНЕЗАПНОЙ ОСТАНОВКИ ПОДНИМАЮЩЕГОСЯ СОСУДА

В.Н. Кущенко

Кафедра "Металлические конструкции", Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: snpcsh@mail.ru

Получена 22 июня 2005; принята 9 сентября 2005

Аннотация. В статье приведена методика и результаты математического моделирования особых нагрузок конструкций укосных шахтных копров от внезапной остановки поднимающегося сосуда. На основании анализа апріорных источников и данных численных экспериментов установлены три группы факторов влияния на параметры особых нагрузок: стохастические факторы условий аварийной ситуации; детерминированные факторы технических характеристик подъёмной машины и факторы динамических характеристик конструкций шахтных копров. На основании анализа и обобщения результатов численных и натурных экспериментов установлены принципы определения расчётных значений особых нагрузок в зависимости от технических характеристик подъёмных установок и динамических свойств конструкций шахтных копров.

Ключевые слова: шахтные копры, особые нагрузки, факторы влияния, математическое моделирование, расчётные значения особых нагрузок.

PERFECTING OF A TECHNIQUE OF CALCULATION OF HEADFRAMES ON OPERATING OF THE SPECIAL LOADS FROM A CRASH STOP OF A RAISING VESSEL

V.M. Kushchenko

Department of metal structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.

E-mail: snpcsh@mail.ru

Received 22 June 2005; accepted 9 September 2005

Abstract. In the article the technique and outcomes of mathematical modelling of the special loads of designs of headframes from a crash stop of a raising vessel is adduced. The ground of analysis of prior sources and data of numerical experiments three groups of the factors influencing on parameters of the special loads are established: the stochastic factors of conditions of a distress; the determined factors of characteristics of a winder and factors of response curves of designs of headframes. On the base of the analysis and generalization of outcomes, numerical and natural experiments of the principles of definition of design values of the special loads depending on characteristics of winding plants and dynamic properties of designs of headframes are established.

Keywords: headframes, special loads, factors of influence, mathematical modelling, design values of the special loads.

Введение

Укосные шахтные копры являются горнотехническими сооружениями подъёмных установок с наземным расположением подъёмной машины и представляют собой пространственные стержневые системы высотой от 15 до 70 м. Конструкции шахтных копров в основном предназначены для размещения направляющих шкивов и грузозачно-разгрузочных устройств. Различают следующие основные типы конструктивных систем укосных шахтных копров: станковые (см. рис. 1 а); полушатровые (см. рис. 1 б); шатровые (1 в); комбинированные (1 г). В конструктивном отношении укосные копры являются пространственными стержневыми системами, состоящими из ферм (см. рис. 1 а, б) или из рам (см. рис. 1 в, г). В связи с отношением металлических конструкций шахтных копров к системам транспортировки и жизнеобеспечения работающих в шахте людей, эти сооружения относятся к первому и второму классам ответственности, и их эксплуатация имеет аспект обеспечения технологической безопасности. В настоящее время большинство копров угольных шахт Украины находятся в эксплуатации более 30 лет и вследствие тяжёлых условий эксплуатации претерпели значи-

тельный физический и моральный износ. Определение возможности дальнейшего использования этих сооружений требует более точных методик расчёта, позволяющих достоверно учесть действительную работу строительных конструкций.

Основным видом эксплуатационных нагрузок шахтных копров являются длительные временные и кратковременные нагрузки от натяжения ветвей подъёмного каната [1, 2, 3]. Расчётные сочетания, включающие особые нагрузки от внезапной остановки поднимающегося сосуда, являются определяющими для несущей способности конструкций шахтных копров [4, 5, 6], поскольку они в 4-9 раз превышают эксплуатационные нагрузки от натяжения ветвей подъёмного каната.

В настоящее время нормативная инженерная методика расчёта конструкций копров на особые нагрузки от внезапной остановки поднимающегося сосуда [1, 2, 3] предполагает расчёт на статическое значение разрывного усилия в одной ветви подъёмного каната и двойное рабочее статическое натяжение в смежной ветви. Такая методика расчёта является условной, поскольку она не учитывает динамический характер особых нагрузок и основана на приблизительном представлении о предельных значе-



Рис 1. Типы конструктивных схем шахтных копров.

ниях статических эквивалентов особых нагрузок. В работах [7, 8, 9] предпринята попытка учёта динамического характера особых нагрузок и установлено существенное их влияние на напряжённо-деформированное состояние конструкций шахтных копров. Однако в настоящее время нормативная инженерная методика определения расчётных (наиболее неблагоприятных) параметров особых нагрузок с учётом динамического характера процессов, происходящих в системе «подъёмная машина – конструкция копра», не сложилась.

Целью данной работы является установление принципов определения расчётных параметров особых нагрузок шахтных копров в зависимости от возможных условий аварийной ситуации, а также от технических характеристик подъёмных машин и динамических свойств конструкций сооружений.

Методика исследования

Поскольку полномасштабные воспроизводимые физические эксперименты по моделированию аварий на шахтных подъёмных установках невозможны, исследования выполнялись методом математического моделирования динамического поведения механической системы «подъёмная машина – конструкция шахтного копра». Методика математического моделирования основана на принципах классической механики, описание движения элементов механической системы осуществляется системой уравнений Лагранжа второго рода. Рассматриваемая механическая система состоит из следующих основных частей (см. рис.2): подъёмных сосудов – 1; ветвей подъёмного каната – 2; случайного препятствия – 3; конструкции шахтного копра – 4; копровых направляющих шкивов – 5; струн подъёмного каната – 6; барабана подъёмной машины – 7; редуктора – 8; двигателя – 9; фундамента подъёмной машины – 10.

Математическая модель шахтной подъёмной установки представляет собой вычислительную программу, состоящую из трёх подпрограмм реализованных в среде программного комплекса «Mathcad 11». Первая подпро-

грамм реализованных в среде программного комплекса «Mathcad 11». Первая подпро-

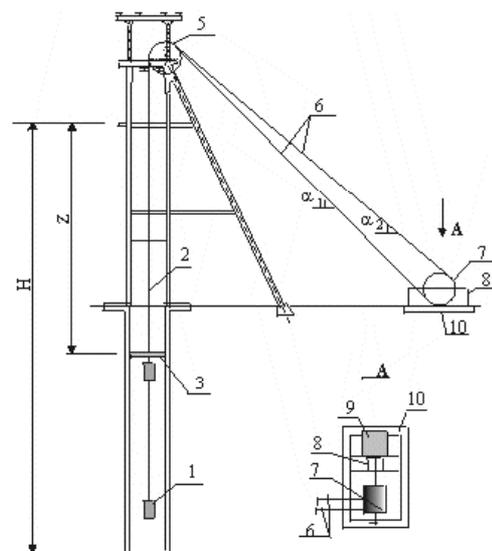
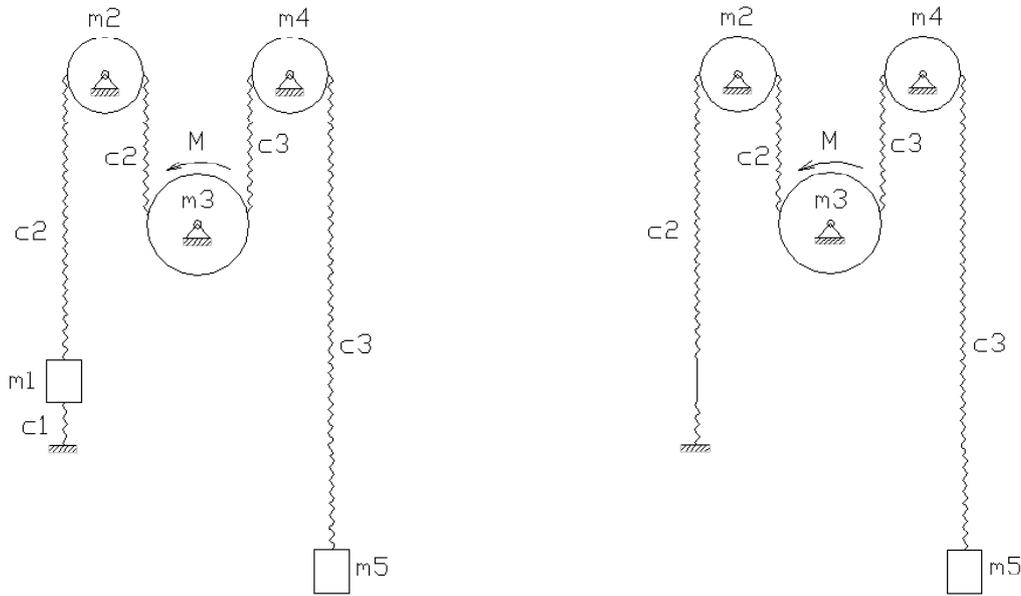


Рис. 2. Механическая система шахтной подъёмной установки.



а) расчётная схема с упругопластическим препятствием

б) расчётная схема с абсолютно жёстким препятствием

Рис. 3. Расчётная схема шахтной подъёмной установки для подпрограммы, вычисляющей переменные во времени усилия в ветвях подъёмного каната.

рамма производит вычисление параметров движения масс механической системы подъёмной установки, а также усилий в ветвях и струнах подъёмного каната. Вторая подпрограмма производит вычисление переменной во времени нагрузки от натяжения ветвей подъёмного каната и параметров перемещений центров приведения масс конструкций копра и значений инерционных нагрузок по направлениям динамических степеней свободы приведенных масс сооружения. Третья подпрограмма производит вычисление динамических реакций в местах опирания барабана подъёмной машины на фундамент подъёмной машины.

Исходная расчётная схема подъёмной машины при упругопластической диаграмме сопротивления случайного препятствия представляет собой механическую систему, состоящую из пяти сосредоточенных масс, объединённых упругими безинерционными связями (см. рис. 3а), при абсолютно жёстком препятствии механическая система состоит из четырёх сосредоточенных масс (см. рис. 3б).

В расчётной модели в виде логической структуры реализована последовательность изменений расчётной схемы подъёмной уста-

новки, соответствующая следующим основным этапам трансформации рассматриваемой механической системы в процессе развития аварии: разрыв подъёмного каната; отключение двигателя подъёмной машины, включение системы аварийного торможения, срабатывание шахтного парашюта [13]. В результате решения системы уравнений движения при начальных условиях, соответствующих моменту внезапной остановки поднимающегося сосуда, вычисляются динамические внутренние усилия в ветвях и струнах подъёмного каната.

Если копровые направляющие шкивы одной подъёмной машины расположены на одном уровне (рядом), переменные во времени усилия натяжения ветвей подъёмного каната перед и за копровыми шкивами приводятся к главному вектору и моментам приведения, которые прикладываются к центру приведения масс сооружения на уровне опирания копровых шкивов. Если копровые направляющие шкивы одной подъёмной машины расположены на разных уровнях (один над другим), нагрузки от натяжения подъёмных канатов приводятся к двум главным векторам, которые прикладываются к двум центрам приведения масс распо-

ложенным на уровнях опирания копровых шкивов. В расчётной схеме рассматриваемой механической системы конструкции шахтного копра представляются в виде сосредоточенных масс, приведенных к точкам приложения главных векторов особой нагрузки, а также на уровне распорки укосины. При этом рассматриваются динамические степени свободы в направлении поперечных, продольных и крутильных колебаний. В результате динамического расчёта определяется переменная во времени инерционная нагрузка в виде составляющих сил инерции по направлениям вынужденных колебаний.

В каждый текущий момент времени нагрузка на сооружение представляется как суммарное воздействие главных векторов усилий натяжения ветвей подъёмного каната, сил инерции и соответствующих моментов приведения к центрам масс сооружения. Путём анализа диаграмм упругих перемещений приведенных масс сооружения, для каждой расчётной реализации устанавливались амплитудные значения нагрузочного эффекта, абсолютный максимум которых, при варьировании факторов влияния рассматриваемой подъёмной установки, определяет расчётные параметры особой нагрузки (амплитудное значение главного вектора, продолжительность нагружения и характер изменения во времени).

Факторы влияния

В результате численных экспериментов установлены три качественно отличных группы факторов влияния на параметры особых нагрузок конструкций шахтных копров [12]: факторы условий аварийной ситуации; факторы технических характеристик шахтной подъёмной установки; факторы динамических свойств конструкций шахтных копров.

Факторы условий аварийной ситуации имеют случайную природу и включают: положение аварии по высоте ствола; жёсткость и прочность препятствия. В литературных источниках посвящённым вопросам разработки предохранительной автоматики [11] приводятся общие статистические данные о частоте аварий на шахтных подъёмных установках, согласно которым в среднем за год на 1000 шахтных подъёмных установках происходит 12 случаев

разрыва подъёмного каната. В соответствии с этими данными математическое ожидание периодичности возникновения особых нагрузок от разрыва подъёмного каната составляет около 80 лет. Поскольку средний срок эксплуатации горнотехнических сооружений составляет 40-60 лет, математическое ожидание количества особых нагрузок за весь срок эксплуатации не превышает одного раза. Отмечается, что основными причинами внезапной остановки поднимающегося сосуда являются: нарушение прямолинейности жёстких проводников; разрушение узлов крепления проводников к элементам армировки шахтного ствола; попадание в поднимаемый сосуд негабаритного элемента (например, элемента крепи горных выработок). В случае столкновения с элементами армировки ствола случайное препятствие представляет собой пространственную стержневую систему, состоящую из горизонтально расположенных рам, заделанных в бетонную крепь ствола, которые в вертикальном направлении соединены проводниками. При различных условиях защемления поднимающегося сосуда в конструкциях армировки ствола возможный диапазон жёсткости случайного препятствия составляет 5000-100000 кН/м; прочности – 100-1500 кН. При защемлении в железобетонных конструкциях крепи ствола случайное препятствие можно полагать абсолютно жёстким с прочностью значительно превышающей усилие разрыва подъёмного каната. В настоящее время отсутствуют представительные статистические данные о жёсткости и прочности случайных препятствий в шахтных стволах, позволяющие установить законы распределения этих случайных величин. Вследствие этого, в данной работе жёсткость и прочность случайного препятствия в пределах диапазона возможных значений полагались равномерно распределёнными случайными величинами.

Факторы технических характеристик подъёмных машин барабанного типа образуют группы технологически совместимых сочетаний, которые определяются областью применения машин с различными типоразмерами. В связи с этим, исследование влияния технических характеристик на параметры особых нагрузок производилось для характерных типоразмеров малых и крупных подъёмных машин в

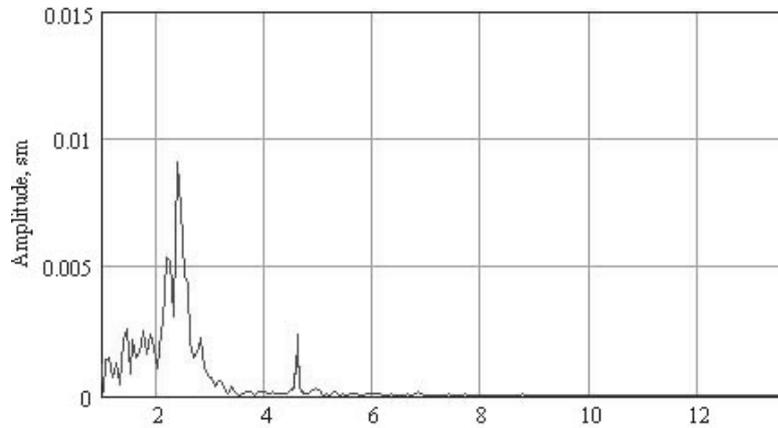


Рис. 4. Спектрограмма виброперемещений конструкций рамного полусферического копра клетового подъёма высотой 25,8 м.

пределах возможного диапазона высоты подъёма. В общем случае на параметры особых нагрузок шахтных копров влияют следующие технические характеристики подъёмных машин: моменты инерции и массы подвижных частей подъёмной машины; скорость и тахограмма подъёма; высота подъёма; максимальное статическое натяжение и разность статических натяжений ветвей подъёмного каната; диаметр и усилие разрыва подъёмного каната.

Факторы динамических характеристик конструкций шахтных копров включают: собственные частоты колебаний; значение логарифмического декремента затухания. В результате натуральных динамических испытаний установлено, что для конструкций копров характерны следующие виды колебаний: поперечные колебания в горизонтальном направлении по двум взаимно ортогональным направлениям по отношению к направлению горизонтальной составляющей от натяжения подъёмного каната; крутильные колебания в горизонтальной плоскости; продольные колебания в вертикальном направлении [10]. Характерная экспериментальная спектрограмма собственных колебаний укосного рамного шахтного копра приведена на рис.4. Обобщенные данные об изменении спектров частот собственных колебаний по различным формам, в зависимости от высоты шахтных копров приведены на рис 5. В соответствии с приведенными данными, основная часть (более 90%) энергии свободных и вынужденных колебаний конструкций укосных копров приходится на поперечные колебания в горизон-

тальном направлении и на крутильные колебания в горизонтальной плоскости, при этом диапазон спектра значимых частот составляет от 1 до 7 Гц. При увеличении высоты шахтных копров спектр значимых частот собственных колебаний изменяется только с высокочастотной стороны и монотонно возрастает с 3-4 Гц до 7 Гц (см. рис. 5). Продольные колебания в вертикальном направлении составляют диапазон 25-40Гц, при этом доля продольных колебаний в общем балансе энергии собственных колебаний составляет 1-5%. В результате натуральных динамических испытаний установлено, что для конструкций укосных шахтных копров логарифмический декремент затухания составляет 0,28-0,3. Сравнительно высокие значения коэффициентов затухания металлических конструкций копров обусловлены поглощением энергии колебательного движения копровыми шкивами вследствие низкой собственной частоты, а также трения подъёмных канатов об футеровку шкивов.

Влияние факторов аварийной ситуации

При увеличении жёсткости и прочности случайного препятствия амплитуда суммарного натяжения ветвей увеличивается и достигает максимального значения при абсолютно жёстком препятствии с прочностью, значительно превышающей усилие разрыва подъёмного каната (см. рис. 6). Таким образом, расчётные параметры особых нагрузок необходимо определять для случая внезапной остановки на

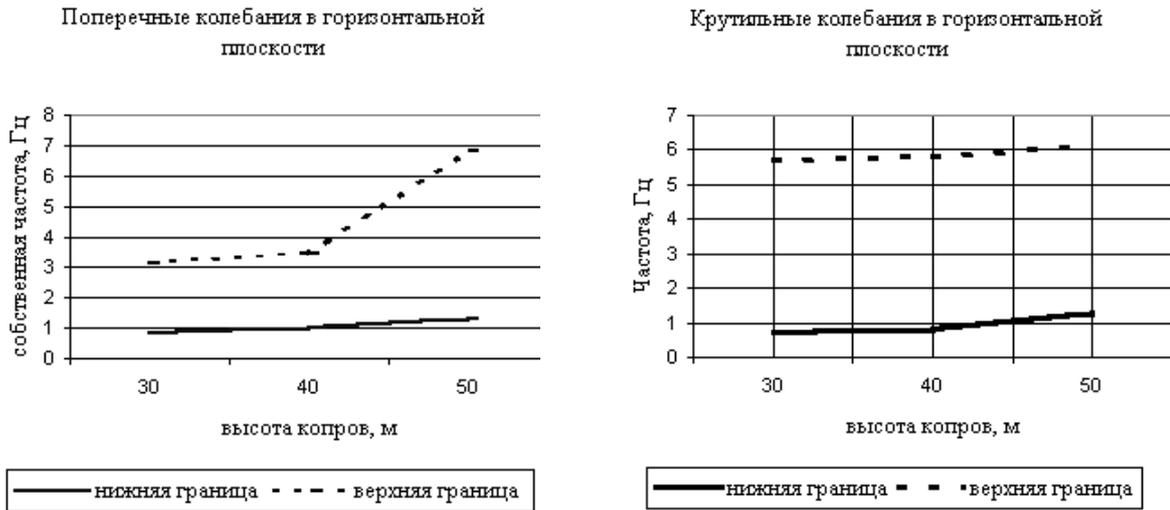


Рис. 5. Зависимость диапазонов спектра собственных частот от высоты шахтных копров.

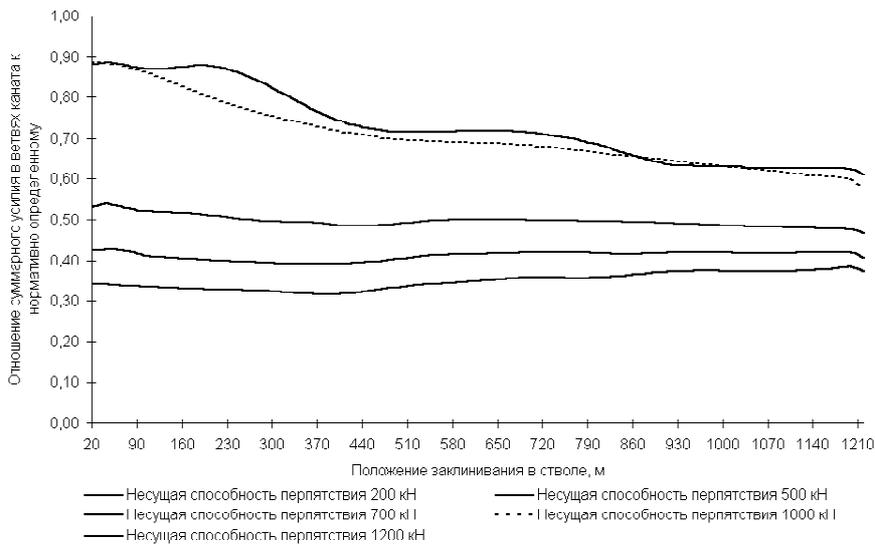


Рис. 6. Зависимость относительных значений амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната от прочности и жёсткости случайного препятствия (импульс количества движения вращающихся частей подъёмной машины 6529 кН*с).

абсолютно жёстком препятствии с прочностью, значительно превышающей усилие разрыва подъёмного каната, поскольку этот случай является предельным.

На рис. 7 представлены результаты исследования зависимости суммарного амплитудного значения усилий в ветвях подъёмного каната от скорости подъёма и положения аварии по высоте ствола для крупной подъёмной машины ШМП 1-6.3-6.0. В результате численных экспериментов установлено, что амплитудное

значение суммарного усилия в ветвях подъёмного каната существенно зависит как от скорости подъёма, так и от положения аварии в шахтном стволе. Так, для подъёмной машины ШМП 1-6.3-6.0 при скорости движения подъёмного сосуда менее 6 м/с значения амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната, полученные в результате численного эксперимента, меньше значений, определённых по нормативной методике на 10-60%, и разрыв подъёмного каната не происходит. При скоро-

Отношение расчётных амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната к нормативным значениям в зависимости от длины зацеплённой ветви при различных скоростях подъёма (подъёмная машина ШПМ 1-6.3-6.0, разрывное усилие каната 340тс, высота подъёма 700м)

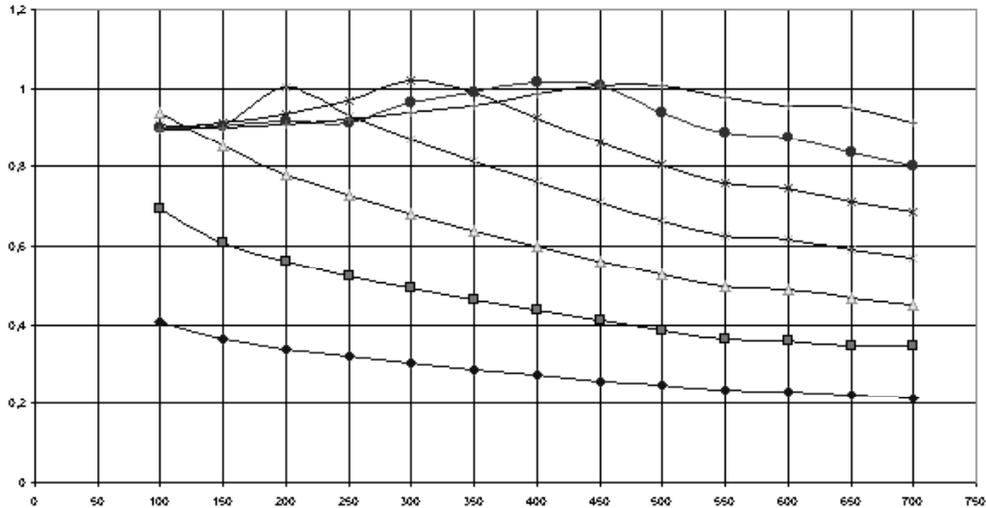


Рис. 7. Зависимость отношения амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната к нормативному значению от скорости подъёма и положения аварии в шахтном стволе.

сти подъёма 8-14 м/с разрыв подъёмного каната происходит, а значения амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната превышают нормативные значения на 5-15%. Для каждой скорости подъёма максимальные значения амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната возникают при различных положениях аварии в шахтном стволе (длина разрываемой ветви изменяется от 300 м ($V=8$ м/с) до 550 м ($V=14$ м/с)).

При импульсе количества движения вращающихся масс подъёмной машины достаточном для разрыва подъёмного каната, максимальное значение амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната реализуется для случая, когда длина зацеплённой ветви подъёмного каната близка к максимальной длине, при которой разрыв ещё возможен. Если импульс количества движения вращающихся масс подъёмной машины недостаточен для разрыва подъёмного каната, максимальное значение амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната реализуется для случая возможной наименьшей длины зацеплённой ветви, то есть, когда внезапная остановка поднимающегося сосуда происходит на уровне подкопровой рамы.

Влияние технических характеристик подъёмных установок

На рис. 8 приведены результаты численных экспериментов по исследованию влияния технических характеристик подъёмных машин на параметры особых нагрузок при внезапной остановке поднимающегося сосуда на препятствии с предельными характеристиками прочности и жёсткости. На графиках представлены зависимости отношений максимальных амплитуд усилий в ветвях подъёмного каната к нормативно определённым значениям, для подъёмных машин с диаметром барабана от 2 м до 9 м, при варьировании положения внезапной остановки поднимающегося сосуда по высоте ствола. В соответствии с приведенными результатами максимальное значение амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната при номинальных скоростях подъёма для крупных подъёмных машин могут превышать нормативные определённые значения особых нагрузок на 10-15%. Для малых подъёмных машин максимальные значения амплитуд суммарных усилий не превышают нормативно определённые значения, а в ряде случаев меньше на 15-20%. Поскольку в зависимости от назначения подъёмной установки скорость подъёма может

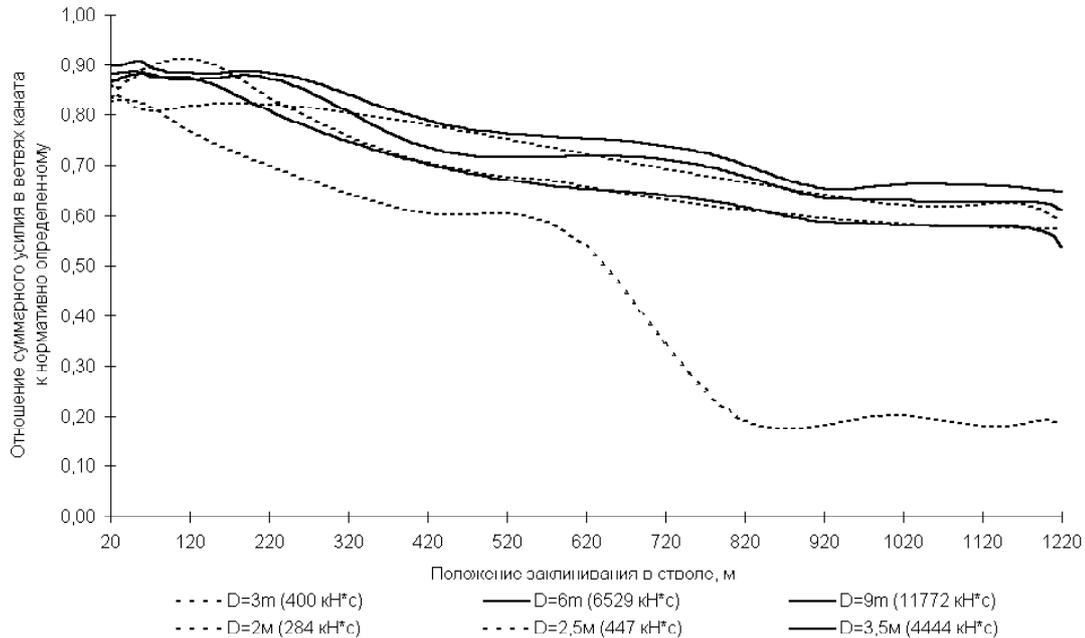


Рис. 8. Зависимость относительных максимальных значений амплитуд суммарного усилия в ветвях подъёмного каната от технических характеристик подъёмных машин.

значительно отличаться от номинальной в меньшую сторону, в действительности для людских и грузо-людских подъёмных установок максимальные значения амплитуды суммарного натяжения ветвей подъёмного каната могут отличаться в меньшую сторону от определённых по нормативной методике на 20-30%, а в ряде случаев для малых подъёмных машин разрыв подъёмного каната вообще не возможен.

Влияние факторов динамических характеристик конструкций шахтных копров

В результате математического моделирования особых нагрузок от защемления поднимающегося сосуда при варьировании факторов влияния установлены четыре типа сочетаний импульсивных нагрузок от натяжения ветвей подъёмного каната (см. рис. 6). Типы «А» и «В» соответствуют случаю разрыва защемлённой ветви, типам «С» и «D» соответствуют случаи, когда разрыв подъёмного каната не происходит. Типы «А» и «С» по характеру изменения усилия натяжения защемлённой ветви во времени являются импульсивными, а типы «В» и «D» — повторно импульсивными. Общая продолжи-

тельность нагружений при различных условиях составляет: для типа «А» - 0,1-0,4 с; для типа «С» - 0,6-1,8 с; для типа «В» - 0,3-0,8 с; для типа «D» - 0,6-1,8 с. Типы «А» и «С» характерны для длин защемлённой ветви подъёмного каната 75-500 м, типы «В» и «D» для длин защемлённой ветви 400-1500 м. Общая продолжительность особого нагружения (от момента защемления сосуда до остановки барабана подъёмной машины) ограничивается временем срабатывания системы аварийного торможения или моментом срабатывания шахтного парашюта. В случае срабатывания шахтного парашюта общая продолжительность нагружений составляет 1,5-3,5 с, при отсутствии шахтного парашюта общая продолжительность нагружений превышает 5 с. Поскольку нижняя граница собственных частот поперечных колебаний укосных копров изменяется в пределах 1-2 Гц, для всех типов сочетаний импульсивных нагрузок выполняются условия: $0,1 < \tau / T_{1y} < 2,5$; $0,1 < \tau / T_{10} < 2,5$; $\tau / T_{1z} > 2,5$ (где: τ – продолжительность импульса; T_{1y} , T_{10} , T_{1z} – периоды наиболее низких частот: поперечных; крутильных; продольных, - свободных колебаний копров). Вследствие этого, при воздействии на конструкции шахтных копров особых нагрузок

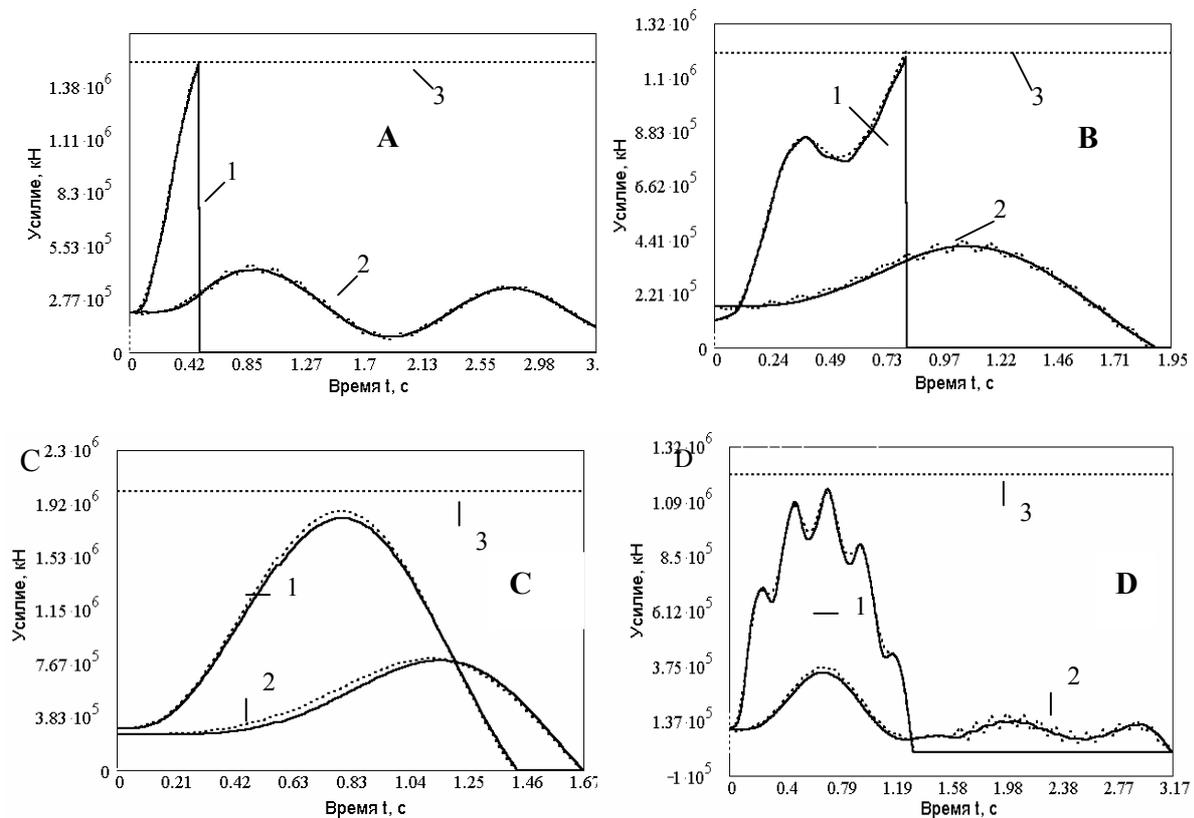


Рис. 6. Характерные типы сочетаний импульсивных нагрузок от натяжения ветвей подъёмного каната при заклинивании поднимающегося сосуда: 1 – усилие в защемлённой ветви; 2 – усилие в смежной ветви; 3 – значение усилия разрыва подъёмного каната.

для горизонтальных составляющих сил от натяжения подъёмных канатов в пределах периода собственных колебаний возможно возникновение существенных сил инерции, а для вертикальных составляющих – реакция сооружения зависит только от амплитудных значений действующих сил.

Для горизонтальной составляющей равнодействующей от натяжения защемлённой ветви подъёмного каната для шахтных копров с различными техническими характеристиками коэффициент динамичности составляет диапазон от 1,15 до 1,6. Для момента в горизонтальной плоскости от разности горизонтальных составляющих защемлённой и смежной ветви подъёмного каната (при расположении направляющих шкивов на одном уровне) 1,2-1,65. Максимальные динамические перемещения сооружения по направлению горизонтальной составляющей и моментов приведения главного вектора особой нагрузки, как правило, по времени не совпадают с амплитудным значени-

ем главного вектора и вследствие этого влияние сил инерции на максимальные напряжения в основных конструктивных элементах копра не превышает 5-15%.

Расчётные параметры особых нагрузок

Амплитудные значения суммарного натяжения и соответствующие разности натяжения ветвей подъёмного каната являются основными параметрами особой нагрузки. Величина сил инерции в составе особой нагрузки зависит от продолжительности нагружений и характера изменения нагрузки во времени, а также частот поперечных колебаний сооружения, и составляет 5...15% от амплитудного значения главного вектора равнодействующих усилий в ветвях подъёмного каната. Расчётные параметры особых нагрузок существенно зависят от следующих факторов: жёсткости и прочности случайного препятствия; высоты подъёма; усилия разрыва подъёмного каната; максимальной

разности статических натяжений ветвей подъёмного каната; массы всех вращающихся частей подъёмной машины, приведенной к диаметру барабана; скорости и тахограммы подъёма; основные периоды собственных колебаний в поперечном направлении в горизонтальной плоскости (по направлению горизонтальной составляющей главного вектора особой нагрузки и моментов приведения).

Принципы определения расчётных параметров особых нагрузок

На основании анализа и обобщения результатов математического моделирования динамического поведения механической системы «шахтная подъёмная установка – конструкции шахтного копра» при внезапной остановке поднимающегося сосуда установлены следующие принципы определения расчётных параметров особых нагрузок:

- определение расчётных параметров особых нагрузок сводится к определению максимального значения амплитуды суммарного усилия и соответствующей разности усилий натяжения ветвей подъёмного каната при внезапной остановке поднимающегося сосуда на абсолютно жёстком препятствии в зависимости от следующих факторов: положение препятствия в шахтном стволе; усилия разрыва подъёмного каната; номинальной скорости подъёма; массы всех вращающихся частей подъёмной машины, приведенной к радиусу барабана; осевой жёсткости подъёмного каната;
- если импульс количества движения вращающихся масс подъёмной машины достаточен для разрыва подъёмного каната, максимальные значения амплитуд суммарных усилий в ветвях подъёмного каната возникают при критических значениях длины разрываемой ветви, которая предварительно определяется по следующей формуле:

$$\ell_{кр} \approx \left(\frac{S_p}{V} \right)^2 \frac{1}{E_k F_k m_0},$$

где: S_p – усилие разрыва подъёмного каната; V – номинальная скорость подъёма; E_k – модуль Юнга подъёмного каната; F_k – пло-

щадь сечения подъёмного каната; m_0 – масса всех вращающихся частей подъёмной машины, приведенная к радиусу барабана подъёмной машины;

- путём варьирования длины разрываемой ветви вблизи критического значения с шагом не более 10% высоты подъёма, определяется максимальное (для рассматриваемой подъёмной установки) амплитудное значение суммарного натяжения ветвей подъёмного каната и соответствующее значение разности натяжения разрываемой и смежной ветвей;
- если технические характеристики подъёмной установки таковы, что разрыв подъёмного каната невозможен, в этом случае наиболее неблагоприятная особая нагрузка соответствует случаю внезапной остановки поднимающегося сосуда вблизи устья ствола в точке, которая на тахограмме подъёма соответствует началу торможения, или на уровне верха подкопровой рамы;
- по установленным максимальным значениям амплитуды суммарного усилия и соответствующей разности усилий в ветвях подъёмного каната определяются переменные во времени главный вектор и моменты приведения особой нагрузки, приложенные к центру приведения масс сооружения на уровне опирания направляющих шкивов (для случая расположения шкивов на одном уровне – «рядом»), или к двум главным векторам и соответствующим моментам приведения (для случая расположения шкивов на разных уровнях – «один над другим»);
- для установленного случая внезапной остановки поднимающегося сосуда, дающего максимальные значения амплитуды суммарного усилия в ветвях подъёмного каната по диаграммам ускорений перемещений приведенных масс сооружения, определяются значения векторов инерционной нагрузки, соответствующие моменту времени возникновения амплитудного значения суммарного усилия, которые суммируются с главным вектором нагрузки от натяжения ветвей подъёмного каната;
- полученные суммарные значения главного вектора нагрузки и моментов приведения с векторами сил инерции, раскладываются на

векторы равнодействующих натяжения разрываемой и смежной ветвей подъёмного каната;

- равнодействующие от натяжения ветвей подъёмного каната по схеме статических реакций прикладываются к узлам опирания направляющих шкивов, после этого производится расчёт сооружения по расчётной схеме пространственной стержневой системы;
- при расчёте конструкций укосных копров необходимо рассматривать два варианта особого нагружения: защемление верхней и нижней ветви подъёмного каната, - поскольку защемление верхней ветви даёт максимальное значение вертикальной составляющей главного вектора нагрузки, а защемление нижней ветви максимальное значение - горизонтальной составляющей.

Заключение

1. Нормативная методика определения особых нагрузок укосных шахтных копров, основанная на учёте двух параметров: усилие разрыва подъёмного каната и рабочее натяжение опускающейся ветви, неточна. Расчёт по нормативной методике для копров людских и грузо-людских подъёмов даёт на 20-30% завышенные значения расчётных усилий в конструктивных элементах, а в ряде случаев для копров скиповых подъёмов даёт заниженные на 10-15% значения расчётных усилий.
2. Расчётные значения особых нагрузок конструкций шахтных копров от внезапной остановки поднимающегося сосуда могут быть существенно уточнены путём учёта основных факторов влияния: условий аварийной ситуации; технических характеристик подъёмной машины; динамических характеристик конструкций шахтного копра.
3. Использование изложенных в данной статье принципов определения расчётных параметров особых нагрузок позволяет более точно в сравнении с нормативной методикой определять максимально возможные усилия в конструктивных элементах шахтных копров, что в ряде случаев для эксплуатируемых сооружений позволяет выявить

скрытые резервы несущей способности, а для вновь проектируемых сооружений более точно осуществлять подбор сечения конструктивных элементов.

Литература

1. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. — К.: Госуглепром Украины, 1994.-68с.
2. ВСН 46-75. Инструкция по определению нагрузок на здания и сооружения предприятий угольной промышленности. — Донецк: Промстройниипроект, 1977. — 89с.
3. Указания по определению нормативных нагрузок и коэффициентов перегрузки для надшахтных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности. — К.: Будівельник, 1964. — 81с.
4. Бровман Я.В. Надшахтные копры. — М.: Гостехиздат, 1961.—239с.
5. Розенблит Г.Л. Стальные конструкции зданий и сооружений угольной промышленности. — М.: Углетехиздат. 1953. - 272с.
6. Максимов А.П. Горнотехнические здания и сооружения. — 3-е изд.-М.: Недра. 1970. — 313с.
7. Балкарей И.М., Колтакова Г.В. Колебания укосных копров при экстренном разрыве шахтного подъёмного каната // Динамика и прочность строительных конструкций строительных конструкций. — К.: Будівельник. — 1967. — С. 50-64.
8. Ткач А.А. Определение экстренных усилий в многоканатной подъёмной установке // Горная механика. Сборник научных трудов (НИИГМ им. М.М. Фёдорова). Вып. 1. часть 1. — Донецк, 1991. — С. 102-109.
8. Ткач А.А. Влияние упругости укосного копра на величину экстренных усилий в канатах шахтной подъёмной установки // Горная механика. Сборник научных трудов (НИИГМ им. М.М. Фёдорова). Вып. 1. часть 1. — Донецк, 1991. — С. 110-116.
9. Горохов Е.В., Куценко В.Н., Дворников В.И., Кострицкий А.С. Особенности динамического поведения шахтных копров при воздействии аварийных нагрузок // Вісник ДДАБА 2001-4 (23). Том 1. — С. 112-120.
10. Куценко В.Н., Кострицкий А.С., Некрасов Ю.П. Методика и результаты динамических испытаний укосного шахтного копра // Вісник ДДАБА 2003-2 (39). Том 1. — С. 140-147.
11. Бескопыльный В.С. Исследование некоторых вопросов защиты подъёмных установок при зависании сосудов: Автореф. дисс. канд. техн. наук. — Днепропетровск, 1975. — 23 с.
12. Куценко В.Н., Дворников В.И., Кострицкий А.С. Влияние технологических факторов и условий аварийных ситуаций на параметры особых нагрузений конструкций шахтных копров при зак-

ливания сосуда // Вісник ДДАБА 2001-4 (28).
Том 2 "Будівельні конструкції та споруди". – С.
39-44.

13. Кущенко В.Н., Кострицкий А.С. Методика математического моделирования особых нагрузок

на конструкции шахтных копров от заклинивания поднимающейся клетки // Вісник ДДАБА 2004-2(44).- С. 35-43.

Кущенко Володимир Миколайович є доцентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи та удосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій гірничотехнічних споруд.

Кущенко Владимир Николаевич является доцентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: исследование действительной работы и совершенствование методов расчёта строительных конструкций горнотехнических сооружений.

Kushchenko Volodymyr is an Associate Professor of Metal Structures department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Constructions. Scientific concerns: research of real activity and perfecting methods of calculation of building designs of mine technical facilities.

