



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

N1, ТОМ 16 (2010) 19-30

УДК 624.96: 624.07

(10)-0205-1

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОЗНАК ШАХТНИХ КОПРІВ НА ХАРАКТЕР ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД ТЯЖІННЯ ПІДЕМНИХ КАНАТІВ

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 20 січня 2010; прийнята 22 січня 2010

Анотація. В статті рассмотрено влияние технологических признаков шахтных подъёмных установок на динамические нагрузки от натяжения подъёмных канатов конструкций укосных шахтных копров. Выполнен анализ условий потери динамической устойчивости шахтных копров, определены конструктивные ограничения, направленные на предотвращение резонансных явлений. На основании анализа данных динамических испытаний шахтных копров установлено, что максимальные усилия в подъёмных канатах возникает в начале подъёма груженого сосуда. В качестве расчётной ситуации для определения нагрузок от натяжения подъёмных канатов следует рассматривать: а) для клетевых подъёмных установок — снятие гружёной клетки с загрузочного устройства; б) для скиповых подъёмных установок — ускоренное движение подъёмной машины. Для расчётных ситуаций установлены коэффициенты динамичности и приведены формулы для определения расчётных усилий в подъёмных канатах, которые учитывают динамический характер нагрузок. Приведены характеристики циклов динамических напряжений, необходимые для проверки усталостной прочности стальных конструкций шахтных копров.

Ключові слова: ожеледі навантаження, повітряні лінії електропередачі, автоматизований метеопост.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ШАХТНЫХ КОПРОВ НА ХАРАКТЕР ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОТ НАТЯЖЕНИЯ ПОДЪЁМНЫХ КАНАТОВ

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 20 января 2010; принята 22 января 2010

Аннотация. В статье рассмотрено влияние технологических признаков шахтных подъёмных установок на динамические нагрузки от натяжения подъёмных канатов конструкций укосных шахтных копров. Выполнен анализ условий потери динамической устойчивости шахтных копров, определены конструктивные ограничения, направленные на предотвращение резонансных явлений. На основании анализа данных динамических испытаний шахтных копров установлено, что максимальные усилия в подъёмных канатах возникают в начале подъёма груженого сосуда. В качестве расчётной ситуации для определения нагрузок от натяжения подъёмных канатов следует рассматривать: а) для клетевых подъёмных установок — снятие гружёной клетки с загрузочного устройства; б) для скиповых подъёмных установок — ускоренное

движение подъёмной машины. Для расчётных ситуаций установлены коэффициенты динамичности и приведены формулы для определения расчётных усилий в подъёмных канатах, которые учитывают динамический характер нагрузок. Приведены характеристики циклов динамических напряжений, необходимые для проверки усталостной прочности стальных конструкций шахтных копров.

Ключевые слова: шахтные копры; технологические признаки, динамические нагрузки; динамическая устойчивость; усталостная прочность.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE OPERATING FEATURES OF SHAFT HEADGEARS ON THE CHARACTER OF DYNAMIC LOADS OF LIFTING CABLE TENSION

V. N. 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 January 2010; accepted 22 January 2010

Abstract. There is considered an influence of operating features of mine winders on dynamic loads of lifting cable tension of shaft headgear stay legs. There were analyzed the conditions which cause losses of shaft headgear dynamic stability, design constraints aimed at the prevention of resonant phenomena were specified. On the base of the analysis of the data of the dynamic test of shaft headgears there was found out that maximum efforts in the lifting cables occur at the beginning of lifting a loaded vessel. The following should be considered as a design situation for specifying loads of lifting cable tension: a) for cage hoists - taking a loaded cage off the load mechanism; b) for skip hoists - a hoist engine accelerated motion. For design situations there are found out dynamic factors and there are given the formulas for determining rated forces in lifting cables which take into account the dynamic character of loads. There are given features of the dynamic stress cycles which are necessary for controlling fatigue strength of shaft headgear steel structures.

Keywords: shaft headgears, operating features, dynamic loads, dynamic stability, fatigue strength.

Конструкции шахтных копров (см. рис. 1) являются одним из наиболее ответственных видов надшахтных сооружений [1, 2, 3, 4]. Конструкции копров в составе шахтных подъёмных установок обеспечивают: а) вертикальный транспорт между поверхностью и горными выработками; б) вентиляцию шахты; в) функционирование систем безопасности подъёмной установки. Разрушение или функциональный отказ конструкций шахтных копров приводит к значительному экономическому ущербу или катастрофическим последствиям. Таким образом, изучение действительной работы и совершенствование методов расчёта конструкций шахтных копров является актуальной темой научных исследований [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

По типу подъёмных сосудов в зависимости от технологического назначения различают копры клетевых и скиповых подъёмов [1, 2]. В конструктивном отношении шахтные копры

представляют собой пространственные стержневые системы. Материал основных несущих конструкций — сталь и железобетон. Высота и металлоёмкость шахтного копра зависит от следующих технических параметров шахтной подъёмной установки: а) высоты подъёма; б) разрывного усилия подъёмного каната; в) технологического назначения [1, 2, 3, 4]. В данной статье рассматриваются стальные конструкции укосных шахтных копров с различными технологическими признаками, оборудованные подъёмными машинами барабанного типа.

Нагрузки от натяжения подъёмных канатов являются основным видом технологических нагрузок шахтных копров [1, 2, 3, 4]. Для одноконцевой подъёмной установки нагрузка от натяжения подъёмного каната состоит из одной равнодействующей, которая линейно зависит от внутренних усилий в отвесной и наклонной части подъёмного каната (см. рис. 2, а).

а)



б)



в)



г)



Рис. 1. Конструктивные формы укосных шахтных копров: а — копер клетового подъёма рамной системы; б — копер клетового подъёма станковой системы; в — копёр скипового подъёма комбинированной системы; г) рамный комбинированный копёр скипового подъёма.

Поскольку силы сопротивления в подшипниках вращающегося шкива незначительны (не более 2%), внутренние усилия S в отвесной и наклонной части подъёмного каната можно полагать равными между собой, тогда равнодействующая определяется следующей формулой:

$$R = 1,414S\sqrt{(1 + \sin \delta)}, \quad (1)$$

где: α — угол наклона струны подъёмного каната;

S — внутреннее усилие в подъёмном канате, Н.

Для двухконцевой подъёмной установки, оборудованной подъёмной машиной барабанного типа, нагрузка от натяжения подъёмных канатов состоит из двух равнодействующих, имеющих отличия в углах наклона к вертикали $2,5...3,5^\circ$. Поскольку при движении подъёмной машины усилия в подъёмных канатах имеют динамический характер, массы копра совершают вынужденные колебания [4, 5, 6, 7]. В

настоящее время при расчёте несущих конструкций шахтных копров расчётная нагрузка от натяжения подъёмных канатов определяется по условной схеме как статическая и представляет собой сумму расчётных значений статических натяжений ветвей подъёмного каната, сил сопротивления движения подъёмного сосуда в шахтном стволе и сил инерции в момент ускоренного движения подъёмной машины. В качестве расчётной ситуации рассматривается равноускоренное движение подъёмной машины с гружёными подъёмными сосудами. Указанная расчётная ситуация принимается независимо от технологического назначения шахтных копров, т.е. для копров скиповых и клетевых подъёмов без существенных отличий.

Существенным недостатком нормативной методики определения нагрузок от рабочего натяжения подъёмных канатов является пренебрежение динамическими усилиями от вынужденных колебаний в механической системе

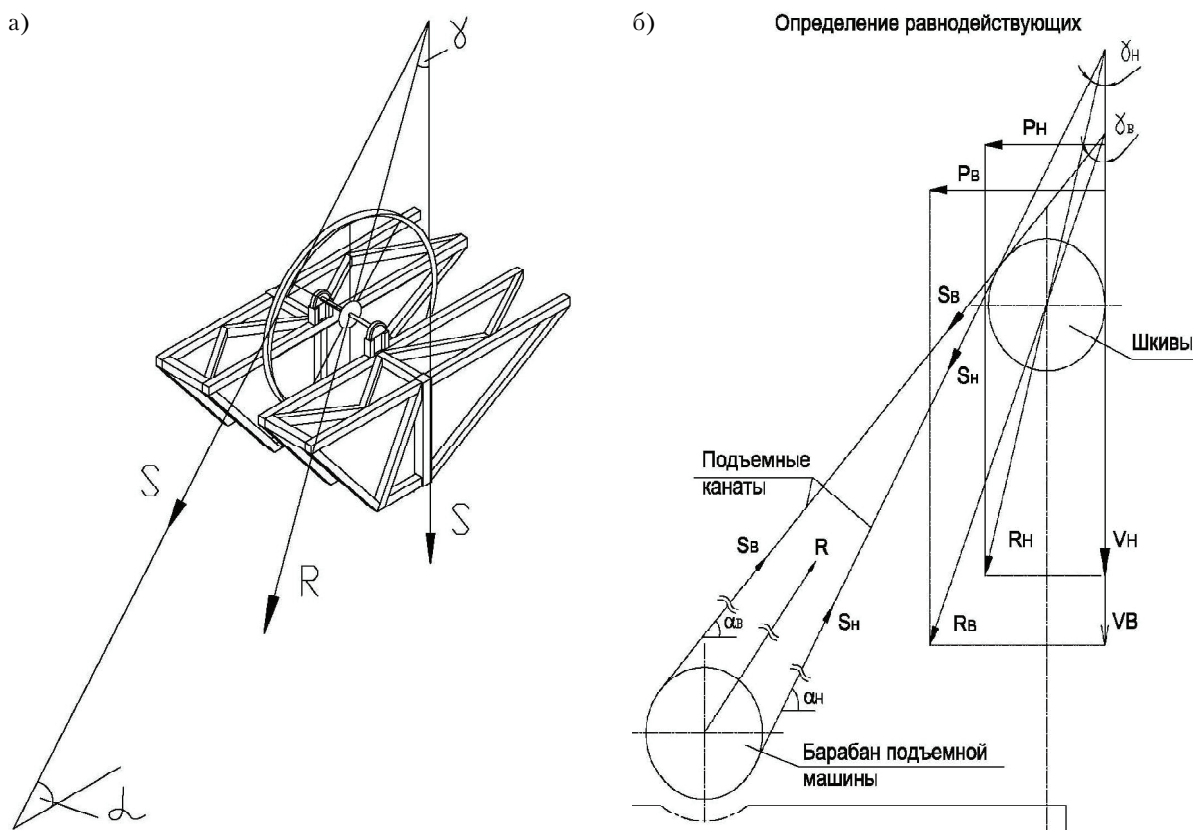


Рис. 2. Схема передачи нагрузки от натяжения подъёмного каната: а — для одного направляющего шкива; б — для двух направляющих шкивов.

"сосуд — канат — копёр". Пренебрежение динамическим характером усилий в подъёмных канатах может являться причиной недостаточно точного расчёта конструкций шахтных копров. Например, пользуясь современной нормативной методикой определения нагрузок от натяжения подъёмных канатов, невозможно выполнить проверку усталостной прочности конструкций шахтных копров в соответствии с требованиями [17]. Совпадение частот динамических нагрузок с собственными частотами конструкций шахтных копров может привести к резонансным явлениям и, как следствие, к потере динамической устойчивости сооружений, недопустимым амплитудам вибраций и появлению усталостных повреждений [4]. Обследование конструкций шахтных копров в ряде случаев показало наличие эксплуатационных повреждений усталостного характера [8].

В экспериментальных и теоретических работах [4, 5, 6, 7] установлен динамический характер нагрузок шахтных копров. В работах [4, 6] приведены результаты динамических испытаний конструкций шахтных копров и предложены новые аналитические модели для определения расчётных нагрузок от натяжения подъёмных канатов при работе подъёмной машины. Однако в настоящее время в литературных источниках отсутствует обобщение экспериментальных и теоретических исследований в указанном направлении. Целью данной работы является анализ влияния технологических признаков шахтных копров на характер динамических нагрузок от натяжения подъёмных канатов. Данная статья является обобщающей по отношению к работам автора [4-8].

Для достижения поставленной цели применялись следующие методы исследования: экспериментальные методы при динамических испытаниях копров; методы математической статистики для обработки экспериментальных данных; методы классической механики при аналитическом описании нагрузок от натяжения подъёмных канатов.

Основными технологическими признаками конструкций шахтных копров являются: назначение подъёмной установки (людская, грузоподъемная, грузовая); тип подъёмного сосуда (клетки или скип); признак уравниваемости подъёмной машины (наличие хвостового кана-

та или противовеса в случае одноконцевого подъёма). Рабочий цикл шахтных подъёмных установок состоит из загрузки подъёмного сосуда, движения в соответствии с заданной тахограммой и разгрузкой подъёмного сосуда. Количество рабочих циклов за сутки зависит от технологического назначения шахтной подъёмной установки и может составлять $1 \cdot 10^2 \dots 1 \cdot 10^3$. Цикл работы шахтной подъёмной установки разделяется на следующие стадии: а) загрузка подъёмных сосудов и манёвры на уровне загрузочных устройств; б) снятие с посадочных устройств; в) ускоренное движение подъёмной машины; г) движение подъёмной машины с постоянной скоростью; д) торможение подъёмной машины. Отличие циклов работы клетевых и скиповых подъёмных установок состоит в том, что на клетевых подъёмных установках возможно одновременное движение загруженных сосудов вверх и вниз, а на скиповых — загружен только поднимающийся сосуд. На уравновешенных подъёмных установках при определении усилий в ветвях подъёмного каната учитывается вес хвостовых канатов. Ускорение и замедление для шахтных подъёмных установок составляют: 1) для клетевых подъёмных установок — $0,6 \dots 0,75 \text{ м/с}^2$; 2) для скиповых подъёмных установок — $0,7 \dots 1 \text{ м/с}^2$. Скорость движения подъёмных сосудов в зависимости от глубины и назначения ствола составляет: $5 \dots 16 \text{ м/с}$. Максимальная скорость подъёма при транспортировке людей — 12 м/с . В результате динамических процессов в системе привода подъёмной машины, а также сложных динамических явлений при взаимодействии движущихся подъёмных сосудов с элементами армировки шахтного ствола, в процессе работы подъёмной машины сосуды совместно с ветвями подъёмного каната совершают вынужденные колебания относительно динамического положения равновесия [12]. Таким образом, в процессе работы подъёмной машины в ветвях и струнах подъёмного каната возникают переменные усилия, которые представляют собой сумму статических и динамических сил [7, 13]. Статические усилия в подъёмных канатах возникают от веса подъёмных сосудов и веса полезного груза. Динамическая составляющая усилий в ветвях каната включает: переменный вес подъёмного каната; переменную величину веса

полезного груза при загрузке или разгрузке подъёмного сосуда; силы инерции при разгоне или торможении подъёмной машины; усилия от вынужденных колебаний подъёмных сосудов и канатов. На величину динамических усилий в ветвях подъёмного каната оказывают влияние следующие факторы: а) технические характеристики подъёмной машины; тахограмма движения подъёмных сосудов; тип загрузочно-разгрузочных устройств; б) состояние армировки шахтного ствола. Влияние большого числа факторов, обладающих переменным характером, определяет случайный характер колебаний в системе "сосуд — подъёмный канат".

На рис. 3 приведены виброграммы вынужденных поперечных колебаний конструкций шахтных копров для полного цикла работы клетевой (рис. 3а) и скиповой (рис. 3б) подъёмных

установок. Сравнительное рассмотрение виброграмм копров клетёвого и скипового подъёма показывает как в первом, так и во втором случае наличие пяти основных этапов действия динамической нагрузки, которые характеризуются различной амплитудой вынужденных колебаний.

Для копров клетёвых и скиповых подъёмов максимальные значения амплитуд вынужденных колебаний наблюдаются на первом и втором этапах цикла подъёма, т.е. в начале ускоренного движения подъёмной машины. Однако для клетёвых копров на этой стадии коэффициент динамичности нагрузки от натяжения подъёмного каната значительно больше, чем для копра клетёвого подъёма. Что является характерным в связи с различием технологии загрузки клетей и скипов. Клетки загружаются на подкулачных балках, и в связи с этим, в начале

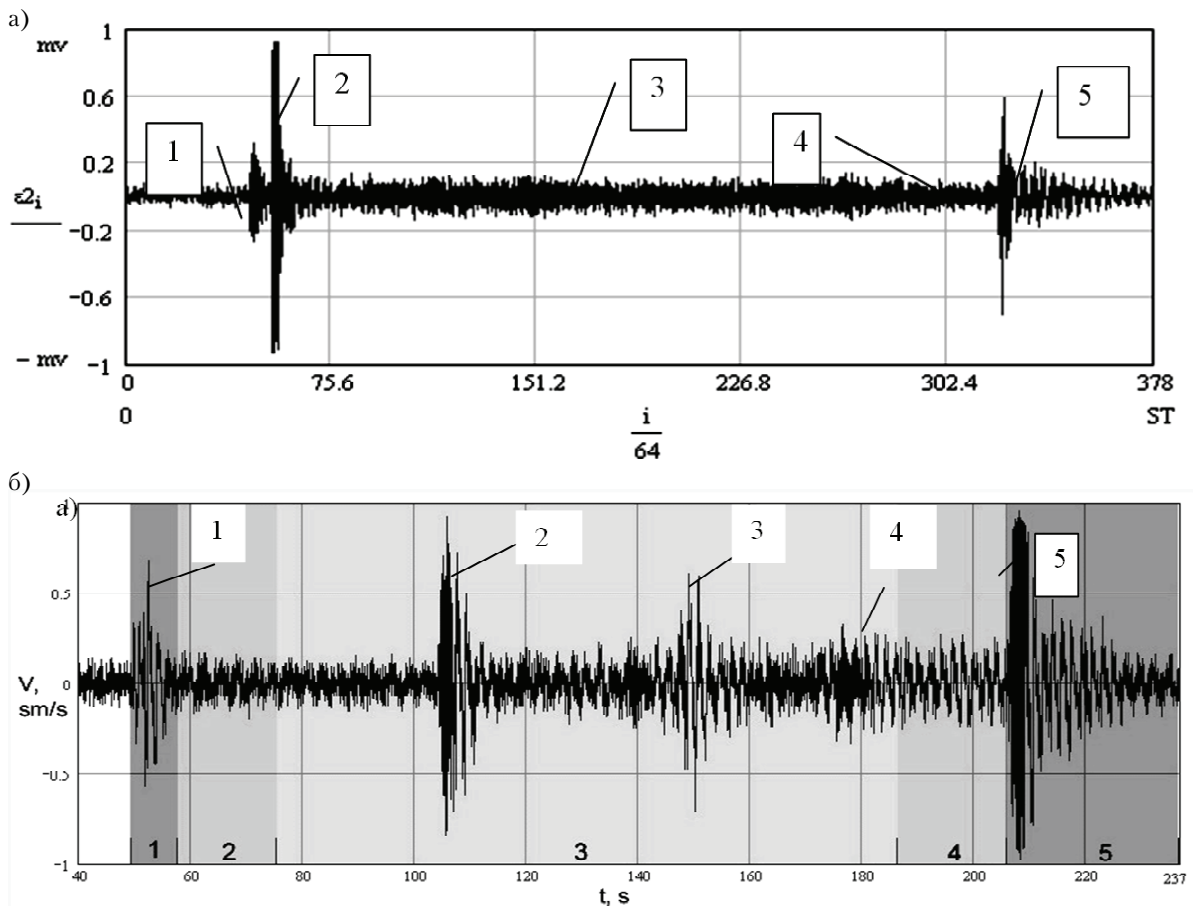


Рис. 3. Виброграмма вынужденных поперечных колебаний полного рабочего цикла укосных шахтных копров: а — скиповой подъёмной установки; б — клетёвой подъёмной установки скипового подъёма (1 — загрузка и начало движения; 2 — ускоренное движение; 3 — равномерное движение; 4 — торможение; 5 — разгрузка сосудов).

движения происходит отрыв клетки с посадочного устройства и соответственно внезапное приложение нагрузки. По этой причине для копров клетевых подъёмов является характерным наличие импульсивных нагрузок в начале подъёма (рис. 3а этапы 1, 2). В настоящее время применяются скипы с секторным затвором, которые загружаются на весу, поэтому для скиповых подъёмных установок эффект внезапного приложения нагрузки отсутствует. В ряде случаев во время равномерного движения подъёмной машины на виброграмме вынужденных колебаний копров (рис. 3б этап 3) наблюдается характерное биение, которое соответствует сближению круговой частоты вращения направляющего шкива с переменным значением тона частоты собственных колебаний подъёмных сосудов. Этот эффект наблюдается на копрах как скиповых, так и клетевых подъёмов [4]. Сам по себе этот факт объясняет наблюдавшиеся случаи резонансов шахтных копров и связанные с этим их функциональные отказы. Причина этих явлений заключается в совпадении частоты биения подъёмного сосуда с одной из собственных частот конструкций шахтного копра [4].

Для исключения возможности резонансов самая низкая собственная частота поперечных колебаний в направлении действия горизонтальной составляющей от натяжения подъёмного каната или собственная частота изгибно-крутильных колебаний укосных шахтных копров f_p , а также тон частоты собственных колебаний отдельных элементов должны удовлетворять следующему условию:

$$f_1 \geq 3V / D_{ш}, \quad (2)$$

где: V — скорость движения подъёмной машины, м/с;

$D_{ш}$ — диаметр направляющего шкива, м.

Для конструкций шахтных копров указанные частоты составляют диапазон 1,5-3 Гц, то есть нижняя граница указанного диапазона близка к условию резонанса, вследствие этого неравенство (2) при проектировании копров следует рассматривать как конструктивное ограничение.

В связи с возможностью резонансов для конструкций шахтных копров возникает вопрос об их динамической устойчивости, который применительно к башенным копрам рассмот-

рен в работе [14]. Периодически изменяющееся продольное сжимающее усилие в стержне возбуждает поперечные колебания, которые при резонансных явлениях могут стать причиной потери общей динамической устойчивости сжатого элемента (параметрического резонанса) [15, 16]. Поскольку переменная составляющая внутреннего продольного усилия является параметром отклонения стржня в поперечном направлении, это явление называют параметрическим резонансом. Характерным для явления потери динамической устойчивости является наличие для одного значения статической составляющей внутренних сил интервала частот периодически изменяющейся продольной силы [16]. Для стержней разрешающее уравнение Матье-Хила имеет следующий вид:

$$f_n + \omega_n^2 \left(1 - \frac{N_1}{N_3}\right) (1 - 2\mu \cos \theta) f_n = 0, \quad (3)$$

где ω — собственные частоты колебания стержня, рад/с;

N_1 — статическая составляющая усилия в стержне, Н;

N_3 — критическая Эйлера сила, Н;

$\mu = \frac{N_0}{(N_3 - N_1)}$ — коэффициент возбуждения системы;

N_0 — амплитуда пульсационной составляющей продольного усилия в стержне, Н.

Решение уравнения (3) даёт области параметрических резонансов вблизи соотношения частот $\theta/2\omega = 1, 1/2, 1/3, 1/4, \dots, 1/k$, однако для реальных конструкций при анализе динамической устойчивости имеют значение низшая частота и первый обертоны [16]. Для реальных конструкций вынужденные колебания стержней происходят с рассеиванием энергии при работе диссипативных сил, в этом случае параметрический резонанс возможен только в том случае, если работа диссипативных сил будет меньше работы совершаемой пульсирующей составляющей продольной силы в стержне. Условие потери динамической устойчивости определяется критическим значением коэффициента возбуждения [16]:

$$\mu_{кр} = \frac{4\gamma}{\pi}, \quad (4)$$

где γ — логарифмический декремент затухания.

Из условия (4) следует, что область устойчивого состояния стержня определяется следующим неравенством:

$$N_0 < \frac{4\gamma}{\pi}(N_3 - N_1). \quad (5)$$

Приняв среднее значение логарифмического декремента затухания для стержневых элементов стальных конструкций укосных шахтных копров $\gamma=0,05$, после преобразований выражения (5) получим условие динамической устойчивости:

$$N_1(k_d - 1)/(N_e - N_1) < 0,064, \quad (6)$$

где k_d — коэффициент динамичности по внутреннему продольному усилию в ветвях укосины.

В связи с тем, что в укосных шахтных копрах 80-90% пульсирующей нагрузки от натяжения подъёмных канатов воспринимается укосиной,

динамическая устойчивость этих сооружений зависит от соотношения статической и динамической составляющих внутренних усилий в ветвях укосины, которое при отсутствии резонансов в системе "сосуд — канат — шкив — копёр" в среднем составляет $N_0/(N_3 - N_1)=0,01...0,03$. Таким образом, обычно для конструкций шахтных копров динамическая устойчивость обеспечена. В случае невыполнения условия (2), то есть при резонансах, это соотношение может составлять $0,04...0,12$, что указывает на возможность потери динамической устойчивости ветвей укосины. Потеря динамической устойчивости конструкций шахтных копров является весьма опасным явлением, поскольку при параметрических резонансах гистерезисное рассеивание энергии не ограничивает рост амплитуды колебаний [14].

Результаты статистического анализа экспериментальных данных об относительных амплитудах динамических усилий в подъёмных канатах, выполненного в работе [4], приведены в табл. 1. Во втором столбце табл. 1 принята следующая система обозначений:

Таблица 1. Числовые характеристики коэффициентов динамичности усилий в подъёмных канатах при различных режимах работы ШПУ.

№ п.п.	Стадия работы ШПУ	Мат- ожидание	Дисперсия	Доверительный интервал ($\beta=0,95$)	Три стандарта
1	Спуск - А	1,21	0,0122	1,15; 1,28	1,61
2	Спуск - Б	1,12	0,0052	1,09; 1,15	1,29
3	Спуск - В	1,14	0,0074	1,1; 1,18	1,43
4	Спуск - Г	1,08	0,0023	1,06; 1,1	1,24
5	Спуск - Д	1,17	0,0047	1,14; 1,20	1,40
6	Подъём - А	1,26	0,039	1,15; 1,37	1,96
7	Подъём - Б	1,12	0,0046	1,08; 1,15	1,32
8	Подъём - В	1,14	0,0055	1,11; 1,17	1,394
9	Подъём - Г	1,08	0,003	1,06; 1,1	1,27
10	Подъём - Д	1,18	0,0198	1,123; 1,24	1,66

- "Спуск", "Подъём" — направление движения рассматриваемой ветви подъёмного каната;
- "А" — манёвры и загрузка (разгрузка) подъёмных сосудов;
- "Б" — снятие с посадочных устройств;
- "В" — ускоренное движение;
- "Г" — равномерное движение;
- "Д" — замедленное движение.

В соответствии с приведенными данными, максимальные значения коэффициентов динамичности наблюдаются для клетевых подъём-

ных установок при отрыве клеток от балок грузочного устройства, и в среднем составляют 1,26...1,37, при этом, верхняя граница рассеивания определённая по правилу трёх стандартов составляет 1,96, что близко к теоретическому значению коэффициента динамичности при мгновенном приложении груза без скорости — 2...2,1. Для скиповых подъёмных установок максимальные амплитуды динамических усилий в подъёмных канатах наблюдаются при разгоне подъёмной машины, при

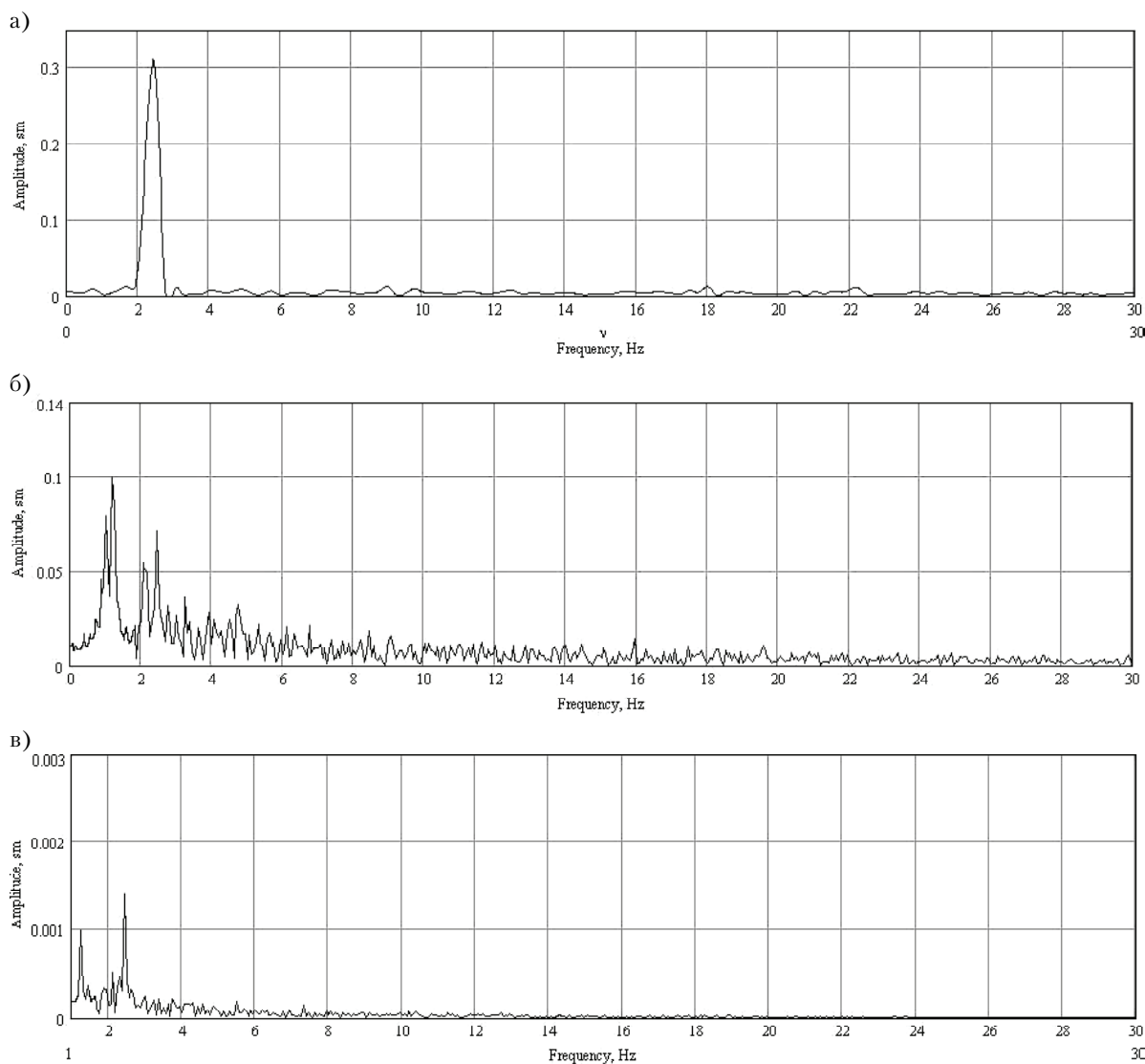


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики вынужденных колебаний клетевых копров на различных стадиях цикла работы шахтной подъёмной установки: а — снятие клетки с кулаков (поперечные колебания в направлении укосины); б — ускорение подъёмной машины (поперечные колебания в направлении укосины); в — равномерное движение (поперечные колебания в направлении укосины).

этом коэффициенты динамичности составляют следующие значения: математическое ожидание 1,14-1,18; верхняя граница рассеивания 1,43.

На рис. 4 приведены результаты спектрального анализа виброграмм поперечных колебаний укосного шахтного копра для основных этапов цикла работы подъёмной машины. Спектрограмма вынужденных колебаний на стадии снятия клетки с кулаков (см. рис. 4а) демонстрирует импульсивный характер нагружения. Это подтверждает теоретический вывод [12] о том, что величина коэффициента динамичности внутреннего усилия в подъёмном канате при манёврах клеток может достигать — 2.

На стадии ускоренного движения (см. рис. 4,б) наблюдается наиболее широкий спектр вынужденных колебаний от 0,5 до 30 Гц. Нижняя граница спектра 0,5 Гц соответствует частоте биеения шкивов и барабана подъёмной машины. Вынужденные изгибно-крутильные колебания с частотой 1,5-1,6 Гц вызваны динамическими усилиями от натяжения подъёмного каната верхнего сосуда. На амплитудно-частотной характеристике стадии равномерного движения (см. рис. 4,б) видно снижение амплитуды вынужденных колебаний копра практически по всему спектру, за исключением частоты 0,5 Гц, которая соответствует резонансу при совпадении частоты биеения направляющих шкивов с частотой тона подсистемы "сосуд — подъёмный канат".

Основываясь на приведенных экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что при расчёте шахтных копров следует рассматривать следующие расчётные ситуации:

- для клетевых подъёмов — снятие грузовой клетки с кулаков;
- для скиповых подъёмов — ускоренное движение подъёмной машины с грузом в начале подъёма.

В табл. 2 приведены числовые характеристики коэффициентов динамичности усилий в подъёмных канатах, соответствующие указанным расчётным ситуациям.

Расчётные нагрузки шахтных копров следует определять в зависимости от технологических признаков подъёмной установки по следующим формулам [4]:

- для скиповых копров:

$$S_p = S_{1p}(1,4 + a/g + S_3), \quad (7)$$

$$S_p = S_{1см}(1,45 + a/g + S_3), \quad (8)$$

- для клетевых копров:

$$S_p = S_{1p}(2 + a/g + S_3), \quad (9)$$

$$S_p = S_{1рсм}(1,65 + a/g + S_3), \quad (10)$$

где S_p , $S_{см}$ — соответственно расчётные натяжения ветви с максимальным натяжением и смежной ветви подъёмного каната, Н;

S_{1p} , $S_{рсм}$ — соответственно расчётные статические натяжения ветви с максимальным натяжением и смежной ветви подъёмного каната, Н;

S_3 — усилие сопротивление движению подъёмного сосуда в шахтном стволе, Н;

a — ускорение (замедление) движения подъёмной машины, м/с²;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Таблица 2. Данные для расчёта амплитудных значений динамической составляющей усилий натяжения подъёмных канатов.

№ п.п.	Наименование стадии работы ШПУ	$m(K_d)$	$1+\varepsilon A_{kd}$	$K_d(1+\varepsilon A_{kd})$
1	Подъём — манёвры внизу (клетевой подъём)	1,3	1,43	1,86
2	Подъём — ускоренное движение (скиповой подъём)	1,14	1,2	1,37
3	Спуск — снятие с кулаков	1,12	1,2	1,35
4	Спуск — ускоренное движение	1,14	1,23	1,4

Численные значения в формулах (7)...(10) соответствуют коэффициентам динамичности усилий натяжения подъёмных канатов. О степени влияния на напряженно-деформированное состояние конструкций шахтных копров можно судить по отношениям амплитуд динамических усилий к максимальному статическому натяжению подъёмного каната, которые для различных этапов работы подъёмной установки приведены в табл. 3 в виде значений безразмерного параметра ξ (значения отношений максимальных амплитуд динамических усилий в подъёмных канатах к максимальному статическому рабочему натяжению).

В соответствии с требованиями СНиП II-23-81* "Стальные конструкции нормы проектирования" [17] конструкции, воспринимающие вибрационные нагрузки, с количеством циклов нагружения 105 и более, требуется производить расчёт на выносливость. В соответствии с [17] для расчёта элементов стальных конструкций на выносливость требуются следующие параметры циклов динамических напряжений: 1) количество циклов нагружений n ; 2) коэффициент асимметрии напряжений. В результате статистической обработки данных динамических испытаний конструкций шахт-

ных копров с различными конструктивными и технологическими признаками установлены амплитуды динамических напряжений и коэффициенты асимметрии циклов динамических напряжений [4, 6]. Для скиповых и клетевых копров число циклов динамических напряжений составляет: $n=1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^7$, коэффициент асимметрии циклов динамических напряжений — $\rho=0,7 \dots 0,9$.

Выводы

1. Характер динамических нагрузок от натяжения подъёмных канатов конструкций шахтных копров существенно зависит от технологических признаков подъёмных установок.
2. Для копров клетевых подъёмов максимальные динамические усилия в подъёмных канатах возникают в момент отрыва клетки от загрузочного устройства, при этом коэффициент динамичности по внутреннему усилию в поднимающейся ветви подъёмного каната составляет — 2, значение коэффициента динамичности для смежной ветви — 1,4.
3. Для копров скиповых подъёмов максимальные динамические усилия в подъёмных канатах соответствуют ускоренному движению

Таблица 3. Значения отношений максимальных амплитуд динамических усилий в подъёмных канатах к максимальному статическому рабочему натяжению (ξ).

№ п.п.	Наименование стадии цикла работы ШПУ	ξ
	Подъём – манёвры внизу(клеть)	1,96
1	Подъём – снятие с загрузочного устройства	1,4
2	Подъём – ускоренное движение	1,7
3	Подъём – равномерное движение	1,2-0,9
4	Подъём – торможение	1,3
	Спуск – манёвры вверх (клеть)	1,2
5	Спуск – снятие с разгрузочного устройства	1,1
6	Спуск – ускоренное движение	0,98
7	Спуск – равномерное движение	1,1-1,2
8	Спуск – торможение	1,3

подъёмной машины, при этом коэффициент динамичности по внутреннему усилию в поднимающейся ветви составляет 1,65, значение коэффициента динамичности для смежной ветви — 1,2.

4. Для предотвращения параметрических резонансов при проектировании укосных шахтных копров необходимо учитывать конструктивные ограничения по спектру собственных частот и амплитуд нормальных напряжений в укосине в соответствии с условиями (2) и (6).
5. Для скиповых и клетевых копров число циклов динамических напряжений составляет: $n=1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^7$, коэффициент асимметрии циклов динамических напряжений составляет: $\rho=0,7 \dots 0,9$.

Литература

1. Розенблит Г.Л. Стальные конструкции зданий и сооружений угольной промышленности. — Углетехиздат, 1953. — 272 с.
2. Бровман Я.В. Надшахтные копры. — М.: Госгортехиздат, 1961. — 239 с.
3. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации.— К.: Госуглепром Украины, 1994. — 68 с.
4. Кущенко В.Н. Обеспечение технологической безопасности строительных конструкций шахтных копров // Будівельні конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.-Майівка, 2005.— Вип. 2005-8 (56). — С. 142-146.
5. 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.
6. Кущенко В.Н., Кострицкий А.С., Некрасов Ю.П. Методика и результаты динамических испытаний укосного шахтного копра // Будівельні конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.-Майівка, 2003.— Вип. 2003-2 (39). — С. 116-125.
7. Кущенко В.Н. Уточнение нагрузок от натяжения подъёмных канатов для строительных конструкций укосных шахтных копров // Сучасні будівельні конструкції і матеріали: Зб. наук. праць.-Майівка, 2006.— Вип. 2006-5(61). — С. 3-14.
8. Кущенко В.Н. Физический износ и аварии металлических конструкций шахтных копров // Металлические конструкции.— 2006.-Т.9, №1. — С. 43-58.
9. Recommendation for Loading and Safety Regulations for Structural Design Nordic Committee on Building Regulations, 1978.
10. Lagomarsino S., Pagnini L.C. Criteria for modeling and predicting dynamic parameters of building. Istituto di Ccienza delle Costruzioni, Faculty of Engineering, University of Genova, Genova: 1995. — 97 p.
11. ДБН В.1.2-2: 2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Минстрой Украины. 2006. — 78 с.
12. Дворников В.И., Кърцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъёмного комплекса.— София, 1997. — 364 с.
13. Белый В.Д., Лесин К.К., Самарский А.Ф. Выбор, навеска, эксплуатация и контроль состояния шахтных канатов. — М.: Недра, 1967. — 227 с.
14. Антонов Г.П. Проектирование и расчет шахтных копров башенного типа. — М.: Недра, 1975. — 168 с.
15. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. — М.: Гостехиздат, 1956. — 187 с.
16. Снитко Н.К. Динамика сооружений. — М.: Гостройиздат, 1960.— 356 с.
17. СНиП II-23-81*. Нормы проектирования. Стальные конструкции /— М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. — 96 с.

Кущенко Володимир Миколайович — професор 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 — профессор 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 Vladimir Nikolayevich — professor of the Department "Metal Structures" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a member of the Ukrainian Association in Metal Structures. Scientific interests: study of the useful operation and improving methods of designing building structures of mine technical structures.