



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

№2, ТОМ 13 (2007) 113-122

УДК 624.014:624.96.042:622

(07)-0137-1

ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ УКІСНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В.М. Кущенко

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

E-mail: snpcsh@mail.ru

Отримана 6 квітня 2007; прийнята 20 квітня 2007

Анотація. В статті розглянута можливість використання результатів динамічних випробувань для мети технічної діагностики будівельних конструкцій укісних шахтних копрів. Наведена методика динамічних випробувань конструкцій укісних шахтних копрів. Встановлено, що результати динамічних випробувань дозволяють виконувати тимчасовий контроль непорушності конструктивної системи, а також виконувати уточнення розрахункової схеми при перевірконому розрахунку з метою технічної діагностики. Спектрограми вимушених коливань дозволяють виявити небезпечні резонансні явища в системі "копер - підйомна машина". Спектрограми динамічних напружень в елементах несучих конструкцій є інформацією для оцінки та прогнозування ресурсу будівельних конструкцій по критеріям стомленісної міцності.

Ключові слова: укісні шахтні копри; динамічні випробування; технічна діагностика.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ УКОСНЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

В.Н. Кущенко

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

E-mail: snpcsh@mail.ru

Получена 6 апреля 2007; принята 20 апреля 2007

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования результатов динамических испытаний в целях технической диагностики строительных конструкций укосных шахтных копров. Приведена методика динамических испытаний конструкций укосных шахтных копров. Установлено, что результаты динамических испытаний позволяют производить текущий контроль целостности конструктивной системы, а также выполнять уточнение расчетной схемы при проверочном расчете с целью технической диагностики. Спектрограммы вынужденных перемещений позволяют выявить опасные резонансные явления в системе "копёр - подъёмная машина". Спектрограммы динамических напряжений в элементах основных несущих конструкций являются информацией для оценки и прогнозирования ресурса строительных конструкций по критериям усталостной прочности.

Ключевые слова: укосные шахтные копры; динамические испытания; техническая диагностика.

APPLICATION OF DYNAMIC TESTS FOR TECHNICAL DIAGNOSTICS OF BUILDING STRUCTURES OF STAYING HEAD FRAMES

V.M. Kuschenko

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

Received 6 April 2007; accepted 20 April 2007

Abstract. There is considered a possibility of using the results of dynamic tests for a technical diagnostics of building structures of staying head frames. There is given a technique of dynamic tests of the staying head frame structures. It was established that the results of the dynamic tests allow making the current control of structural system integrity. Spectrograms of forced displacements make it possible to reveal dangerous resonance phenomena in the system "a head frame-a hoist engine" Spectrograms of dynamic stresses in the elements of the main bearing structures are the information for estimating and forecasting the life time of building structures by the fatigue strength criteria.

Keywords: staying head frames, dynamic tests, technical diagnostics.

Шахтные копры представляют собой пространственные стержневые конструктивные системы (рис.1) и являются частью технологической системы шахтной подъёмной установки (ШПУ) (рис.2) [1, 2]. Цель технологической системы ШПУ - осуществление транспортной коммуникации между горными выработками и шахтной поверхностью. Технологическая система ШПУ состоит из четырёх основных подсистем: I – «подъёмная машина»; II – «шахтный копёр»; III – «шахтный ствол»; IV – «устройства обеспечения безопасности». Между подсистемами ШПУ существуют прямые связи в виде целей и обратные связи в виде функциональных нагрузок (см. рис. 2). Подсистемы «подъёмная машина» и «шахтный копёр» образуют механическую систему ШПУ, которая представляет собой объединение механизма (подъёмная машина) и геометрически неизменяемой механической системы (конструкции копра). Косвенно посредством подсистем «шахтный ствол» и «шахтный копёр» с технологической системой ШПУ связана система вентиляции горных выработок.

Связь конструкций шахтных копров с системами шахтного транспорта, вентиляции горных выработок и предохранительной автоматики определяет их высокую ответственность и необходимость рассмотрения как объекта

обеспечения безопасности [3, 10]. Аварии в подсистеме «шахтный копёр» создают следующие катастрофические угрозы для системы ШПУ:

- обрушение шкивов подъёмной установки;
- отказ шахтных парашютов;
- отказ системы вентиляции горных выработок;
- обледенение шахтного ствола.

Первые два вида угроз обусловлены возможностью разрушения основных несущих конструкций шахтных копров. Третий и четвёртый виды – вызваны возможностью разрушения обшивки станка с последующей разгерметизацией шахтного ствола. Риск перехода конструкций шахтных копров в первое предельное состояние можно разделить на две составляющие: I - риск несоответствия нагрузок расчётным значениям; II - риск недостаточной несущей способности вследствие наличия дефектов или эксплуатационных повреждений конструкций.

Одним из направлений обеспечения безопасности конструкций шахтных копров является техническая диагностика. Техническая диагностика строительных конструкций включает следующие процедуры [4, 5,]: а) установление признаков дефектного состояния конструкций; б) проверочный расчёт с учётом факторов действительной работы; в) определение

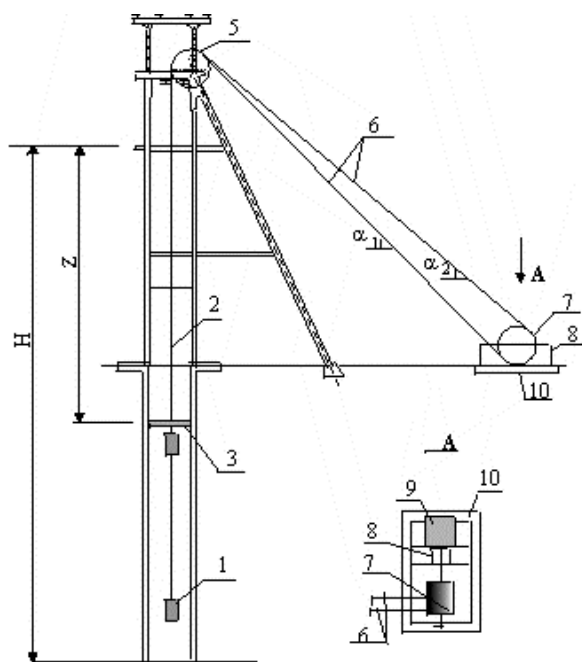


Рис. 1. Объект исследования – укосный шахтный копёр в составе механической системы шахтной подъёмной установки.

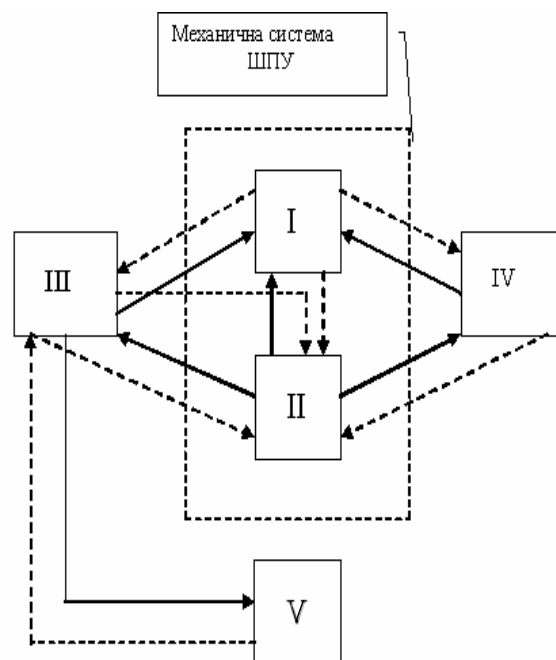


Рис. 2. Технологическая система шахтной подъёмной установки:
 прямые связи - цели \longrightarrow
 обратные связи - нагрузки \dashrightarrow

технического состояния (технический диагноз). Основой процедур технической диагностики является информация о техническом состоянии объекта получаемая визуально или инструментальными методами. Информацию, необходимую для технического диагноза по отношению к свойствам объекта можно классифицировать следующим образом: а) данные о дефектах и повреждениях строительных конструкций; б) данные о параметрах прочности; в) данные о параметрах нагрузок. По виду источников информацию можно разделить на: а) априорную; б) визуальную; в) инструментальную. В ряду инструментальных методов динамические испытания могут быть применены для любых строительных конструкций, однако для шахтных копров в связи с динамическим характером нагрузок они имеют особое значение [7, 8, 9, 11].

В соответствии с методиками отраслевых руководящих документов [6] контроль технического состояния шахтных копров осуществляется на основе данных осмотров и дефектоскопии, однако в руководящих документах отсутствуют методики получения диагностической

информации на основе динамических испытаний. Целью данной работы является определение возможности использования результатов динамических испытаний при контроле их технического состояния.

Поскольку конструкции укосных шахтных копров представляют собой сооружения башенного типа с массой, сосредоточенной в верхней части (масса головки копра и направляющих шкивов составляют 45-50% от общей массы сооружения), с наибольшими амплитудами колеблется верхняя часть сооружения. Вследствие этого для исследования параметров вынужденных и собственных колебаний датчики, измеряющие параметры движения, размещаются на подшкивных площадках вблизи опорных подшипников направляющих шкивов (рис. 3). При этом три сейсмографа ориентированы для измерения горизонтальных колебаний в направлении подъёмной машины и предназначены для регистрации поперечных колебаний изгибных, крутильных и изгибно-крутильных форм (рис. 3).

Один сейсмограф ориентирован для измерения поперечных колебаний изгибных форм в

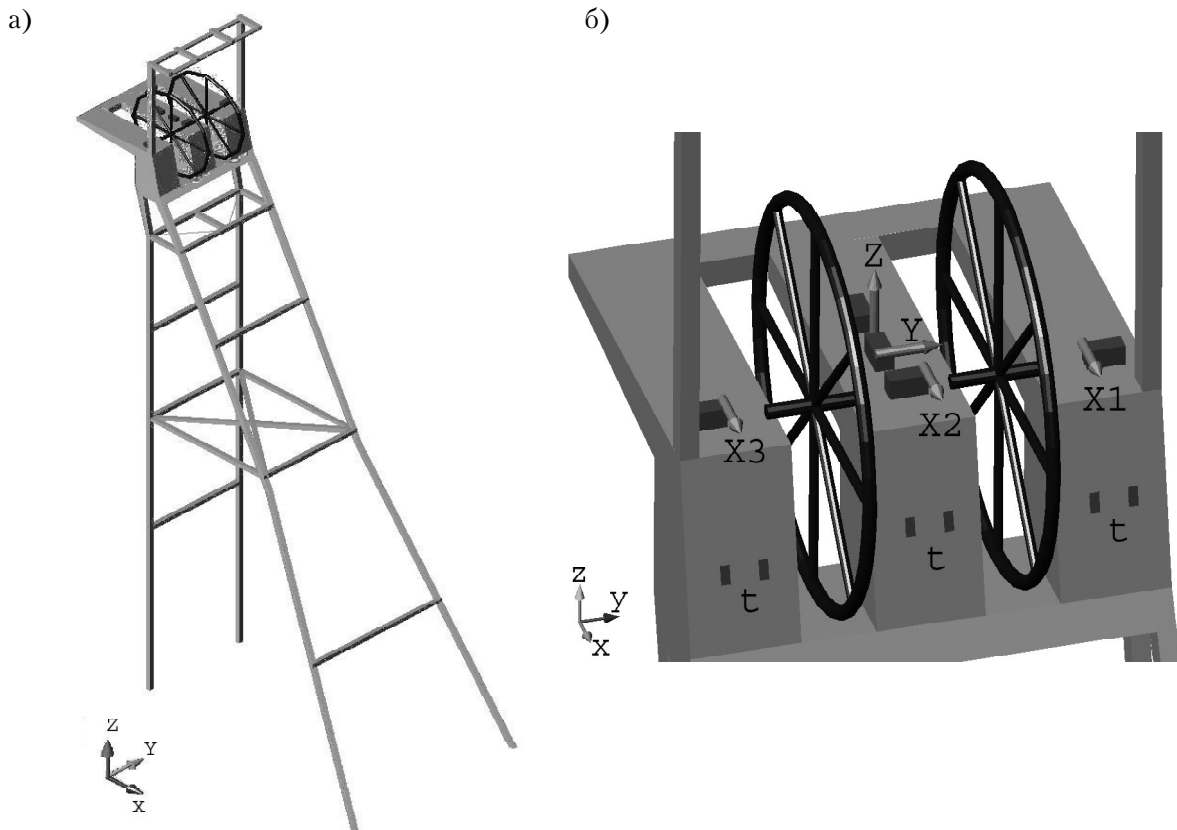


Рис. 3. Схема размещения измерительных приборов при динамических испытаниях конструкций копров: а) общая схема: 1 – сейсмографы; 2 – тензодатчики; б) размещение датчиков на подшивных конструкциях

направлении перпендикулярном по отношению к плоскости подъёма (см. рис. 3, 4) Ещё один сейсмограф ориентирован в вертикальном направлении, для измерения продольных колебаний сооружения (рис. 3, 4). Для определения влияния податливости основания на динамическое поведение сооружения сейсмографы также устанавливаются на фундаменты укосин копров. Такая схема расположения сейсмографов принята в связи с тем, что возбуждение колебаний конструкций шахтных копров в основном осуществляется в следующих направлениях: горизонтальные поперечные колебания в направлении подъёмной машины; горизонтальные поперечные колебания в направлении перпендикулярном плоскости направляющих шкивов; крутильные колебания вокруг вертикальной оси; продольные колебания в вертикальном направлении [3, 7, 8].

Тензометрические датчики устанавливаются на следующих конструктивных элементах: подшивных конструкциях; главных балках

укосин; стойках станков; вертикальных стойках полшатровых систем (рис. 3, 4). Такая схема расположения тензометрических датчиков соответствует характеру действия динамических нагрузок от натяжения подъёмных канатов и биения направляющих шкивов. 80...90% величины равнодействующих от натяжения канатов воспринимаются подшивными конструкциями и укосиной, а 10...20% – стойками шатра или передними стойками станка. Поскольку от действия нагрузок от натяжения подъёмных канатов в конструктивных элементах шахтных копров возникают преимущественно продольные сжимающие усилия, тензометрические датчики располагаются вдоль оси стержневых элементов, при этом в одном сечении располагается не менее четырёх датчиков в нижней и в верхней части стержня (рис. 4).

Таким образом, в процессе динамических испытаний производятся измерения следующих параметров: вибрационные скорости на

Таблица 1. Технические характеристики интерфейса «УСМК-1».

Количество входных аналоговых каналов, шт	64
Количество тензометрических каналов, шт	64
Диапазон входных напряжений, В	$\pm 5,11$
Диапазон измеряемых механических напряжений, МПа	± 518
Относительная погрешность измерения механических напряжений γ , %	1,2
Частотный диапазон измерения механических напряжений, Гц	0...30
Диапазон значений вибрационной скорости, см/с	0-1
Частота выборки аналоговых сигналов, Гц	1...102

уровне подшивных площадок и динамические напряжения в основных конструктивных элементах при свободных и вынужденных колебаниях. Для измерения виброскорости используются сейсмографы ВЭГИК, с пределом измерения частот от 1 до 100 Гц и амплитуд вибраций от 0,0001 до 2мм. Измерение динамических напряжений производится посредством петлевых тензометрических датчиков типа ПКБ с базой 20мм и паспортным сопротивлением 200 Ом. Запись сигналов датчиков осуществляется универсальной регистрирующей цифровой системой - «УСМК-1» (разработка ДонНАСА), технические характеристики системы приведены в табл.1.

Пример записи синхронных сигналов, полученных с сейсмографа и тензометрического датчика при посадке клетки на кулаки и свободных колебаниях сооружения, приведен на рис 5.

Полученный с сейсмографа сигнал представляет собой диаграмму изменения во времени виброскорости по различным формам колебаний сооружения. Интегрирование и дифференцирование полученных диаграмм позволяет определить диаграммы изменения виброперемещений и виброускорений. В результате спектрального анализа диаграммы изменения виброскорости во времени получают частотную характеристику процесса колебания сооружения (рис. 6). В процессе динамических испытаний конструкций шахтных копров фиксируют параметры вибраций и динамических напряжений для стадии свободных и вынужденных колебаний сооружений.

Приведенная выше методика динамических испытаний использована при определении технического состояния укосных шахтных копров с различными конструктивными и технологическими признаками (рис. 7).

**Рис. 4.** Размещение сейсмографов и тензометрических датчиков на подшивных конструкциях копра.

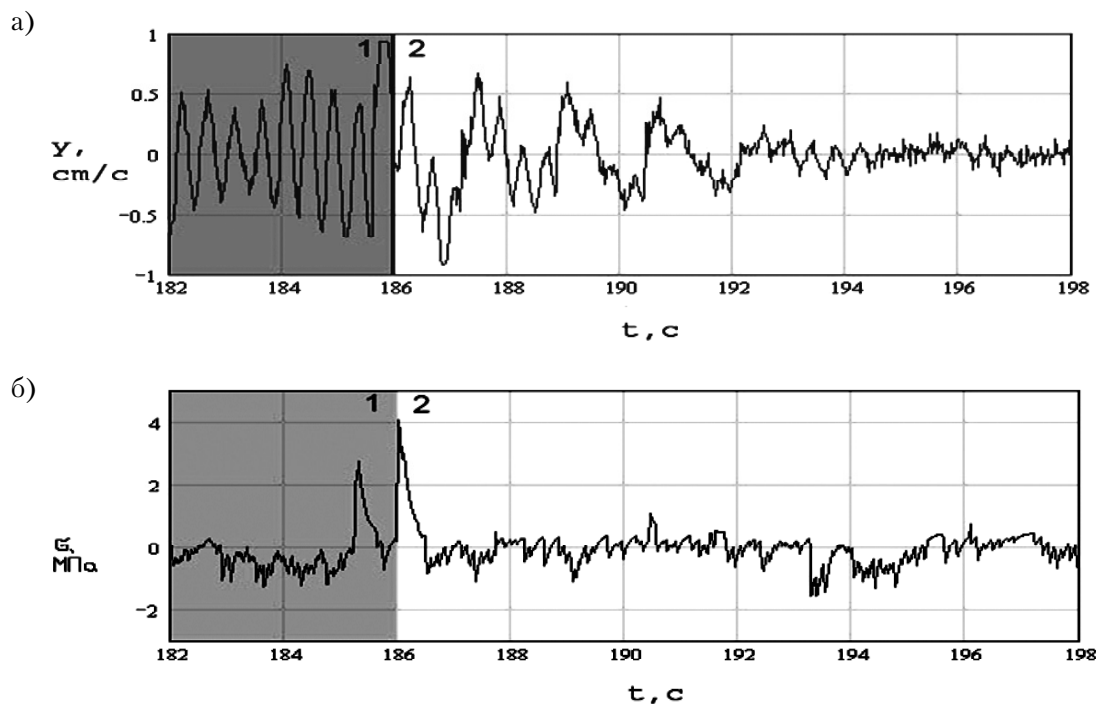


Рис. 5. Синхронные сигналы сейсмографа виброскорости (а) и тензометрического датчика (б) при посадке клетки на кулаки и в режиме свободных колебаний: 1- посадка клетки на кулаки; 2- режим свободных колебаний.

Результаты динамических испытаний конструкций шахтных копров при технической диагностике использовались для следующих целей:

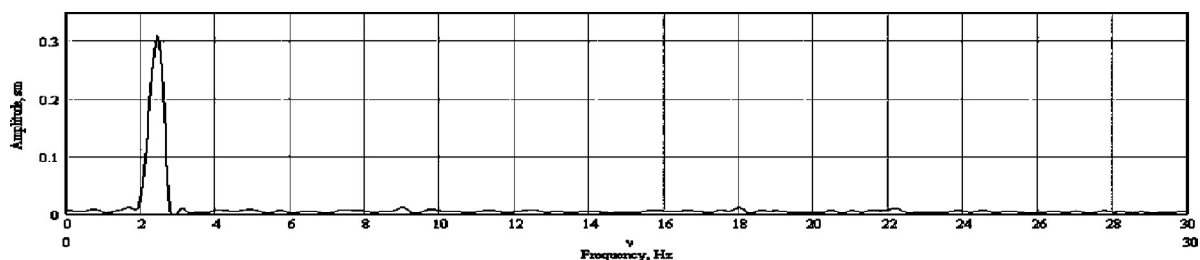
- уточнение расчётной схемы сооружения для проверочного расчёта конструкций сооружения с учётом динамического характера нагрузок;
- определение возможности потери динамической устойчивости сооружения как в процессе эксплуатации, так и при реконструкции шахтных подъёмных установок;
- оценка ресурса сооружений по критерию усталостной прочности;
- контроль текущего технического состояния сооружений при повторных динамических испытаниях.

Спектр собственных колебаний сооружения несёт в себе информацию о жесткостных и инерционных характеристиках сооружения. Эта информация может быть использована для контроля правильности принятой расчётной схемы сооружения путём сопоставления расчётных

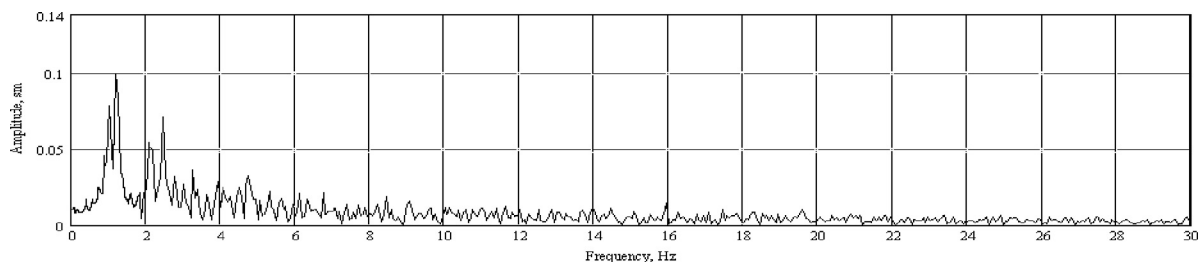
значений собственных значений частот с экспериментальными. В случае существенных отклонений (более 20%), расчётная схема сооружения требует уточнения.

Фиксация спектральной характеристики в виде эталона с высоким уровнем обеспеченности (0,95) позволяет при последующих измерениях в целом контролировать целостность конструктивной системы. При сохранении распределения масс сооружения существенные изменения спектра собственных колебаний являются признаком изменения жёсткости, а, следовательно, изменения конструктивной схемы сооружения. Таким образом, изменение спектра собственных колебаний сооружения является общим признаком дефектного состояния строительных конструкций.

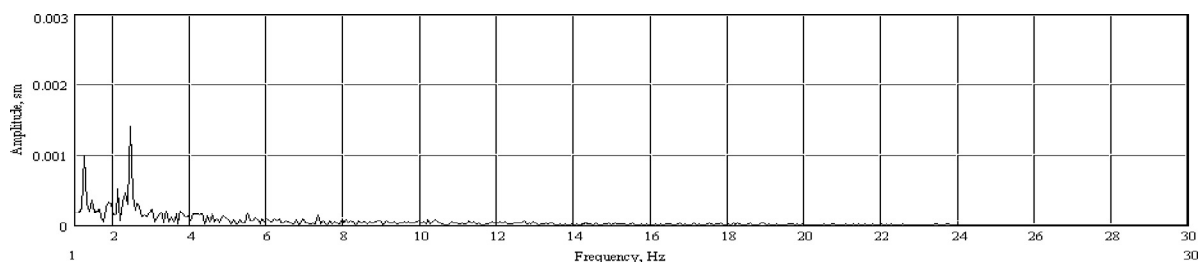
Амплитудно-частотная характеристика колебаний сооружения в пределах полного цикла работы подъёмной установки позволяет выявлять резонансные режимы в системе «конструкция шахтный копер – подъёмная машина», которые в условиях длительной эксплуатации



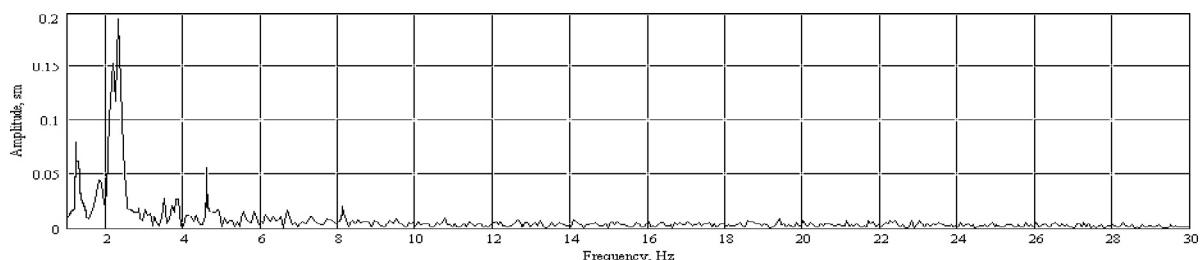
а) снятие клетки с кулаков (горизонтальные перемещения)



б) ускорение подъёмной машины (горизонтальные перемещения)



в) равномерное движение (горизонтальные перемещения)



г) посадка клетки на кулаки (горизонтальные перемещения)

Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики вынужденных колебаний клетового копра на различных стадиях цикла работы шахтной подъёмной установки.

могут вызывать накопление усталостных повреждений строительных конструкций. В качестве критерия возможности резонансных явлений используется условие (1), которое отражает соотношение частот низкой части спектра (до 6 Гц) с переменной частотой кинематического возбуждения системы «сосуд – канат» [3]:

$$f_1 \geq 3V/\pi D_{ш}, \quad (1)$$

где: V – скорость движения подъёмной машины; $D_{ш}$ – диаметр направляющего шкива.

Амплитудно-частотный анализ динамических напряжений в элементах основных несущих конструкций позволяет производить проверку несущей способности сооружения в связи с динамическим характером нагрузок от натяжения подъёмных канатов. Непосредственное определение пульсационной составляющей нормальных напряжений в ветвях

а)



б)



в)



г)



Рис. 7. Общий вид объектов динамических испытаний: а) копер клетового подъёма рамной системы; б) копер клетового подъёма станковой системы; в) копёр скипового подъёма комбинированной системы; г) рамный комбинированный копёр скипового подъёма.

укосины и стойках рам подшивных конструкций позволяют производить проверку динамической устойчивости сооружения в процессе цикла работы подъёмной установки [3]:

$$N_0/(N_s - N_1) < 0,064, \quad (2)$$

где: N_0 — амплитуда пульсационной составляющей продольного усилия в стержне; N_s — критическая Эйлера сила; N_1 — статическая составляющая усилия в стержне.

Экспериментальные данные о характеристиках циклов динамических напряжений позволяют выполнить проверку несущей способности конструктивных элементов по критерию усталостной прочности, а также в случае ограниченной усталостной прочности производить оценку остаточного ресурса конструктивных элементов сооружения.

Результаты динамических испытаний строительных конструкций для целей технической диагностики можно систематизировать в виде динамического паспорта сооружения, который включает следующую информацию: а) эталонный спектр собственных частот сооружения; б) логарифмический декремент затухания колебаний; в) спектр вынужденных колебаний, соответствующий циклу работы подъёмной установки; г) максимальная амплитуда вынужденных колебаний за цикл работы подъёмной машины, амплитудно-частотные характеристики виброскорости и виброускорения; д) количество циклов, коэффициент асимметрии и максимальная амплитуда динамических напряжений для укосины и подшивных конструкций.

Выводы

1. Результаты динамических испытаний при технической диагностике могут быть использованы для следующих целей: контроль расчётной схемы сооружения для проверочного расчёта конструкций; диагностика резонансных явлений в механической системе «конструкция копра — подъёмная машина»; оценка ресурса сооружений по критерию усталостной прочности; контроль текущего технического состояния сооружений при повторных динамических испытаниях.

2. Для целей технической диагностики может быть использована следующая информация, полученная в результате динамических испытаний: виброграммы и диаграммы изменения динамических напряжений в течение цикла работы подъёмной машины; амплитудно-частотные характеристики собственных и вынужденных колебаний; логарифмический декремент затухания; амплитудно-частотные характеристики динамических напряжений в элементах основных несущих конструкций.

Литература

1. Бровман Я.В. Надшахтные копры. — М.: Госгортехиздат 1961г. — 239с.
2. Федоров М. М. Шахтные подъёмные установки. — М., Недра, 1979. — 309 с.
3. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров: Монография. — Макеевка ДонНАСА, 2006. — 203 с.
4. Явленский К.Н., Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. — Л.: Машиностроение, 1983. — 239 с.
5. Недосека А.Я. Основы расчёта и диагностики сварных конструкций. — К.: Издательство "Индпром", 1998. — 640 с.
6. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. — К.: Госуглепром Украины, 1994.— 68с.
7. 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.
8. Кудрейко Н.А. и др. Динамические характеристики металлических копров при различных режимах работы подъёмной машины/Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: Зб. наук. пр. — Донецьк: ДВАТ "НДІГМ ім. М.М. Федорова", 2001. — Вип. 94. — С. 198-203.
9. ISO 13380:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on using performance parameters.
10. Kejrival B.K. Safety in mines. — Dyanbad, 1994.
11. 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 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.

Kuschenko Volodymyr Mykolaiovych is an Associated Professor of the Department "Metal Structures" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of the Ukrainian Metal Structures Association. His scientific research comprises an investigation of a real work and improvement of the design methods of building structures of the mining-technical facilities.