

ству пусков в час асинхронного привода. Поэтому предлагаемая система управления электропотреблением (третий вариант) наиболее эффективна при больших расходах сжатого воздуха. Учет результатов моделирования при отсутствии ограничения по количеству пусков в управлении электропотреблением воздушных поршневых компрессоров с асинхронным приводом с короткозамкнутым ротором на стадии проектирования подобных комплексов позволит увеличить паспортное количество числа пусков в час, и тем самым существенно повысить потенциальную экономию электрической энергии.

Перечень ссылок

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров. Технічна електродинаміка.-№3.-2004.-с.70-71.
2. Бобров О.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса / О.В. Бобров // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Наук.-виробн. журнал. – Кременчук: КНУ, 2011.-Вип. 4. (16). – С. 124.
3. Бобров А.В., Безкровный В.О. Допущения и ограничения в расчете кпд электромеханической системы «электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть» / Бобров А.В., Безкровный В.О. // Молодь: наука та інновації 2016: 4-та Всеукраїнська науково-практична конференція. (6-7 грудня 2016 р., Дніпро): тез. Доп. / М-во освіти і науки України; Нац. Гірн. Ун-т.; ПНЦ НАН України – Д., 2016. – С.11-8 – 11-10.
4. Бобров О.В. Результаты досліджень энергоэффективного режима работы электромеханической системы производства та розподілу стислого повітря / О.В. Бобров, С.І. Випанасенко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2. (26). – С. 85 – 90.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.

УДК 622.673.1[043.5]

*В.І. Самуся, д-р техн. наук, І.С. Ільїна, канд. техн. наук, Д.Л. Колосов, д-р техн. наук,
Ю.О. Комісаров*

(Україна, м. Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ С АРМИРОВКОЙ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Анотація. Метою роботи є розробка методики та порядку проведення динамічних випробувань в системі «підійомна посудина - армування» при запобіжному гальмуванні шахтних підійомних установок. У статті викладена методика та окремі результати експериментальних досліджень взаємодії шахтних підійомних посудин в режимі гальмування з провідниками жорсткого армування вертикальних стволів у промислових умовах.

Ключові слова: шахтна підійомна установка, безпека шахтного підйому, армування шахтного стовбура, система «посудина – армування», шахтні провідники.

Аннотация. Целью работы является разработка методики и порядка проведения динамических испытаний в системах «подъемный сосуд - армировка» при аварийном торможении шахтных подъемных установок. В статье представлена методика и отдельные результаты экспериментальных исследований взаимодействия шахтных подъемных сосудов в режиме торможения с проводниками жесткой армировки вертикальных стволов в промышленных условиях.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, безопасность шахтного подъема, армировка шахтного ствола, система «сосуд - армировка», шахтные проводники.

Abstract. The purpose of the article is the development of the methodology and the application of the dynamic tests in the systems "lifting vessel - reinforcement" in case of emergency braking of mine lifting installations. The methodology and some specific findings of experimental researches of interaction of mine lifting vessels in a mode of braking with conductors of rigid reinforcement of vertical wells in industrial conditions are presented in the article.

Keywords: mine winding (hoisting) plants, safety of mining hoist, mine shaft reinforcement, system «vessel – reinforcement», mine guides.

Динамический процесс взаимодействия сосудов с проводниками при торможении имеет многочастотный характер и является суперпозицией пространственных колебаний сосуда как твердого тела по шести степеням свободы (поступательные движения вдоль трех главных центральных осей инерции и повороты вокруг этих трех осей). Кроме того, спектр колебаний сосуда вдоль вертикальной оси содержат в себе ряд высших гармоник, вызванных влиянием распределенной массы канатов (головных и уравновешивающих). Наибольший по энергетике вклад в движение сосуда имеют первые 3-5 гармоник. Анализ данных исследований, проведенных ранее в представительных условиях действующих подъемов на рабочих режимах движения сосудов, показал, что основную энергетическую нагрузку несут на себе колебания подъемных сосудов с частотой 5-7 Гц [1].

При анализе контактных усилий, действующих на проводники со стороны предохранительных башмаков было определено, что их длительность лежит в пределах 0.1-0.3 сек [2]. Следовательно, для надежной регистрации сигналов динамических датчиков целесообразно определять частоту среза измерительной аппаратуры в 30-60 Гц, (для варианта измерения ускорений, так как собственные изгибные колебания корпуса сосуда, которые так же присутствуют в спектре колебаний измерительных датчиков ускорений направляющих и являются помехой на фоне исследуемых сигналов, имеют гораздо более высокие значения) или 100-200 Гц (для варианта измерения контактных усилий),

Исходные требования к аппаратуре для измерения динамических параметров подъемных сосудов в режиме торможения.

Амплитудные значения динамических параметров для подавляющего большинства подъемных отделений отечественных шахтных стволов лежат в следующих диапазонах: линейных *горизонтальных* ускорений направляющих (0-10 м/с²); линейных *вертикальных* ускорений направляющих (0-5, м/с²); контактных усилий (0-90 кН).

Следовательно, измерительный диапазон аппаратуры для измерения ускорений должен быть не менее ±10 м/с², а контактных усилий 0-100 кН. Характеристики погрешности аппаратуры по амплитуде измерительных величин должны быть не более: для ускорений $\delta \leq \pm 10 - 15\%$; для усилий $\Delta \leq \pm 300 - 600$ кН; для датчика скорости подъемной машины $\delta \leq \pm 10 - 15\%$; для таймера аппаратуры $\Delta \leq \pm 0.05$ сек. Все блоки аппаратуры должны быть аттестованы и своевременно метрологически поверены.

Размещение датчиков на подъемной установке

Во время проведения динамических измерений первый (подземный) измерительный комплекс устанавливается на подъемном сосуде. При максимальной схеме измерений динамические датчики горизонтальных ускорений (D1, D2, D3, D4, D5, D6) закрепляются с помощью навесных узлов крепления на направляющих подъемного сосуда и ориентируются измерительными осями вдоль боковой и лобовой плоскостей проводников на верхнем и нижнем поясах сосуда, а акселерометр D7 закрепляется на корпусе сосуда измерительной осью вдоль вертикальной оси сосуда (рис. 1). Так же в ряде случаев допускается применение укороченной схемы измерений без использования датчиков нижнего пояса D4, D5 и D6

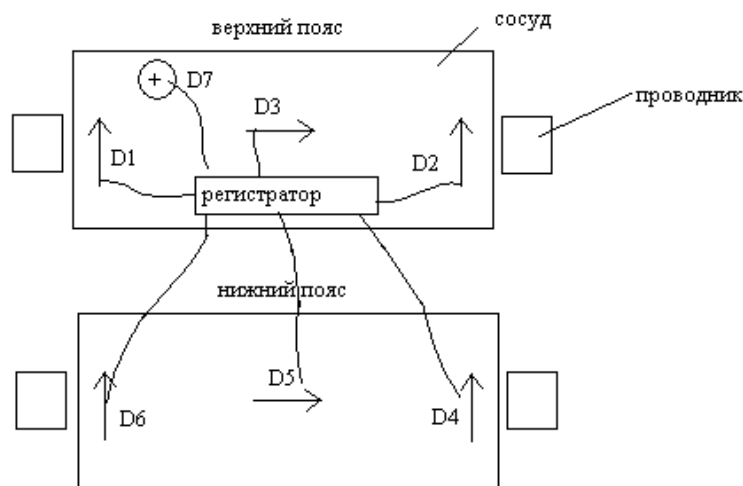


Рис. 1. Схема размещения датчиков ускорений при динамических испытаниях в режиме предохранительного торможения сосудов

При проведении динамических испытаний в режиме предохранительного торможения с использованием контактных силоизмерительных датчиков, датчики монтируются в специальных измерительных башмаках, которые устанавливаются на сосуде на место рабочих по три датчика в каждом (по 2 боковых и 1 лобовой) на верхнем поясе сосуда. При этом датчик - акселерометр D7 крепится на сосуде аналогич-

но тому, как показано на предыдущей схеме (рис. 2). Вместо акселерометра D7 может использоваться датчик натяжения головного каната, навешиваемый на канат на расстоянии 0.5-1 м выше коуша или встроенный в подвесное устройство.

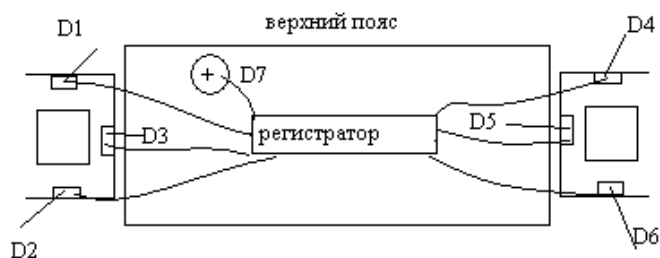


Рис. 2. Схема размещения датчиков контактных усилий при проведении динамических испытаний в режиме предохранительного торможения

Второй (наземный) измерительный комплекс устанавливается в машинном здании. В его состав входит датчик (канал информационной цепи подъемной машины) окружной (угловой) скорости вращения барабана подъемной машины, датчик сигнала в цепи включения предохранительного тормоза (ТП), регистратор со встроенным таймером, канал ввода сигнала с указателя глубины подъемной машины.

Измерения производятся следующим образом:

- при проведении экспериментов методом измерения мгновенных горизонтальных ускорений направляющих сосуда в боковой плоскостях проводников выходные сигналы с датчиков-акселерометров через аналого-цифровой преобразователь поступают и записываются во встроенный компьютер аппаратуры;

- при проведении экспериментов методом измерения контактных нагрузок, действующих на проводники, сигналы с силоизмерительных датчиков, встроенных в башмаки подъемного сосуда, через тензоусилитель и аналого-цифровой преобразователь поступают и записываются во встроенный компьютер аппаратуры;

- параллельно с записью данных со всех типов датчиков ведется запись текущего времени с таймера компьютера на его жесткий диск;

- параллельно на осциллограф в здании подъемной машины ведется запись диаграммы скорости вращения барабана подъемной машины, из соответствующей информационной ячейки системы управления;

- после окончания измерений данные с компьютера и пропущенные через систему аппаратно-программной оцифровки данные с осциллографа поступают в стационарный компьютер для последующей математической обработки.

Порядок проведения динамических измерений.

Динамические измерения с любым описанным выше набором датчиков (акселерометров, силоизмерителей) проводится в 2 этапа. На первом этапе подъемный сосуд, с включенными в режим записи обоими комплектами аппаратуры (наземный и подземный), совершает в рабочем режиме, принятом для данного ствола, 3-5 полных рабочих циклов спуска – подъема (для скиповых подъемов спуск порожнего – подъем груженого скипов). Данные записываются на регистраторы комплексов и сохраняются для последующей обработки.

На втором этапе производится аналогичный цикл измерений и регистрации данных но в режиме последовательного срабатывания предохранительного тормоза при прохождении сосудом специально назначенных контрольных точек, находящихся по глубине ствола в его верхней трети, в средней части и нижней трети. Торможение осуществляется в одних и тех же точках при спуске и подъеме сосуда (для скипов при спуске порожнего и подъеме груженого скипов).

Для получения наиболее полной картины следует контрольные точки расположить с достаточной густотой по глубине ствола. Однако такие испытания создают экстремальные циклические нагрузки на канат, механическую часть подъемной машины, армировку и могут привести к снижению их циклической прочности и снижению эксплуатационного ресурса оборудования, ремонт и замена которого связаны со значительными материальными затратами. В условиях сверхнормативного износа оборудования они могут вызвать спонтанное разрушение его элементов и аварийную ситуацию на подъеме, поэтому, число экспериментов такого типа должно быть минимальным, а ТП производится с соблюдением всех необходимых требований обеспечения безопасности.

Этап обработки данных, полученных при экспериментах, является не менее важным и трудоемким в сравнении с этапом проведения измерений

Цель обработки и анализа данных измерений состоит в определении качественных и количественных отличий процесса динамического взаимодействия сосуда с армировкой во время торможения от такого же процесса во время прохождения сосудом участка торможения с постоянной скоростью в рабочем режиме. Количественно эти отличия могут быть охарактеризованы с достаточной для практической точки зрения полнотой, «коэффициентом динамической перегрузки».

Качественная характеристика процесса взаимодействия сосуда с армировкой в процессе торможения состоит в определении закона изменений максимальных амплитуд динамических параметров горизонтальных колебаний сосуда во времени и того, является ли это изменение убывающей, возрастающей, возрастающе-убывающей или постоянной во времени функцией и от каких параметров системы это зависит.

Как показано в работе [3], процесс горизонтального взаимодействия сосуда с армировкой на рабочих режимах движения носит случайный, стационарный, эргодический характер. То есть количественные значения динамических параметров взаимодействия сосуда с армировкой на различных циклах спуска – подъема могут отличаться друг от друга, но средние показатели сохраняют приблизительно одинаковые значения от цикла к циклу. В связи с этим, в качестве базы сравнения для определения степени перегрузки армировки при торможении выберем усредненные по всем выборкам контрольных циклов спуска и подъема сосуда по каждому участку предохранительного торможения с постоянной скоростью, значения показаний динамических датчиков отдельно для лобовой и боковой плоскостей проводников.

Процесс приложения тормозного усилия к барабану подъемной машины (и ее замедление) по своей технической сути является детерминированным процессом, происходящим одинаково для всех циклов подъема. Его параметры зависят только от масс подъемных сосудов, распределения масс и жесткостей ветвей канатов подъемной установки, определяемых длиной головного каната в момент торможения.

В исследуемом нами процессе взаимодействия подъемного сосуда с армировкой главным возмущающим фактором, который носит детерминированный характер во время предохранительного торможения, являются его вертикальные колебания на упругом канате. Поэтому, для снижения количества экстремальных потенциально – опасных для безопасности подъема динамических воздействий на систему при динамических испытаниях, с достаточной для практики точностью можно ограничиться срабатываниями предохранительного тормоза в стволе во время одного цикла спуска и одного цикла подъема сосуда для каждой контрольной точки; для последующей обработки результатов измерений нужно взять максимальные значения зарегистрированных во время этих торможений динамических параметров перегрузки проводников армировки.

Данный принцип обработки результатов измерений является основным и определяет все последующие операции.

Исходя из этого, обработка данных, записанных на регистраторы обоих комплексов аппаратуры (наземного - на подъемной машине и подземного – на подъемном сосуде) производится в следующем порядке:

1. Подготовительная обработка данных

1.1 данные первого этапа измерений при движении сосуда с постоянной скоростью разделить на блоки записей, каждый из которых соответствует только спуску или только подъему сосуда;

1.2 начала записей наземного и подземного комплексов, относящихся к одному и тому же спуску или подъему синхронизировать по времени начала движения либо по показаниям встроенных таймеров абсолютного времени либо путем совмещения путевых датчиков и/или датчиков скорости соответственно на сосуде и подъемной машине;

1.3 произвести расшифровку записей и перевод данных в значения физических параметров, регистрируемых датчиками на основании индивидуальных тарифовочных характеристик, проставить относительные по времени (с момента начала движения) и абсолютные (по глубине ствола) отметки;

1.4 на расшифрованных записях нанести глубинные координаты контрольных точек, в которых производилось предохранительное торможение на втором этапе измерений, определенные по показаниям указателя глубины подъемной машины;

1.5 для каждого спуска и подъема сосуда в контрольных точках ствола определить максимальные значения динамических параметров для показаний каждого установленного на сосуде датчика (ускорений или контактных усилий);

1.6 для записей второго этапа измерений (срабатывания ТП) выделить записи регистраторов наземного и подземного комплексов аппаратуры отдельно для каждой контрольной точки ствола отдельно на спуске и подъеме сосуда, синхронизировать записи наземного и подземного регистраторов по временным отметкам для одного и того же цикла торможения и произвести расшифровку записей и перевод данных в значения физических параметров, регистрируемых датчиками на основании индивидуальных тарифовочных характеристик, представить относительные (временные с момента начала движения) и абсолютные (по глубине ствола) отметки;

2. Математическая обработка данных

2.1 вычислить средне-взвешенные значения максимальных динамических параметров, определенных на этапе обработки 1.3 – 1.6, для каждой контрольной точки торможения на этапе движения с постоянной скоростью для каждого датчика за все контрольные спуски и все подъемы отдельно;

2.2 все средние значения динамических параметров разделить на две группы: лобовые и боковые;

2.3 выбрать максимальные значения параметров отдельно для лобовых и боковых датчиков; эти максимальные значения присвоить параметрам в качестве базы сравнения: $A_{\max, rab}^{lob(bok)}$ и $F_{\max, rab}^{lob(bok)}$;

2.4 для каждой контрольной точки на записях, сделанных при срабатывании ТП, выбрать максимальные значения отдельно для лобовых и боковых датчиков;

2.5 рассчитать для каждой контрольной точки отдельно для спуска и подъема сосуда значения коэффициентов динамической перегрузки: $K_{din,a}^{lob(bok)}$ и $K_{din,F}^{lob(bok)}$;

2.6 на основании показаний датчиков скорости и таймера наземного комплекта аппаратуры рассчитать мгновенные (с шагом 0.05 с) и среднее (до остановки) окружные замедления барабана подъемной машины; построить графики мгновенных замедлений для каждого торможения;

2.7 с шагом ≈ 0.1 с выполнить операции пунктов 2.4 – 2.6; построить совмещенные графики $K_{din,a}^{lob(bok)}$ и $K_{din,F}^{lob(bok)}$ и $W(t)$ в развертке по времени; выполнить анализ вида полученных кривых;

2.8 выполнить анализ зависимости коэффициентов динамической перегрузки от координаты контрольной точки срабатывания ТП отдельно для лобовой и боковой плоскостей проводников на спуске и подъеме сосуда.

2.9 для каждой точки торможения провести спектральный анализ выходных сигналов динамических датчиков отдельно для лобовой и боковой плоскостей; рассчитать низшие собственные частоты колебаний сосуда отдельно в лобовой и боковой плоскостях $\lambda_{lob(bok)}$.

Определить средние для ствола суммарные жесткости направляющих для лобовой и боковой плоскостей проводников $H_{lob(bok)}$ по формуле $H_{lob(bok)} = 4 \cdot \pi^2 \cdot \lambda_{lob(bok)}^2 \cdot I_{lob(bok)}$, где $I_{lob(bok)}$ - центральные моменты инерции сосуда, соответственно в лобовой и боковой плоскостях проводников. Данные расчетов можно использовать для определения уточненных по глубине координат зон параметрического возбуждения системы «сосуд - армировка» в стволе.

Данная методика позволяет определять участки армировки, на которых предохранительное торможение может привести к аварийно-опасным ситуациям. Анализ данных исследований позволит установить допустимые нагрузки при прохождении данных участков для соблюдения всех норм и правил безопасности работы горного подъемного оборудования

Список использованных источников

1. Ильин С.Р., Гавруцкий А.Е. Повышение безопасности работы шахтных подъемов путем применения компьютерных технологий и средств электронного контроля за состоянием оборудования стволов в Приднепровском регионе // Геотехническая механика: Межвед. науч.- техн. сб. – Дн-ск. -1998. - №6. – С. 169-173
2. Лопатін В.В. Методи і технічні пристрої експрес-діагностики динамічного стану системи „підйома посудина-жорстка арміровка”: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.06 / ИГТМ НАН Украины.- Дніпропетровськ, 2001. - 18с.
3. Гавруцкий А.Е., Мусиенко В.Д., Осадчая Л.С. Исследование горизонтальных нагрузок на армировку в скиповом стволе ЗЖРК № 1 // Шахтное строительство. - 1981. – №7. – С. 19-21.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.

УДК 621.336

А.М. Муха, д-р. тех. наук, Д.В. Устименко, О.О. Карзова, М.М. Кедря, канд-ти техн. наук, О.Я. Куриленко

(Україна, Дніпро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна)

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ НАКЛАДОК
ДЛЯ СИЛЬНОСТРУМОВИХ КОВЗНИХ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Анотація. В представленій статті надано порівняльний аналіз накладок полозів для струмоприймачів електровозів та електропоїздів постійного струму із різних матеріалів. Серед яких два типи на-