

**В.А. СИДОРОВ, Е.В. ОШОВСКАЯ,**  
Донецкий национальный технический университет

**V.A. SIDOROV, E.V. OSHOVSKAYA,** *Donetsk National Technical University*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА ЛИТЕЙНЫХ КРАНОВ**

### **INVESTIGATION OF DIAGNOSTICAL PARAMETERS OF TECHNICAL STATE FOR LIFTING MECHANISMS OF CASTING CRANES**

Предложен алгоритм для оценки технического состояния механизма подъема литейных кранов, основанный на комплексном подходе и реализующий последовательное применение различных методов диагностирования с увеличением глубины диагноза.

An algorithm for the evaluation of the technical state of the lifting mechanism of casting cranes is proposed. An algorithm bases on an integrated approach and realizes the consistent application of different methods of diagnosing with increasing of diagnosis depth.

Запропоновано алгоритм для оцінки технічного стану механізму підйому ливарних кранів, який засновано на комплексному підході і реалізує послідовне застосування різних методів діагностування із збільшенням глибини діагнозу.

Специальные литейные металлургические краны в условиях работы электроплавильного цеха используются для завалки металлолома (завалочный кран) и для транспортирования ковшей с расплавленным металлом (разливочный кран). Последовательная работа электродуговой печи, установки печь-ковш и машины непрерывного литья заготовки позволяют снизить время плавки до 40...50 минут. Это приводит к повышению интенсивности эксплуатации механизмов литейных кранов, в частности, механизма подъема. Операции, выполняемые литейными кранами, являются частью технологического процесса, поэтому обеспечение безотказной работы механизма подъема данной машины является актуальной задачей, определяющей технологическую безопасность производства. Решение данной задачи возможно на основании использования информации о фактическом техническом состоянии механизма для проведения предупредительного ремонта. Важным аспектом является не только раннее распознавание и предупреждение неисправности, но и определение комплекса необходимых операций для восстановления работоспособного состояния механизма.

#### **1. Постановка проблемы.**

В настоящее время оценка технического состояния металлургических кранов, как и большинства металлургических машин, выполняется по параметрам вибрации, измеряемым на неподвижных подшипниковых узлах механизмов. Специфические условия эксплуатации, труднодоступность, различные режимы работы не позволяют использовать традиционные подходы виброметрии, применяемые для диагностирования роторных машин, работающих в длительном режиме [1, 2], несмотря на значительный накопленный практический опыт. Важным является не только измерение диагностических параметров для контроля технического состояния механизма подъема, но и интерпретация полученных результатов для оценки и классификации технического состояния, своевременного распознавания неисправностей.

Основная задача исследования - разработка алгоритма решения диагностиче-

ской задачи по оценке технического состояния механизма подъема литейного крана, при использовании комплексного подхода и возможностей современных средств диагностирования. Решение получено в виде последовательного применения различных методов диагностирования с увеличением глубины диагноза. Алгоритм диагностирования механизма подъема включал следующие этапы: 1) оценка состояния механизма по изменению КПД; 2) определение единичного показателя по общему уровню значений параметров вибрации; 3) анализ изменений спектральной картины вибрации; 4) визуальный осмотр.

Исследования изменения КПД механизма подъема были проведены на механизме главного подъема крана грузоподъемностью 275 т с двумя барабанами и общим редуктором, имеющим дифференциальный редуктор для механической синхронизации (рис. 1а).

Измерения вибрационных параметров выполнены на механизме главного подъема крана грузоподъемностью 110 т с одним барабаном и двумя редукторами (рис. 1б). Синхронизация работы электродвигателей - электрическая, механические элементы синхронизации отсутствуют.

Визуальный осмотр повреждений выполнен на механизмах главного подъема литейных кранов грузоподъемностью 110, 275 и 360 т. Работы проводились в течение 6 лет в условиях металлургических предприятий Донбасса.

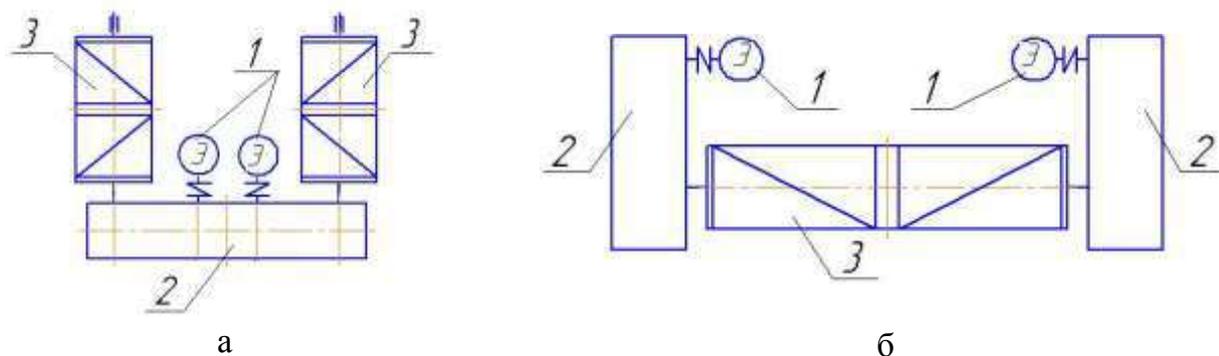


Рис. 1 – Схемы приводов механизма главного подъема крана с двумя барабанами (а) и одним барабаном (б): 1 – двигатель; 2 – редуктор; 3 – барабан

## 2. Оценка состояния механизма подъема по изменению КПД

Известным фактом является уменьшение значений КПД механизмов крана, в частности, механизма подъема, при снижении нагрузки [3]. Проверка данной закономерности была выполнена в ходе промышленных испытаний исправного механизма подъема 275-тонного литейного крана при подъеме грузов разной массы  $Q$  с различной скоростью  $V$ . При этом фиксировали значения крутящего момента  $M$  на валу двигателя и частоты вращения  $\omega$ . Полученные данные позволили рассчитать фактические значения КПД механизма подъема:

$$\eta_{\phi} = (Q \cdot g \cdot V) / (2 \cdot M \cdot \omega), \quad (1)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения.

Результаты расчета приведены в табл. 1. Индекс «н» соответствует номинальному значению параметра. Представленные данные аппроксимированы зависимостью вида:

$$\eta_{\phi} = a + b \cdot \ln(Q/Q_n) + c / (V/V_n), \quad (2)$$

где  $a=0,614$  ;  $b = 0,154$  ;  $c = 0,04$  – коэффициенты регрессии.

Коэффициент корреляции составил 0,992. Графическое представление зависимости показано на рис.2.

Таблица 1 – Значения фактического КПД механизма подъёма литейного крана

Отношение $Q/Q_n$	Отношение скоростей $V/V_n$				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,098	0,465	0,394	0,330	0,292	0,269
0,876	0,798	0,696	0,659	0,632	0,619
0,953	0,778	0,697	0,669	0,650	0,634
1,105	0,832	0,741	0,707	0,688	0,679
1,2	0,841	0,753	0,721	0,703	0,694

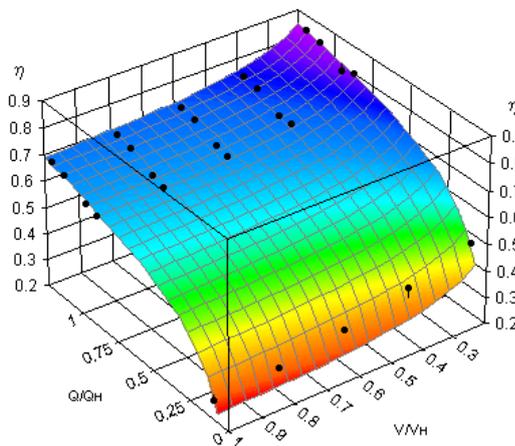


Рис.2 - Зависимость фактического КПД механизма подъема литейного крана от массы поднимаемого груза и скорости подъема

Можно предположить, что полученная зависимость должна оставаться неизменной при сохранении исправного технического состояния механизма. Появление начальных повреждений приведёт вначале к снижению КПД в определённом режиме, а затем во всём контролируемом диапазоне, что позволяет использовать КПД в качестве первичного диагностического признака, свидетельствующего об ухудшении технического состояния механизма подъема.

Таким образом, процедура первичной оценки технического состояния механизма подъема должна быть следующей. Периодически через определённые интервалы времени при проведении тестового диагностирования или постоянно при проведении функционального диагностирования с помощью средства автоматизации привода выполняется сбор данных (частота вращения вала двигателя, момент на валу двигателя, вес поднимаемого груза, скорость подъема), необходимых для расчета фактического значения КПД по формуле (1). Для этих же условий по зависимости (2) вычисляется значение КПД, соответствующее исправному состоянию механизма. Расхождение между значениями КПД, определенными по (1) и (2), более 15% является признаком ухудшения технического состояния и необходимости его дальнейшего уточнения по параметрам вибрации.

### 3. Определение единичного показателя для оценки технического состояния механизма подъема по общему уровню значений параметров вибрации.

В работе [4] для оценки категории технического состояния механизмов подъема кранов предложено использовать единичный показатель, формируемый на основании измеренных значений общего уровня вибрации. В процессе измерения фиксируются: среднеквадратичное значение виброперемещения  $S$  (мкм), среднеквадратичное значение виброскорости  $V$  (мм/с), среднеквадратичное  $a_{СКЗ}$  и пиковое  $a_{ПК}$  значения виброускорения ( $м/с^2$ ). По каждому параметру известны допустимые значения –  $S_{доп}$ ,  $V_{доп}$ ,  $a_{СКЗ, доп}$ ,  $a_{ПК, доп}$ .

Значение единичного показателя на основании данных диагностирования может быть определено 7 способами, подробно описанными в [4] и названными:

- 1) обобщенная характеристика вибропараметров  $\beta$ ;
- 2) результирующий вектор R1;
- 3) результирующий вектор R2;
- 4) абсолютный вклад вибропараметров A1;
- 5) абсолютный вклад вибропараметров A2;
- 6) относительный вклад вибропараметров O1;
- 7) относительный вклад вибропараметров O2.

В таблице 2 приведены границы значений единичного показателя вибропараметров для каждого класса технического состояния механизма. Таким образом, классификация технического состояния механизма подъема крана после измерения общего уровня параметров вибрации выполняется в следующей последовательности: 1) одним или несколькими способами рассчитывается единичный показатель вибропараметров; 2) полученное значение сравнивается с граничными значениями показателя; 3) делается вывод о классе технического состояния механизма подъема.

Таблица 2 – Класс технического состояния механизма подъема крана и границы значений единичного показателя вибропараметров

Техническое состояние	Единичный показатель вибропараметров						
	$\beta$	R1	R2	A1	A2	O1	O2
Плохое	$> 12$	$> 90$	$> 90$	$> 300$	$> 900$	$> 1,5$	$> 2,0$
Удовлетворительное	$12 - 9$	$90 - 70$	$90 - 70$	$300 - 120$	$900 - 500$	$1,5 - 1,0$	$2,0 - 1,5$
Нормальное	$9 - 7$	$70 - 40$	$70 - 40$	$120 - 70$	$500 - 300$	$1,0 - 0,5$	$1,5 - 1,0$
Хорошее	$< 7$	$< 40$	$< 40$	$< 70$	$< 300$	$< 0,5$	$< 1,0$

### 4. Анализ изменений спектральной картины вибрации.

По результатам контроля значений общего уровня вибрации и изменению технического состояния механизма подъема для локализации и более четкого обнаружения неисправностей выполняется спектральный анализ, позволяющий отслеживать изменение амплитуд составляющих вибрации [5].

Конструктивные особенности редуктора механизма подъема - значительная масса, низкие частоты вращения, высокая жёсткая корпуса - являются причиной увеличения значений общего уровня вибрации на последних, предаварийных стадиях развития повреждений. Наличие нескольких источников, определяющих вибрационную картину редуктора механизма подъема, позволяет предположить, что изменение технического состояния проявится в изменении характера спектра вибрации.

Это было подтверждено в результате трехлетних наблюдений за измерением технического состояния механизма подъема завалочного крана. Изменение спектраль-

ной картины виброускорения редуктора (рис. 5) стало предвестником разрушения подшипников быстроходного вала при низких значениях общего уровня вибрации. Признаком повреждения стало нарушение стабильности частоты вращения, что проявилось в появлении большого количества составляющих малой амплитуды («белого шума») и размытости гармоник зубцовых частот. Проведенная замена была подготовлена и осуществлена планомерно в короткие сроки. Это указывает на необходимость контроля не только амплитудных значений, но спектрального состава вибрации.

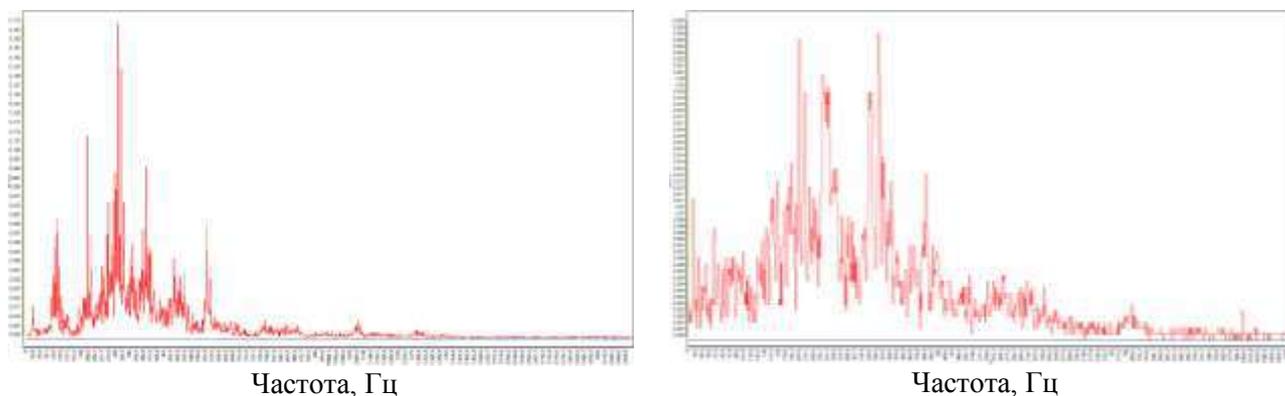


Рис. 5 - Изменение спектральной картины виброускорения перед разрушением подшипников быстроходного вала

Для проведения эффективного анализа спектрального состава вибрационного сигнала разработана классификация составляющих спектра вибрации и правила, соответствующие изменению технического состояния. Для выбора необходимой ремонтной операции проведено моделирование развития возможных повреждений [6].

### **5. Визуальный осмотр и характерные отказы механизма подъёма.**

Визуальный осмотр механизма подъёма является начальной и заключительной стадией диагностирования. Наблюдаемые первичные отклонения в виде биений муфт, подтеканий смазки, ослабления резьбовых соединений выступают весомым основанием для выполнения контроля вибрационных параметров или токовых характеристик. Необходимо отметить, что измерение температуры при контроле состояния редуктора механизма подъёма редко позволяет локализовать места повышенного нагрева из-за повторно-кратковременного режима работы.

Анализ отказов разливочных кранов, проведенный на основании 385 записей агрегатных журналов за период с января 1996 г. по декабрь 2007 г., позволил установить, что наиболее часто выходили из строя механизм главного подъёма (162 отказа) и механизм передвижения крана (156 отказов), наименьшее количество отказов (10 отказов) отмечено у механизма передвижения вспомогательной тележки. Для механизма главного подъёма выявлены чаще всего отказывали следующие элементы: редуктор главного подъёма (62 отказа); соединительные муфты (38 отказов) и канат (32 отказа). Распределение отказов показало, что самым проблемным узлом механизма главного подъёма является редуктор. Ремонт редуктора - наиболее длительный, сложный процесс. Затраты на проведение ремонта в данном случае могут значительно возрасти из-за внезапности отказа и неподготовленности ремонтных служб. Изнашивающимися деталями в редукторе являются подшипники и зубчатые передачи, а также резьбовые соединения. Отказы соединительных муфт также во многом определяются точностью центрирования валов редуктора и двигателя.

Назначаемый по результатам диагностирования и своевременно проведенный осмотр редуктора механизма подъема позволяет определить отклонения в его работе на ранней стадии. В данном случае целесообразно использовать видеоэндоскоп с зондом диаметром 8...10 мм и длиной до 1 м, с помощью которого возможно обнаружение неисправностей механизма, наиболее характерными из которых являются перекосящиеся колеса и смещение пятна контакта; осповидное выкрашивание на рабочей поверхности зуба; сколы зубьев; пластические сдвиги на рабочей поверхности зубчатой передачи; абразивный ускоренный износ зубьев; засорение отверстий в масляных карманах. Обнаруженные при визуальном осмотре повреждения могут устраняться путём выполнения операций по техническому обслуживанию - затяжки резьбовых соединений, смазки, очистки или плановых замен элементов.

Таким образом, визуальный осмотр позволяет окончательно сформировать заключение о техническом состоянии элементов механизма подъема, выполнить дефектовку его узлов и деталей для определения объёмов необходимых замен и выяснения причин повреждения.

### **Выводы.**

1. Техническое диагностирование механизма подъема следует выполнять на основе совместного анализа значений его КПД, вибрационных параметров и результатов периодического визуального осмотра.

2. При оценке технического состояния механизмов металлургических кранов используется двухуровневая последовательность решения задач распознавания. Первый уровень - определение возникновения отклонений в работе механизма. Второй уровень - определение места и характера повреждения, принятие решения о проведении необходимой ремонтной операции.

3. При диагностировании механизма подъема использование метода абсолютной оценки технического состояния ограничено конструктивными и эксплуатационными особенностями, наиболее информативен метод относительной оценки изменения составляющих спектра вибрационного сигнала и визуальный осмотр.

### **Литература.**

1. *Гольдин А.С.* Вибрация роторных машин. / *А.С. Гольдин* – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
2. *Барков А.В.* Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учеб. Пособие. / *А.В. Барков, Н.А. Баркова* – СПб.: СПбТМТУ, 2004. –156с.
3. *Иванченко Ф.К.* Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / *Ф.К. Иванченко, В.С. Бондарев, Н.П. Колесник, В.Я. Барабанов.* Киев, издательское объединение «Вища школа», Головное изд-во, 1978. - 576 с.
4. *Сидоров В.А.* Оценка технического состояния механизмов подъема металлургических кранов // *В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская,* Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. Випуск 23 (196), 2012 - С. 226 – 239.
5. *Розенберг Г.Ш.* Вибродиагностика / *Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С., Виницкий М.Л.* и др. Под ред. *Г.Ш. Розенберга.* СПб: ПЭИПК, 2003. –284 с.
6. *Борисенко В.Ф.* Динамика электромеханической системы главного подъема разливочного крана / *В.Ф. Борисенко, В.А. Сидоров, Д.В. Бажутин, М.П. Бутенко* // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2011. Вип. 42. – С. 50 – 54