

УДК 621.873: 658.58

В.А. Сидоров, доцент, канд. техн. наук

Е.В. Ошовская, доцент, канд. техн. наук

В.И. Руденко, доцент, канд. техн. наук

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83001

E-mail: sidorov_va@ukr.net

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА МОСТОВЫХ КРАНОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

Представлены способы формирования показателей оценки технического состояния по результатам измерения вибрационных параметров для механизмов подъема металлургических кранов.

Ключевые слова: механизм подъема, техническое состояние, вибрационные параметры.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. На металлургических предприятиях эксплуатируется крановое оборудование. Большинство металлургических кранов осуществляют перемещение расплавленного и горячего металла, поэтому к их безотказности предъявляются высокие требования, а контроль и дальнейшее распознавание технического состояния являются ответственными операциями, обеспечивающими техногенную безопасность производства. В связи с этим необходимо не только качественное измерение диагностических параметров для контроля технического состояния механизмов крана, но и интерпретация результатов измерений, позволяющая оценить и классифицировать техническое состояние, своевременно распознать неисправности механизмов.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время оценка технического состояния металлургических кранов, как и большинства металлургических машин, выполняется по параметрам вибрации, измеряемым на неподвижных подшипниковых узлах механизмов.

Анализ зарегистрированных значений и распознавание неисправностей механизмов роторного типа по результатам диагностирования, несмотря на накопленный значительный практический опыт, не всегда приводит к однозначному и достоверному диагнозу. Состояние вращающихся элементов (роторов, барабанов, рабочих колес, шпинделей) оценивается по косвенным данным – значениям вибрации на неподвижных узлах, что снижает точность диагноза.

Для классификации технического состояния используются различные методы: взаимной, относительной, абсолютной оценки, статистические классификации. Установление диагноза и вида неисправностей механизмов выполняется с помощью решающих правил [1 – 4]. Существующие правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [5, 6] не рассматривают вопросы оценки технического состояния механизмов подъема из-за отсутствия методик комплексной оценки механического оборудования.

Постановка задачи. В сталеплавильном цехе эксплуатируются завалочные и разливные краны, имеющие однотипную конструкцию механизма главного подъема грузоподъемностью 110 т (рисунок 1).

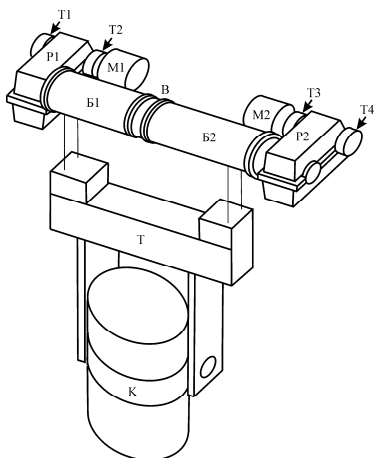


Рисунок 1 – Схема механизма главного подъема крана: М1, М2 – приводные асинхронные двигатели; Р1, Р2 – редукторы; Б1, Б2 – барабаны; В – промежуточная вставка; Т – траверса; К – ковш (бадья)

Техническая характеристика механизма следующая: диаметр каната со стальным сердечником – 25,0 мм; кратность полиспаста – 4; количество полиспастов – 4; тип двигателей – YTSZ 315L1 с номинальной мощностью 110 кВт и частота вращения – 585 об/мин; передаточное отношение редукторов – 63. Синхронизация работы электродвигателей осуществляется электрически, механические элементы синхронизации отсутствуют.

Для контроля технического состояния механизмов подъема кранов в настоящее время используются параметры вибрации, которые измеряются периодически в 12 контрольных точках на подшипниковых узлах (рисунок 2): 1 – свободный подшипник двигателя; 2 – подшипник двигателя от муфты; 3 – подшипник приводной стороны входного вала редуктора; 4 – подшипник холостой стороны входного вала редуктора; 5 – подшипник холостой стороны выходного вала редуктора; 6 – подшипник приводной стороны тихоходного вала редуктора. Представление данных для принятия решений и постановки диагноза реализуется в табличном виде (таблица 1) с последующим анализом и дальнейшим уточнением возможных повреждений по результатам спектрального анализа (рисунок 3).

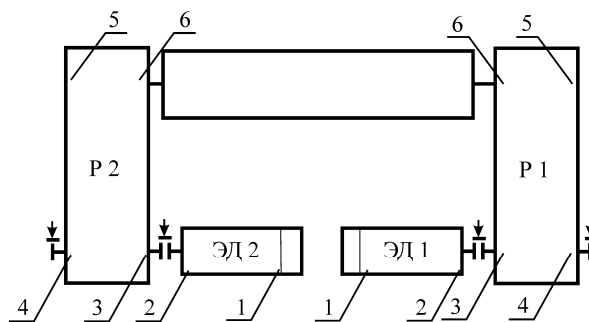


Рисунок 2 – Расположение контрольных точек при измерении вибрации

Таблица 1 – Значения параметров вибрации для контрольных точек механизмов подъема крана

Точка измерения	Редуктор 1		Редуктор 2	
	Среднеквадратичное значение виброскорости, V_{BC} , мм/с	Виброускорение, $a_{ВУ-СКЭ} / a_{ВУ-ПНК}$, м/с ²	Среднеквадратичное значение виброскорости, V_{BC} , мм/с	Виброускорение, $a_{ВУ-СКЭ} / a_{ВУ-ПНК}$, м/с ²
1	1,4	6,3/32,5	2,6	21,0/75,0
2	2,7	8,1/74,4	2,2	8,1/31,3
3	0,6	0,7/2,3	0,4	0,7/2,4
4	0,7	0,3/1,0	0,9	0,6/1,7
5	0,3	0,2/0,7	1,2	0,2/0,6
6	0,3	0,1/0,5	0,4	0,2/0,6

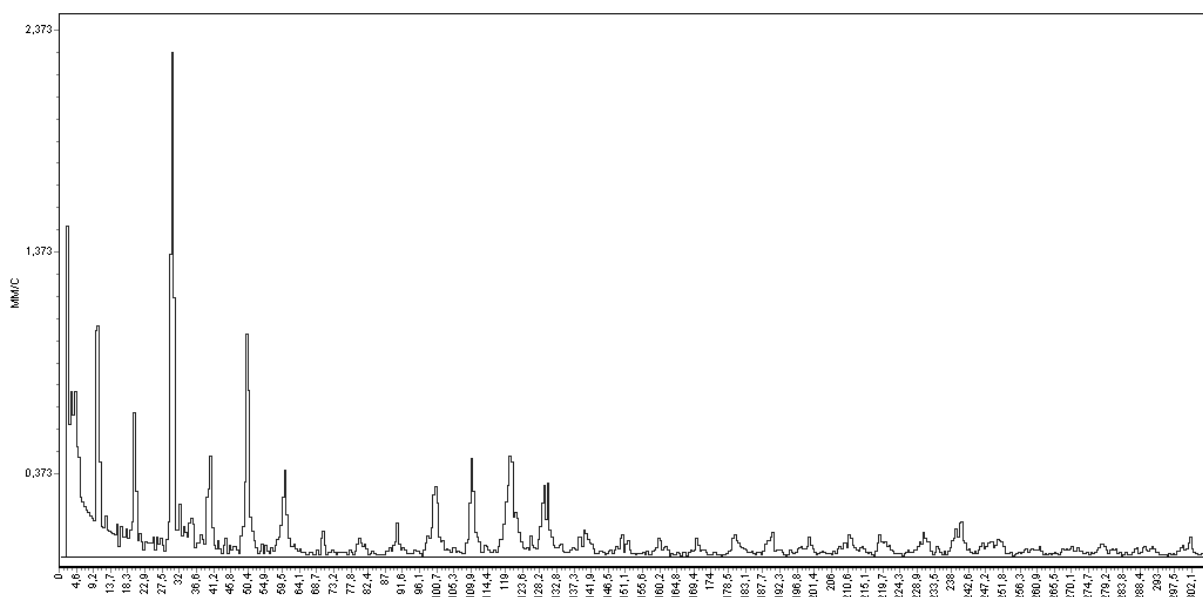


Рисунок 3 – Спектрограмма виброскорости двигателя 1 точка 1 (преобладание 3-й гармоники, связанной с ослаблением посадки подшипника в корпусе)

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).

В течение 2 лет контроля технического состояния 4 механизмов подъема сформировано 38 реализаций сочетания значений вибропараметров (рисунок 4). По каждому параметру известны допустимые значения – $S_{доп}$, $V_{доп}$, $a_{СКЗ.доп}$, $a_{ПК.доп}$. Простое сопоставление текущих измеренных значений вибропараметров с допустимыми не позволяло четко классифицировать состояние механизмов и выявить те случаи, в которых механизм подъема требовал приоритетного выполнения ремонтных воздействий.

Поэтому задача интерпретации полученных результатов измерения вибропараметров и градации технического состояния механизма подъема остается актуальной.

В статье описаны способы обработки результатов измерения вибропараметров, позволившие выполнить оценку и градацию технического состояния механизмов подъема металлургических кранов.

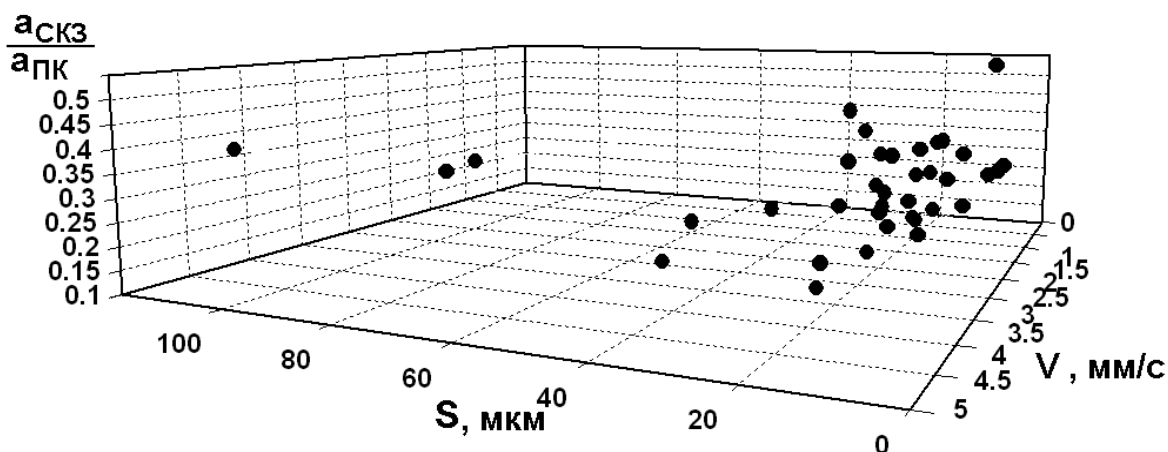


Рисунок 4 – Зафиксированные реализации вибропараметров

Изложение материала и результаты

С целью разграничения классов технического состояния (плохое, удовлетворительное, нормальное, хорошее) было решено результаты каждого измерения (реализации) вибропараметров (виброперемещение, виброскорость, виброускорение) свести к некоторому единичному показателю, значения которого и выступят характеристикой состояния механизма.

Для получения такого единичного показателя было предложено 7 способов обработки результатов диагностирования. Исходными данными для всех способов выступали массивы значений вибропараметров, полученные в результате диагностирования в контрольной точке – среднеквадратичное значение виброперемещения $\{S_i\}_n$, среднеквадратичное значение виброскорости $\{V_i\}_n$, среднеквадратичное значение виброускорения $\{a_{\overline{NEC}_i}\}_n$, пиковое значение виброускорения $\{a_{i\overline{E}_i}\}_n$ (i – номер реализации; n – размер массивов).

Способ №1. Обобщенная характеристика вибропараметров.

Для формирования обобщенной характеристики дополнительно к исходным данным были заданы ранги R вибропараметров (от 1 до 4), отражающие степень значимости вибропараметра при интерпретации технического состояния. Для виброскорости $R_V=4$, виброперемещения $R_S=3$, среднеквадратичного значения виброускорения $R_{a_{СКЗ}}=2$, пикового значения виброускорения $R_{a_{ПК}}=1$. Дальнейшая процедура обработки включала следующие шаги.

1. Формирование матрицы весовых коэффициентов $\{p_{i,j}\}_{n \times 4}$ по каждому вибропараметру для каждой реализации:

$$p_{i,1} = \frac{S_i}{S_{\overline{a\ddot{u}}}} ; p_{i,2} = \frac{V_i}{V_{\overline{a\ddot{u}}}} ; p_{i,3} = \frac{a_{\overline{NEC}_i}}{a_{\overline{NEC}_{\overline{a\ddot{u}}}}} ; p_{i,4} = \frac{a_{i\overline{E}_i}}{a_{i\overline{E}_{\overline{a\ddot{u}}}}}, i=1 \dots n.$$

2. Вычисление для каждой реализации обобщенной характеристики вибропараметров β_i , которая учитывает их ранги и весовые коэффициенты:

$$\beta_i = p_{i,1} \cdot R_S + p_{i,2} \cdot R_V + p_{i,3} \cdot R_{a_{\overline{NEC}}} + p_{i,4} \cdot R_{a_{\overline{E}}}, i=1 \dots n.$$

При этом наибольшие значения обобщенной характеристики соответствуют плохому техническому состоянию объекта, а наименьшие – хорошему.

Способ №2. Результирующий вектор $R1$.

Способ основан на вычислении для каждой реализации вибропараметров значения результирующего вектора $R1$:

$$R1_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + a_{\tilde{N}\tilde{E}\tilde{C}_i}^2}, \quad i = 1 \dots n.$$

Далее выполнялась сортировка значений $R1_i$ по убыванию. Наибольшие значения вектора отражают плохое техническое состояние объекта, а наименьшие – хорошее.

Способ №3. Результирующий вектор $R2$.

Способ основан на вычислении для каждой реализации вибропараметров результирующего вектора $R2$:

$$R2_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + a_{\tilde{E}\tilde{E}_i}^2}, \quad i = 1 \dots n.$$

Далее выполнялась сортировка значений $R1_i$ по убыванию. Наибольшие значения вектора соответствуют плохому техническому состоянию объекта, а наименьшие – хорошему.

Способ №4. Абсолютный вклад вибропараметров $A1$.

Каждая реализация вибропараметров представлялась в виде треугольника. Для этого на трех координатных осях виброперемещения S ; виброскорости V и среднеквадратичного значения виброускорения $a_{СКЗ}$, расположенных под углом 120 град., откладывались значения соответствующих параметров. Соединением полученных отметок отрезками формировался треугольник (рисунок 5) со сторонами b , c и d . Площадь треугольника соответствует абсолютному вкладу $A1$. Наибольшие значения площадей треугольников отвечают плохому состоянию механизма подъема.

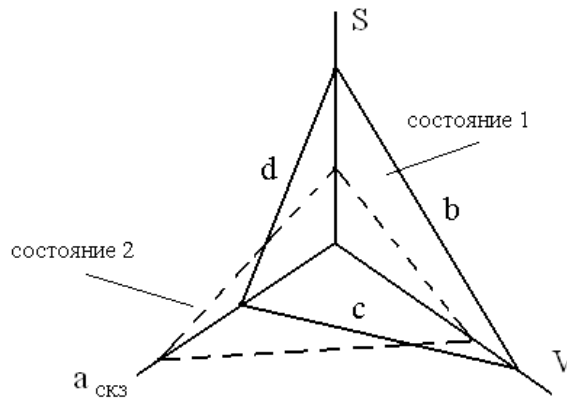


Рисунок 5 – Треугольник вибропараметров

Длины сторон треугольника определяются через значения вибропараметров по формулам:

$$b_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + S_i \cdot V_i}; \quad c_i = \sqrt{V_i^2 + a_{\tilde{N}\tilde{E}\tilde{C}_i}^2 + V_i \cdot a_{\tilde{N}\tilde{E}\tilde{C}_i}}; \quad d_i = \sqrt{S_i^2 + a_{\tilde{N}\tilde{E}\tilde{C}_i}^2 + S_i \cdot a_{\tilde{N}\tilde{E}\tilde{C}_i}}.$$

Абсолютный вклад вибропараметров $A1_i$:

$$A1_i = \sqrt{P_i \cdot (P_i - b_i) \cdot (P_i - c_i) \cdot (P_i - d_i)}, \quad i = 1 \dots n,$$

где $P_i = (b_i + c_i + d_i)/2$ – полупериметр треугольника.

Способ №5. Абсолютный вклад вибропараметров $A2$.

Способ аналогичен способу №4, только вместо среднеквадратичного значения виброускорения $a_{СКЗ}$ использовано пиковое значение виброускорения $a_{ПК}$.

Способ №6. Относительный вклад вибропараметров $O1$.

Способ аналогичен способу №4, но по осям координат откладывались весовые коэффициенты вибропараметров – $p_{i,1}$, $p_{i,2}$, $p_{i,3}$.

Способ №7. Относительный вклад вибропараметров $O2$.

Способ аналогичен способу №5, но по осям координат откладывались весовые коэффициенты вибропараметров – $p_{i,1}$, $p_{i,2}$, $p_{i,4}$.

На рисунке 6 показаны графики, иллюстрирующие значения единичных показателей, рассчитанных разными способами, для всех зафиксированных реализаций вибропараметров механизмов подъема.

Полученные зависимости позволили установить диапазоны изменения единичных показателей и выделить реализации вибропараметров, соответствующие разным группам технического состояния механизмов подъема кранов. Было отмечено, что для реализаций №19 и 23 значение единичного

показателя по всем способам оценки имеет максимальное значение, значит, сочетания значений вибропараметров, зафиксированных в этих реализаций характеризуют плохое состояние механизма.

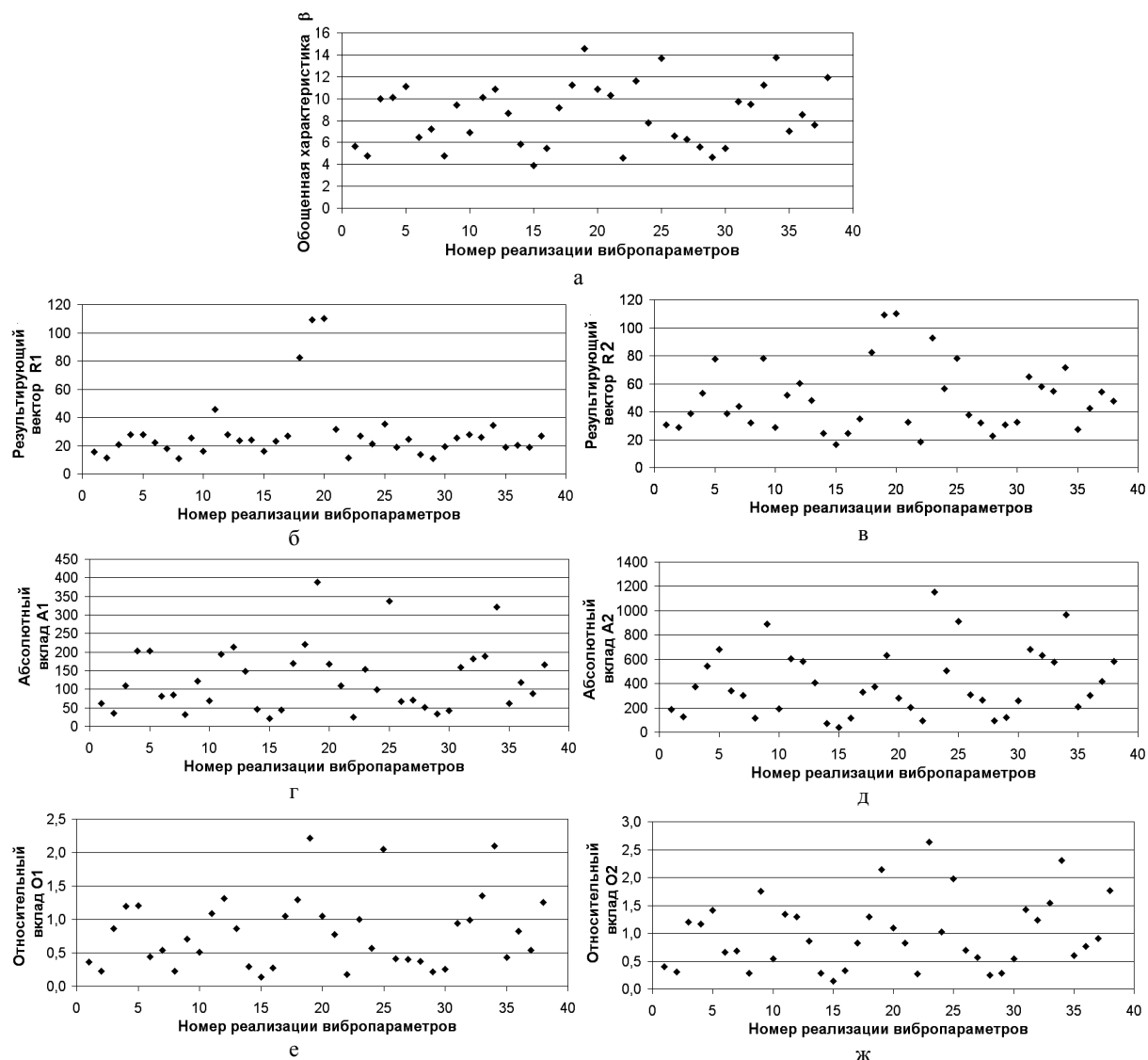


Рисунок 6 – Значения единичного показателя вибропараметров для способов оценки 1–7 (а–ж)

Однако для отдельных реализаций вибропараметров значения единичных показателей относили их к разным классам технического состояния. Поэтому для более четкой градации технических состояний механизма подъема и определения границ единичных показателей, отвечающих каждому состоянию, были установлены приоритеты реализаций в зависимости от значения показателей. Для этого все реализации вибропараметров были отсортированы по убыванию значений единичного показателя для каждого способа оценки. Приоритеты представлялись цифрами от 1 до 38 (по количеству реализаций), номер 1 соответствовал максимальному значению показателя и характеризовал наихудшее сочетание значений вибропараметров (плохое техническое состояние механизма подъема) и необходимость выполнения ремонтных воздействий. Полученные результаты приведены в таблице 2. Далее по каждой реализации было выполнено усреднение номеров приоритетов и сортировка в порядке возрастания (таблица 3).

Анализ данных таблицы 2 показал, что имеются реализации вибропараметров с одинаковыми или близкими номерами приоритетов. Представив полученный результат графически (рисунок 7), были выделены четыре группы реализаций с близкими приоритетами, которые определили 4 класса технических состояний: плохое, удовлетворительное, нормальное, хорошее. Сопоставление значений единичных показателей для выделенных групп реализаций позволило установить границы для каждого класса технического состояния (таблица 4).

Таблица 2 – Сводная таблица приоритетов реализаций для разных способов оценки

Номер реализации	Номер приоритета по способу оценки							Номер реализации	Номер приоритета по способу оценки						
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
1	30	33	29	28	30	30	30	20	9	1	1	12	24	11	16
2	35	36	32	34	31	34	32	21	11	7	26	20	28	19	21
3	14	24	21	19	17	16	14	22	37	35	37	37	35	37	36
4	12	11	15	6	13	9	15	23	5	13	3	15	1	13	1
5	8	9	7	7	5	8	9	24	21	23	12	21	14	21	17
6	27	22	22	24	19	25	25	25	3	5	5	2	3	3	4
7	23	30	19	23	22	23	24	26	26	27	23	27	21	27	23
8	34	38	27	36	33	35	33	27	28	18	28	25	25	28	27
9	17	16	6	17	4	20	6	28	31	34	36	30	36	29	37
10	25	32	31	26	29	24	28	29	36	37	30	35	32	36	35
11	13	4	16	8	9	10	10	30	32	26	25	33	26	33	29
12	10	8	10	5	10	5	11	31	15	17	9	14	6	15	8
13	19	20	17	16	16	17	19	32	16	10	11	10	7	14	13
14	29	19	35	31	37	31	34	33	7	15	13	9	12	4	7
15	38	31	38	38	38	38	38	34	2	6	8	3	2	2	2
16	33	21	34	32	34	32	31	35	24	29	33	29	27	26	26
17	18	14	24	11	20	12	20	36	20	25	20	18	23	18	22
18	6	3	4	4	18	6	12	37	22	28	14	22	15	22	18
19	1	2	2	1	8	1	3	38	4	12	18	13	11	7	5

Таблица 3 – Усредненный приоритет реализаций

Номер реализации	Номер приоритета	Номер реализации	Номер приоритета	Номер реализации	Номер приоритета
19	3	31	12	35	28
25	4	9	12	10	28
34	4	17	17	30	29
23	8	13	18	1	30
5	8	3	18	14	31
18	8	24	18	16	31
12	8	21	19	28	33
33	10	37	20	2	33
11	10	36	21	8	34
38	10	6	23	29	34
20	11	7	23	22	36
4	12	26	25	15	37
32	12	27	26		

Таблица 4 – Градация технического состояния механизмов подъема кранов по единичным показателям вибропараметров

Техническое состояние	Единичный показатель вибропараметров						
	β	$R1$	$R2$	$A1$	$A2$	$O1$	$O2$
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

С учетом представленных результатов классификация технического состояния механизма подъема крана после измерения вибропараметров должна выполняться в следующей последовательности: 1) по одному или нескольким способам оценки рассчитывается единичный показатель вибропараметров; 2) полученное значение сравнивается с граничными значениями показателя из таблицы 3; 3) делается вывод о классе технического состояния механизма подъема.

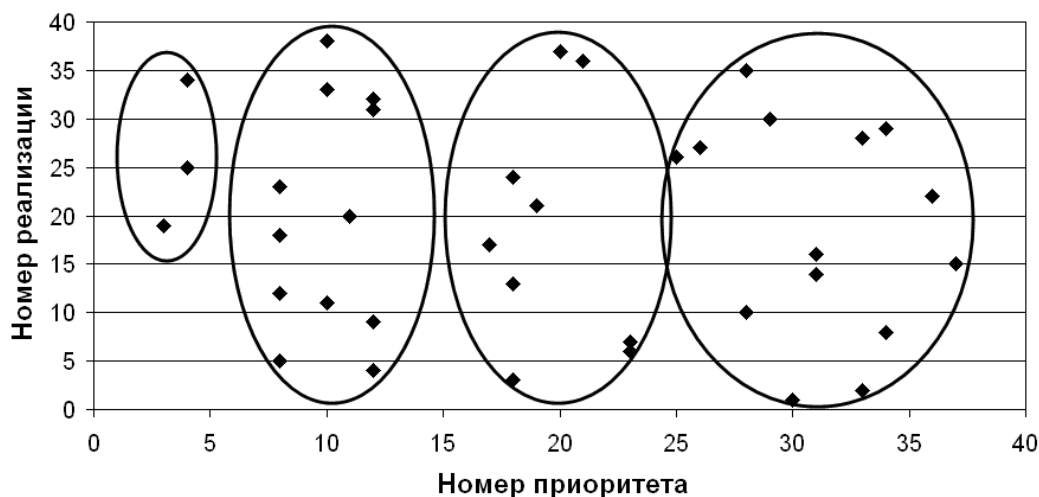


Рисунок 7 – Группировка реализаций вибропараметров

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, в результате выполненных исследований:

1. Предложены способы определения единичного показателя для оценки технического состояния механизмов подъема по вибропараметрам – виброперемещению, виброскорости, виброускорению.
2. Установлены границы единичных показателей, позволяющие определить класс технического состояния механизмов подъема металлургических кранов.

Для точной идентификации технического состояния механизмов подъема планируется кроме вибропараметров использовать анализ силовых параметров, регистрируемых с помощью тензометрических датчиков на неподвижных и вращающихся деталях.

Библиографический список использованной литературы

1. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. — М.: Машиностроение, 1996. — 276 с.
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. — М.: Машиностроение, 2000. — 344 с.
3. Баркова Н.А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования: учебное пособие / Н.А. Баркова. — СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2003. — 160 с.
4. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. — СПб.: СПбГМТУ, 2004. — 156 с.
5. ПБ-10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2003. — 272 с.
6. Сборник методических указаний по оценке технического состояния грузоподъемных кранов. — Харьков, 1995. — 339 с.

Поступила в редакцию 2.03.2012 г.

Сидоров В.О., Ошовська О.В., Руденко В.І. Визначення технічного стану механізмів підйому мостових кранів за параметрами вібрації

Представлено способи формування одиничних показників за результатами вимірювання вибропараметрів, що дозволили виконати оцінку і градацію технічного стану механізмів підйому металургійних кранів.

Ключові слова: механізм підйому, технічний стан, вібраційні параметри.

Sidorov V.A., Oshovskaya E.V., Rudenko V.I. Definition of the technical condition of mechanisms of lifting bridge cranes on vibration parameters

The paper presents methods of single indicators formation due to vibration parameters measuring, so it can evaluate and delineate the technical state of metallurgical cranes' lifting mechanisms.

Keywords: lifting mechanism, technical condition, vibration parameters.