

УДК 621.873: 658. 58

В.А. Сидоров, канд. техн. наук, доц.,
Е.В. Ошовская, канд. техн. наук, доц.,
Донецкий национальный технический университет

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ

В статье представлены способы формирования единичных показателей оценки технического состояния по результатам измерения вибрационных параметров для механизмов подъема металлургических кранов.

Ключевые слова: металлургический кран, механизм подъема, техническое состояние, вибрационные параметры, оценка, единичный показатель.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. На металлургических предприятиях эксплуатируется значительное количество кранового оборудования. 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, важным является 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 имеющиеся 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, ста-

тистические 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 разливочные краны, имеющие однотипную конструкцию механизма главного подъема грузоподъемностью 110 т (рисунок 1). 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.

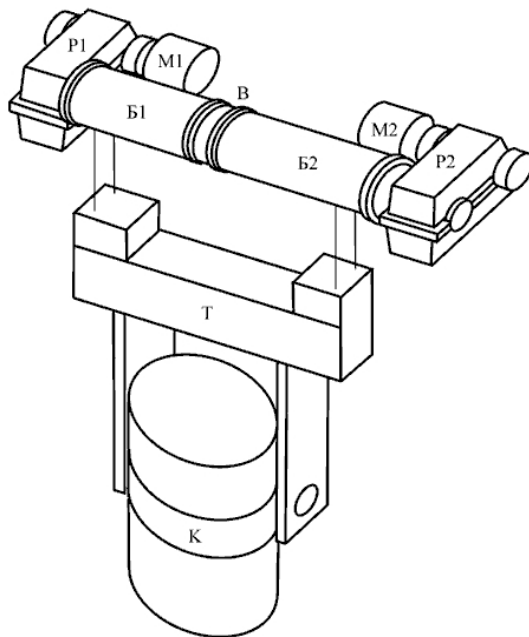


Рис. 1. – Схема механизма главного подъема крана:
 М1, М2 –двигатели; Р1, Р2 – редукторы; Б1, Б2 – барабаны;
 В – промежуточная вставка; Т – траверса; К – ковш (бадя)

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).

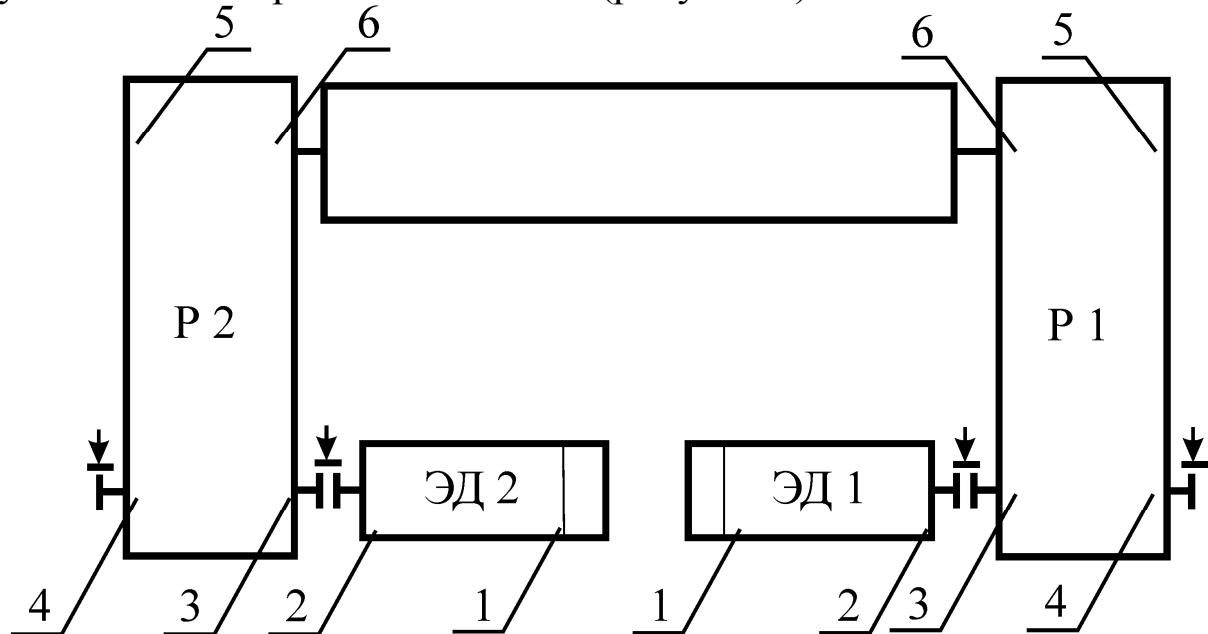


Рис. 2. – Расположение контрольных точек при измерении вибрации

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

Точка измерения	Редуктор 1		Редуктор 2	
	Среднеквадратичное значение виброскорости V , мм/с	Виброускорение $a_{СКЗ}/a_{ПК}$, м/с ²	Среднеквадратичное значение виброскорости V , мм/с	Виброускорение, $a_{СКЗ}/a_{ПК}$, 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

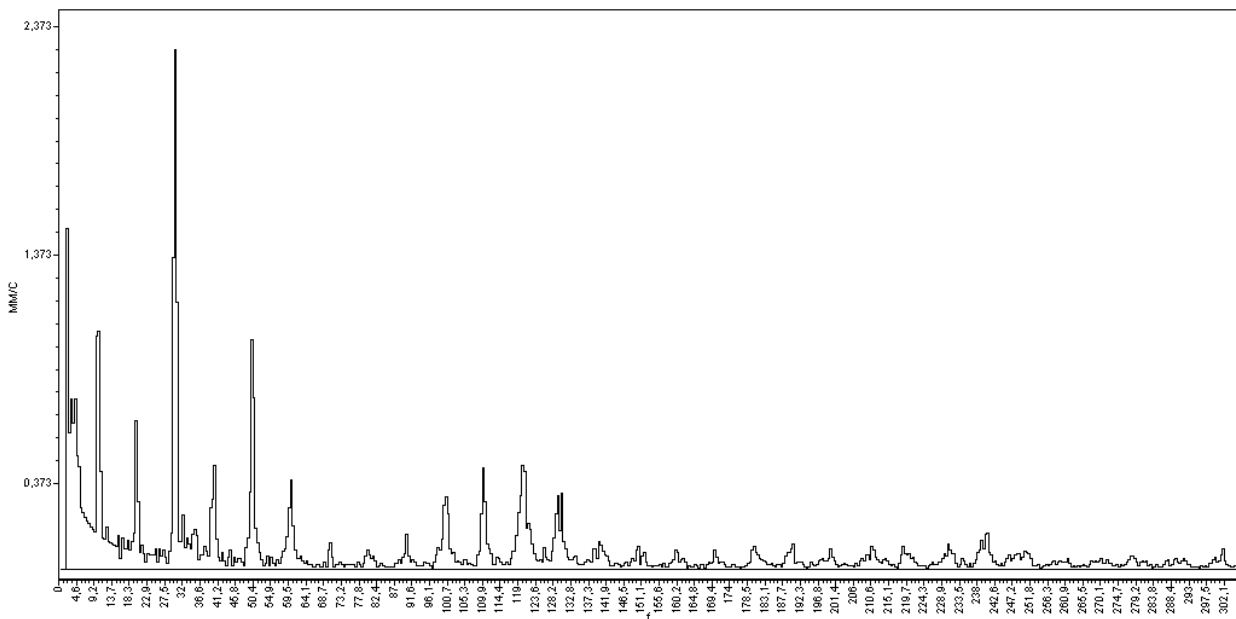


Рис. 3. – Спектрограма виброскорості двигателя 1, точка 1 (преобладание 3-й гармоники, связанной с ослаблением посадки подшипника в корпусе)

В процессе измерения фиксируются: среднеквадратичное значение виброперемещения S (мкм), среднеквадратичное значение виброскорости V (мм/с), среднеквадратичное $a_{СКЗ}$ и пиковое $a_{ПК}$ значения виброускорения (m/c^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.

Изложение материала и результаты.

С целью разграничения классов технического состояния (плохое, удовлетворительное, нормальное, хорошее) было решено результаты каждого измерения (реализации) вибропараметров (вибропере-

мещенеи, виброскорость, виброускорение) свести к некоторому единичному показателю, значения которого и выступают характеристикой состояния механизма.

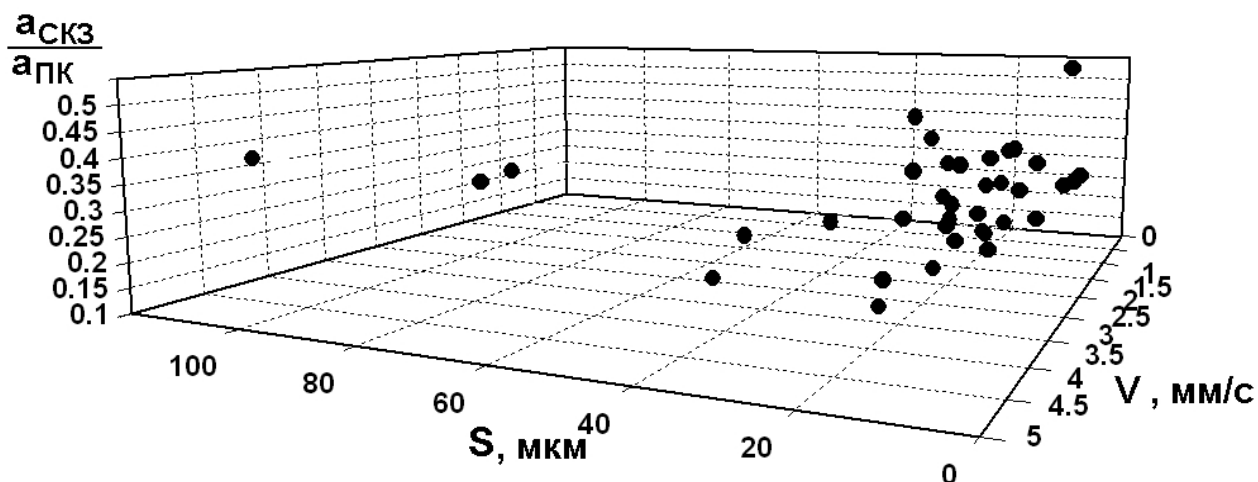


Рис. 4. – Зафиксированные реализации вибропараметров

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 – среднееквадратичное значение виброперемещения $\{S_i\}_n$, среднееквадратичное значение виброскорости $\{V_i\}_n$, среднееквадратичное значение виброускорения $\{a_{СКЗ_i}\}_n$, пиковое значение виброускорения $\{a_{ПК_i}\}_n$ (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 $R_S=3$, среднееквадратичного 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:

$$p_{i,1} = \frac{S_i}{S_{\text{доп}}} ; p_{i,2} = \frac{V_i}{V_{\text{доп}}} ; p_{i,3} = \frac{a_{СКЗ_i}}{a_{СКЗ.\text{доп}}} ; p_{i,4} = \frac{a_{ПК_i}}{a_{ПК.\text{доп}}} , i = 1 \dots n.$$

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

$$\beta_i = p_{i,1} \cdot R_S + p_{i,2} \cdot R_V + p_{i,3} \cdot Ra_{СКЗ} + p_{i,4} \cdot Ra_{ПК}, i = 1 \dots n.$$

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:

$$R1_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + a_{СКЗ_i}^2}, i = 1 \dots n.$$

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:

$$R2_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + a_{ПК_i}^2}, i = 1 \dots n.$$

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.

Длины сторон треугольника определяются через значения вибропараметров по формулам:

$$b_i = \sqrt{S_i^2 + V_i^2 + S_i \cdot V_i}; \quad c_i = \sqrt{V_i^2 + a_{\text{СКЗ}i}^2 + V_i \cdot a_{\text{СКЗ}i}};$$

$$d_i = \sqrt{S_i^2 + a_{\text{СКЗ}i}^2 + S_i \cdot a_{\text{СКЗ}i}}.$$

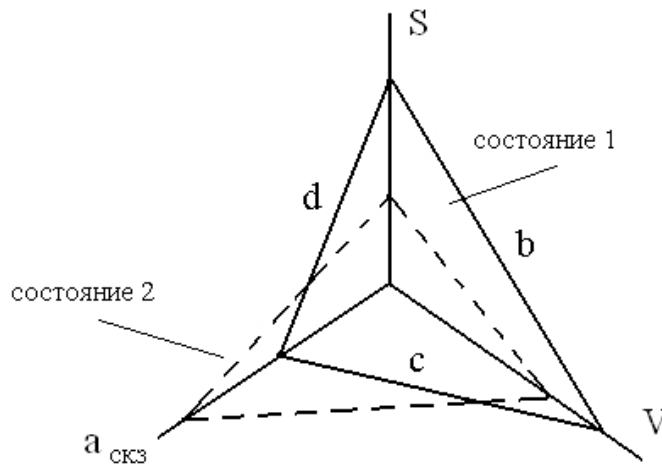


Рис. 5. – Треугольник вибропараметров

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 $a_{\text{СКЗ}i}$ использовано пиковое значение виброускорения $a_{\text{ПК}i}$.

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.

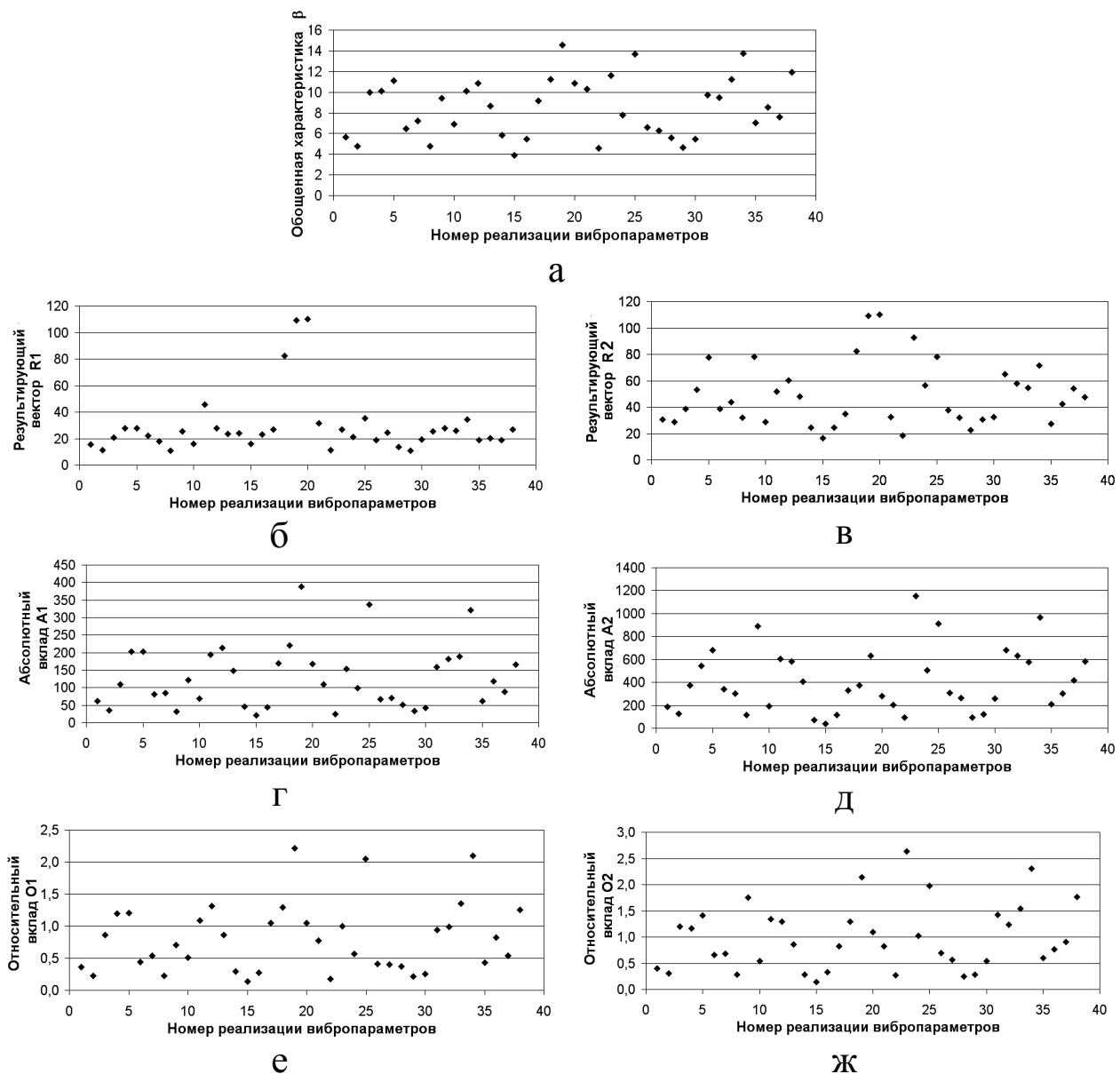


Рис. 6. – Значения единичного показателя вибропараметров для способов оценки №1–7 (а–ж)

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.

Однако, для отдельных реализаций вибропараметров значения единичных показателей относили их к разным классам технического состояния. Поэтому для более четкой градации технических состоя-

ний 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 проставлялись 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).

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		

Анализ данных таблицы 3 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 механизмов подъема кранов (таблица 4).

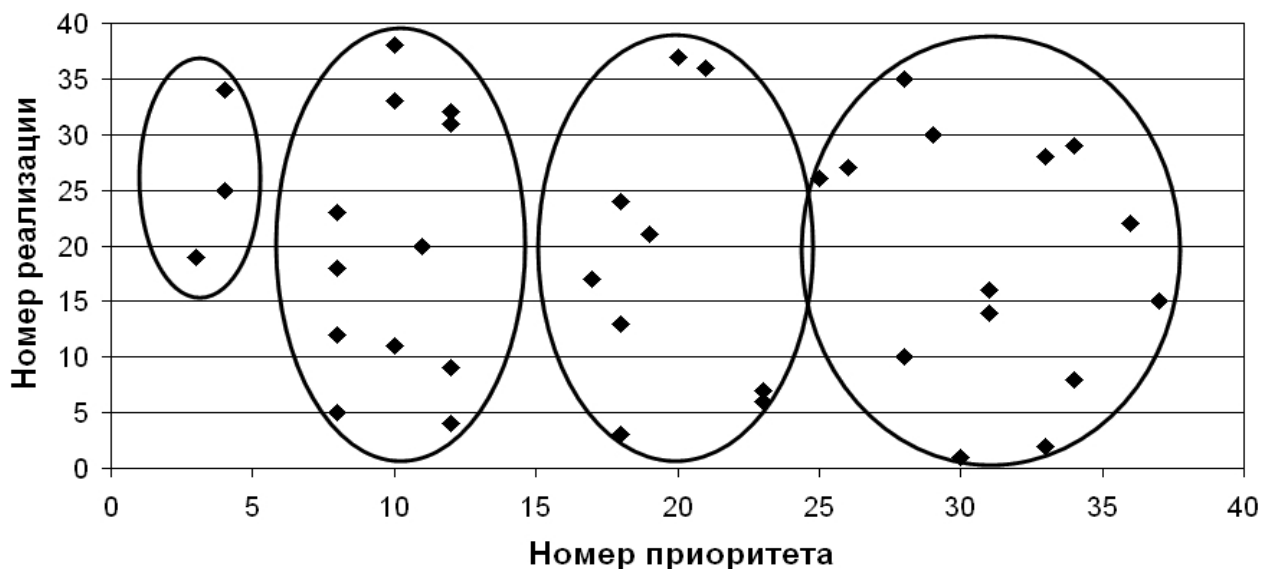


Рис. 7. – Группировка реализаций вибропараметров

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.

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.

Список 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. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов: ПБ-10-382-00. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2003. – 272 с.
6. Сборник методических указаний по оценке технического состояния грузоподъемных кранов. – Х., 1995. – 339 с.

Стаття надійшла до редколегії 25.10.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Єронько С.П.

В.А. Сидоров, О.В. Ошовська. *Оцінка технічного стану механізмів підйому металургійних кранів. У статті представлені способи формування одиничних показників за результатами вимірювання вібропараметрів, що дозволили виконати оцінку і градацію технічного стану механізмів підйому металургійних кранів.*

Ключові слова: металургійний кран, механізм підйому, технічний стан, вібропараметри, оцінка, одиничний показник.

V. Sidorov, E. Oshovskaya. *Evaluation of Technical State of Metallurgical cranes' Lifting Mechanisms. The paper presents the methods of single indicators formation by the result of vibration parameters measuring, so it can evaluate and delineate the technical state of metallurgical cranes' lifting mechanisms.*

Keywords: metallurgical crane, lifting mechanism, vibration parameters, evaluation, single indicator.

© Сидоров В.А., Ошовская Е.В., 2012