

УДК 621.873: 658. 58

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАВНОГО ПОДЪЕМА РАЗЛИВОЧНОГО КРАНА

Борисенко В.Ф., Сидоров В.А., Бажутин Д.В., Бутенко М.П.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [sidorov\\_va@ukr.net](mailto:sidorov_va@ukr.net)

**Аннотация.** В статье приводятся результаты обследования электромеханической системы главного подъема разливочного крана и даются рекомендации по улучшению его работы

**Ключевые слова:** электромеханическая система, механизм главного подъема, разливочный кран, техническое состояние

### 1. Введение.

**Состояние вопроса.** В работе сталеплавильных цехов разливочные мостовые краны осуществляют транспортирование ковшей с расплавленным металлом. Данная операция является частью технологического процесса, поэтому обеспечение безотказной работы механизмов данной металлургической машины (специального крана) является актуальной задачей, определяющей технологическую безопасность производства [1...4]. В процессе эксплуатации было замечено, что приводные двигатели китайского производства механизма главного подъема перегреваются. После их перемотки режим работы электромеханической системы (ЭМС) главного подъема крана №10 стабилизировался, но появились повышенные шумы по одному из двигателей. По крану №12 в механизме главного подъема прослушивались посторонние шумы и стуки низкой тональности в редукторе, по подшипникам двигателя – шумы повышенной тональности с глухими ударами; в соединительных муфтах также отмечены удары.

**Цель и задачи исследования.** Недостатки в работе, зафиксированные в процессе эксплуатации, предлагаются классифицировать на базе оценки вибрационного состояния звеньев системы и дать рекомендации по их устраниению, а также по улучшению работы ЭМС главного подъема разливочного крана в целом.

### 2. Основное содержание и результаты работы

Завалочный (№10) и разливочный (№12) имеют идентичную конструкцию механизма главного подъема грузоподъемностью 110 т. На рисунке 1 приведена схема механизма подъема с детализацией отдельных узлов. Номинальная мощность приводных двигателей – 110 кВт, частота вращения – 585 об/мин, тип двигателя – YTSZ 315L10, передаточное отношение редукторов – 63, кратность полиспаста – 4, количество полиспастов – 4, диаметр каната со стальным сердечником – 25,0 мм. Синхронизация работы электродвигателей осуществляется электрически, механические элементы синхронизации отсутствуют.

Приводные двигатели получают питание от преобразователей частоты – система ПЧ – АД с векторным управлением и обратной связью по скорости. Для реализации подъемно-транспортных операций предусмотрены четыре рабочих скорости:  $V_1 = 0,6$  м/мин;  $V_2 = 1,2$  м/мин;  $V_3 = 3,0$  м/мин;  $V_4 = 6,0$  м/мин. Эти скорости могут быть получены при частотах питания, соответственно – 5 Гц, 10 Гц, 25 Гц, 50 Гц, что для двигателя с пятью парами полюсов дает следующие частоты вращения:  $n_1 = 60 \text{ мин}^{-1}$ ;  $n_2 = 120 \text{ мин}^{-1}$ ;  $n_3 = 300 \text{ мин}^{-1}$ ;  $n_4 = 600 \text{ мин}^{-1}$ . Время разгона системы с задатчиком интенсивности составляет 3,0 с; время торможения – 2,5 с.

Измерение вибрации выполнялось в контрольных точках, указанных на рисунке 2: 1 – свободный подшипник двигателя; 2 – подшипник двигателя от муфты; 3 – подшипник приводной стороны входного вала редуктора; 4 – подшипники холостой стороны входного вала редуктора; 5 – подшипник холостой стороны выходного вала редуктора; 6 – подшипник приводной стороны тихоходного вала редуктора.

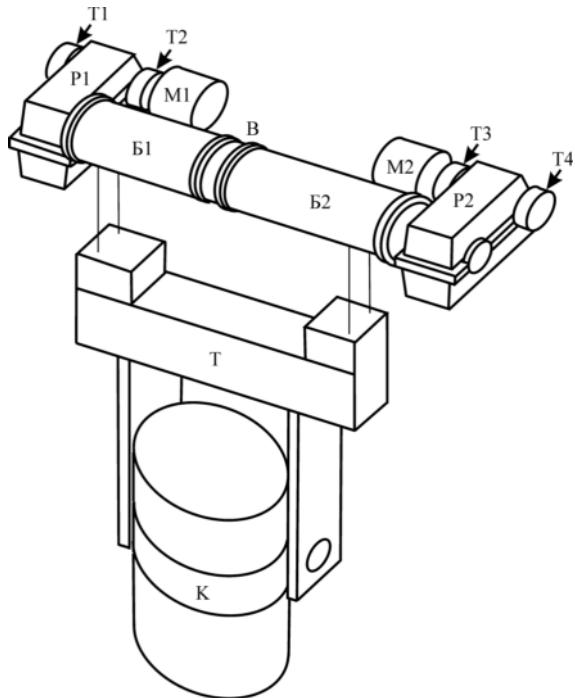


Рис. 1. Схема механизма главного подъема крана:

М1, М2 – приводные асинхронные двигатели; Р1, Р2 – редукторы;  
Б1, Б2 – барабаны; В – промежуточная вставка; Т – траверса; К – ковш (бадья)

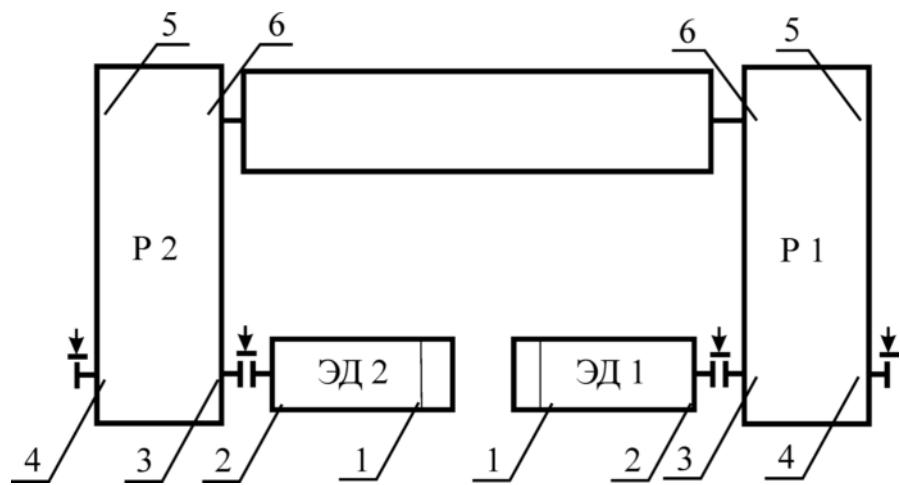


Рис. 2. Расположение контрольных точек при измерении вибрации

Для оценки технического состояния использованы нормативные значения, регламентированные ГОСТ 10816 – 1 - 97 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях». Значения выброскорости, определяющие границы состояний: до 2,8 мм/с – функционирование без ограничения

сроков; 2,8...7,1 мм/с – функционирование в ограниченном периоде времени; свыше 7,1 мм/с – возможны повреждения машины. Значения приведены для работы под нагрузкой. Частотный диапазон при измерении виброскорости принят 2...1000 Гц.

Состояние подшипников качения было оценено по результатам измерений пикового и среднеквадратичного значений виброускорения в частотном диапазоне 10...4000 Гц и приняты следующие правила: 1) хорошее состояние – пиковое значение не превышает 10,0 м/с<sup>2</sup>; 2) удовлетворительное состояние – среднеквадратичное значение не превышает 10,0 м/с<sup>2</sup>; 3) плохое состояние наступает при превышении среднеквадратичным значением 10,0 м/с<sup>2</sup>; 4) при пиковых значениях превышающих 100,0 м/с<sup>2</sup>, состояние становится аварийным. Один из признаков наличия значительных повреждений – присутствие в спектре виброускорения составляющих со значениями свыше 9,8 м/с<sup>2</sup>.

Результаты измерений параметров общего уровня вибрации для контрольных точек по исследуемым механизмам подъема кранов №10 и №12 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения параметров вибрации для контрольных точек механизмов подъема кранов №10 и №12

Точка измерения	Редуктор 1				Редуктор 2			
	Среднеквадратичное значение виброскорости, $V_{BC}$ , мм/с		Виброускорение, $a_{BY-СКЗ}/a_{BY-ПИК}$ , м/с <sup>2</sup>		Среднеквадратичное значение виброскорости, $V_{BC}$ , мм/с		Виброускорение, $a_{BY-СКЗ}/a_{BY-ПИК}$ , м/с <sup>2</sup>	
	Кран №10	Кран №12	Кран №10	Кран №12	Кран №10	Кран №12	Кран №10	Кран №12
1	1,4	4,4	6,3/32,5	5,6/25,1	2,6	2,9	21,0/75,0	7,5/24,7
2	2,7	4,2	8,1/74,4	14,9/44,3	2,2	1,6	8,1/31,3	19,4/57,0
3	0,6	2,4	0,7/2,3	1,2/5,0	0,4	0,5	0,7/2,4	0,9/2,7
4	0,7	3,3	0,3/1,0	0,9/3,2	0,9	1,1	0,6/1,7	0,7/2,2
5	0,3	0,5	0,2/0,7	0,5/1,5	1,2	1,1	0,2/0,6	0,6/1,8
6	0,3	0,7	0,1/0,5	0,4/1,5	0,4	1,0	0,2/0,6	0,9/3,0

Анализируя результаты измерений по крану №10, можно констатировать, что значения виброскорости в точках 1...6 соответствуют хорошему состоянию ( $V < 2,8$  мм/с); а значения виброускорения в точках 3...6 редукторов также хорошему состоянию;  $V_{BC}$  в точках 1, 2 двигателей – удовлетворительному и  $a_{BY}$  – плохому состоянию. Исходя из общих правил контроля, можно предположить, что возможной неисправностью является нарушение режима смазывания в подшипниках двигателей.

Основные рекомендации по крану №10 связаны с восстановлением режима смазывания, проверкой соосности валов двигателя и редуктора, осмотром соединительных муфт.

По крану №12 (табл.1) результаты измерений свидетельствуют о следующем:

- значения виброскорости в точках 3...6 соответствуют хорошему состоянию, аналогичный вывод можно сделать и для значений виброускорения в этих же точках;
- значения виброускорения для контрольных точек 1 и 2 подшипников двигателей соответствуют удовлетворительному и плохому состоянию соответственно.

При прослушивании шумов механизма удалось установить, что в шумах редукторов содержатся стуки низкой тональности, а в шумах подшипников двигателей – повышенной тональности с глухими ударами; в соединительных муфтах присутствуют

удары. К числу возможных неисправностей следует отнести недостаток смазочного материала в подшипниках двигателя, повреждения муфт, несоосность валов двигателей и быстроходных валов редукторов. Визуальный осмотр позволил установить наличие ослабления резьбовых соединений промежуточной вставки барабана (рисунок 3).



Рис. 3. Ослабление резьбовых соединений промежуточной вставки барабана

Спектральный анализ составляющих вибрации позволил установить следующее.

*Кран №10.* Для двигателя (редуктора №1) отмечается присутствие шумовых компонент малой амплитуды (рисунок 4), что, возможно, связано с недостатком смазочного материала. В спектре виброускорения (редуктор №1) присутствуют составляющие на частотах 200, 400, 600 Гц (рисунок 5). Для двигателя (редуктор №2) наблюдаются 1-я и 2-я гармоники оборотной частоты 10 Гц, а также - частота 200 Гц. Редуктор №2 - преобладает оборотная составляющая 10 Гц и субгармоника, свидетельствующая об ослаблении посадки подшипников и ослаблении резьбовых соединений (рисунок 5).

Состояние механизма главного подъема крана 10 – удовлетворительное. Возможные неисправности: недостаток смазки в подшипниках двигателей. Рекомендуется: провести дополнительное смазывание подшипников двигателей, выполнить осмотр соединительных муфт и проверить отклонения от соосности валов двигателя и редуктора.

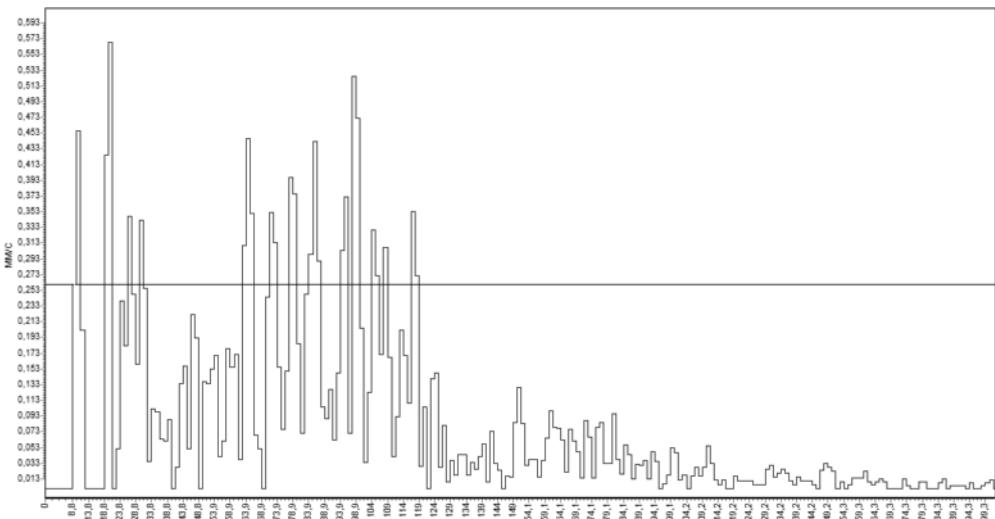


Рис. 4. Спектрограмма виброскорости в точке 2 двигателя (редуктор №1)

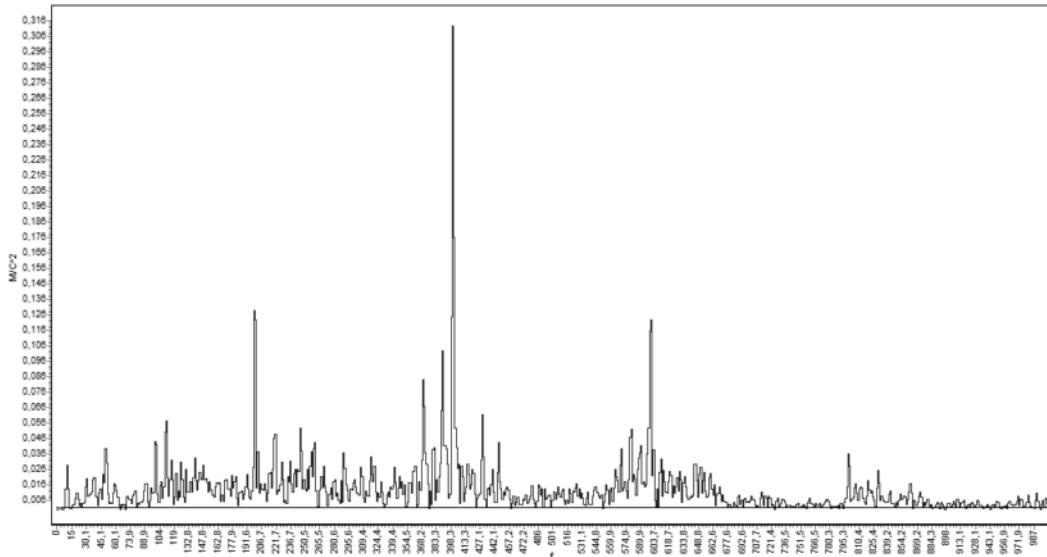


Рис. 5. Спектрограмма виброускорения в точке 3 (редуктор №1)

*Кран №12.* В спектрах виброскорости (подшипники) двигателя 1 присутствуют 3-я и 5-я гармоники (рисунок 6). Это может быть следствием проворота подшипника в корпусе, при ослаблении посадки.

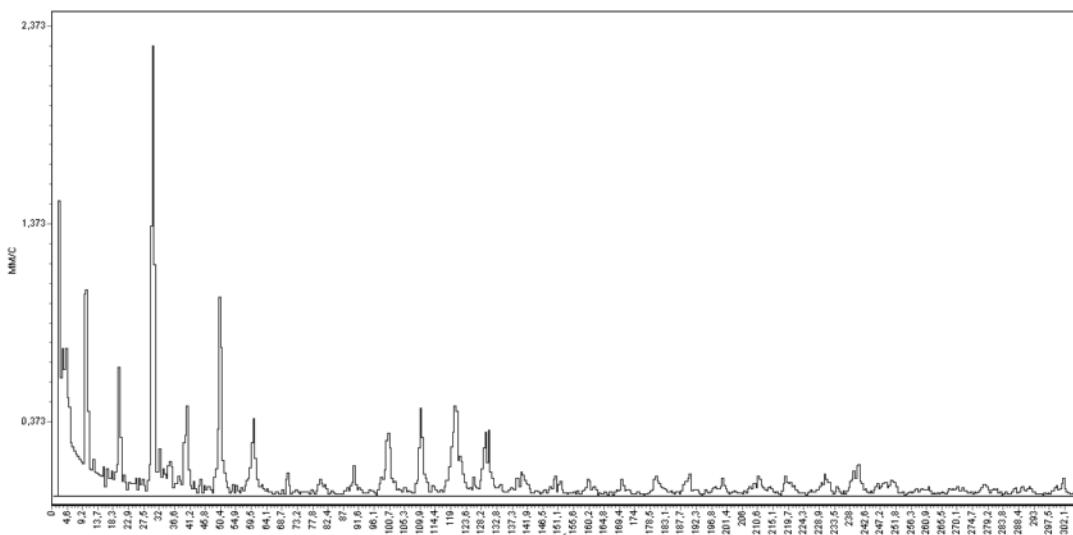


Рис. 6. Спектрограмма виброскорости двигателя 1 точка 1 преобладание 3-й гармоники

В высокочастотной части спектра виброускорения подшипников двигателя 1 и 2 присутствует модуляция частотой 100 Гц (рисунок 7). Это может быть следствием начальной стадии повреждений в электрической части. В низкочастотной части спектра виброускорения подшипников двигателя 1 присутствуют гармонические составляющие (рисунок 8), свидетельствующие о процессах схватывания или заедания. В спектре виброскорости по подшипникам редуктора 1 в точке 4 присутствует 4-я гармоника, что может быть следствием несоосности валов. В спектрограмме виброускорения в точке 5 редуктора 1 присутствуют гармонические составляющие 50 Гц, 100 Гц, 150 Гц, 200 Гц,

нарастающие по амплитуде. По редуктору 2 в точке 3 зафиксированы полуторные гармоники 3/2 и 5/2 – результат ослабления посадки подшипников качения.

Состояние механизма главного подъема разливочного крана 12 - плохое. Состояние редукторов – удовлетворительное. Возможные неисправности: плохое качество смазывания подшипников двигателя 2, ослабление посадки и проворот подшипников в корпусе двигателя 1, повреждения по муфте двигателя 1, повреждения в электрической части, несоосность валов, заедания в подшипниках двигателя 1. Повреждения от двигателя 1 и муфты передаются на элементы редуктора. Повреждения малой и средней степени. Рекомендуется: провести замену двигателя 1 и сопрягаемой муфты.

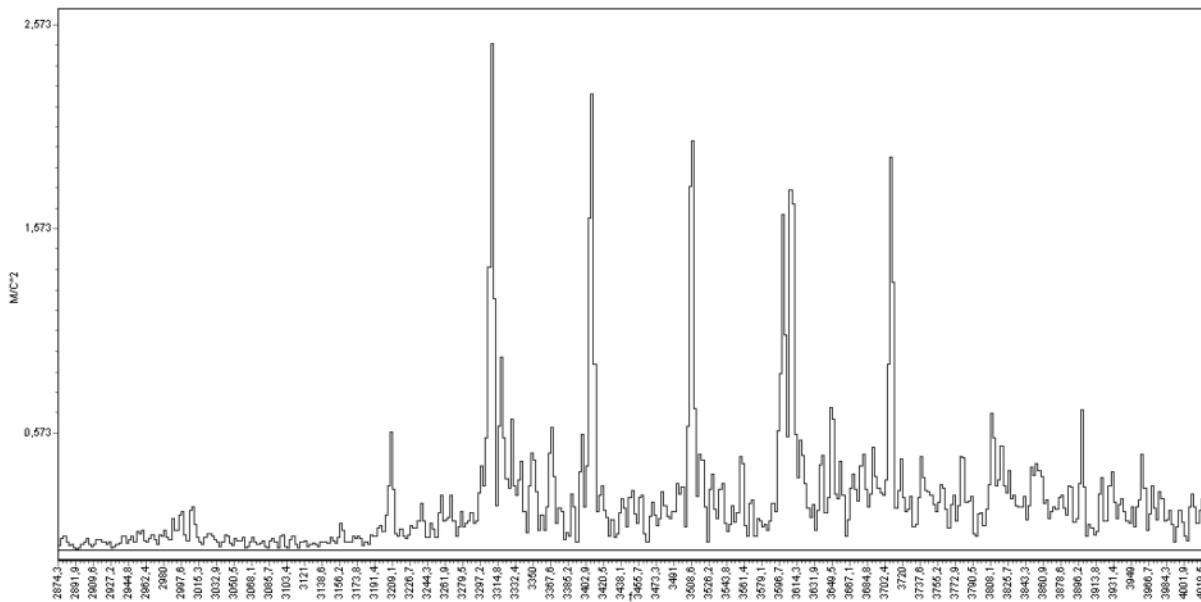


Рис. 7. Спектрограмма виброускорения двигателя 1 точка 1, модуляция частотой 100 Гц

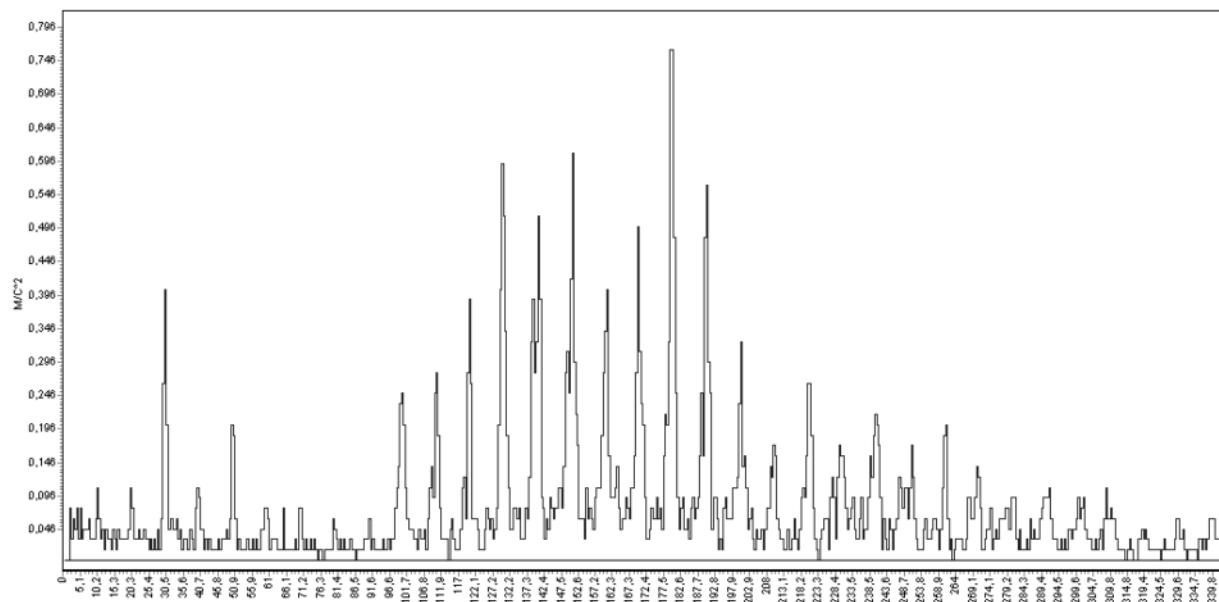


Рис. 8. Спектрограмма виброускорения двигателя 1 точка 2 гармонические составляющие

### **3. Заключение**

1. Состояние механизма главного подъема крана №12 было классифицировано как плохое.

2. Для повышения работоспособности механизма и обеспечения безотказной работы необходимо провести замену двигателя и равномерную затяжку резьбовых соединений промежуточной вставки барабана с контролируемым моментом затяжки – 600 Н·м.

3. Наиболее характерные неисправности привода связаны с нарушением соосности валов двигателя и редуктора и отсутствием специализированного инструмента и специалистов по центровке.

4. Оценку возможностей продолжения эксплуатации ЭМС главного подъема предлагается осуществить на базе результатов моделирования поведения системы в аномальных режимах с учетом развивающихся неисправностей.

**Список литературы:** 1. Кияновский Н.В. Новые разделы в теории и практике надежности машин. Издательство «Минерал», Кривой Рог. 1998. – 210 с. 2. Логов А.Б., Замараев Р.Ю. Математические модели диагностики уникальных объектов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 228 с. 3. Ловчиновский Э.В., Вагин В.С. Эксплуатационные свойства металлургических машин. – М.: Металлургия, 1986. – 160 с. 4. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: НМК ВО, 1992. – 368 с.

### ***ESTIMATION OF THE CONDITION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM MAIN LIFTING РАЗЛИВОЧНОГО ОТ КРАНЕ***

***Borisenko V. F, Sidorov V. A, Bazhutin D. V, Butenko M. P***

***(ДонНТУ, Donetsk, Ukraine) Tel./fax: +38(062) 3050104; E-mail: [sidorov\\_va@ukr.net](mailto:sidorov_va@ukr.net)***

***The summary.*** In article the results of electromechanical system's inspection of the pouring crane's main lifting are shown and recommendations about improvement of its work are given.

***Keywords:*** electromechanical system, the mechanism of the main lifting, metallurgical the crane, a technical condition.

### ***ОЦІНКА СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОГО ПІДЙОМУ РАЗЛИВОЧНОГО КРАНА***

***Борисенко В.Ф., Сидоров В.А., Бажутин Д.В., Бутенко М.П.***

***(ДонНТУ, Донецьк, Україна) Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail:***

***[sidorov\\_va@ukr.net](mailto:sidorov_va@ukr.net)***

***Анотація.*** У статті приводяться результати обстеження електромеханічної системи головного підйому розливочного крана й даються рекомендації з поліпшення його роботи.

***Ключові слова:*** електромеханічна система, механізм головного підйому, розливочний кран, технічний стан.

Надійшла до редколегії 20.06.2011 р.