

УДК 669.02/09

**В.А. Сидоров** (канд. техн. наук, доц.),  
**Е.В. Ошовская** (канд. техн. наук, доц.),  
**А.С. Герасименко** (студентка),

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СВОДА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ ПО ПАРАМЕТРАМ ГИДРОПРИВОДА**

*В статье представлены результаты исследований по определению рационального диагностического параметра гидропривода для оценки технического состояния механизма поворота свода электродуговой печи.*

**Ключевые слова:** гидроцилиндр, опорное кольцо, свод, электродуговая печь, диагностический параметр, техническое состояние.

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

Контроль фактических параметров работы гидропривода позволяет оценивать общее техническое состояние механизма. Эффективность технического диагностирования гидропривода доказана многими работами. Выбор диагностических параметров проводится исходя из особенностей конструкции конкретного механизма. При соединении общих решений и индивидуальных решающих правил появляется возможность повысить точность диагноза и обоснованно выполнять упреждающие ремонтные воздействия. Специфические условия эксплуатации металлургических машин требуют проведения исследований для выбора рациональных диагностических параметров.

### ***Анализ исследований и публикаций.***

Известные работы по гидроприводу металлургических машин [1-5, 7] включают общие рекомендации относительно возможности диагностирования гидроцилиндров. Мощные гидроцилиндры, используемые в приводе механизмов электродуговых печей (ЭДП), появились относительно недавно и в указанных работах не рассматриваются. Кроме того работы по диагностированию данных механизмов не носят систематического характера.

### ***Постановка задачи.***

В современных конструкциях электродуговых печей преобладает гидравлический привод, к достоинствам которого следует отнести: реализацию поступательного движения, малые скорости передвиже-

ния, минимизацию динамических процессов, создание значительных сил при малых габаритах, возможность бесступенчатого регулирования скорости движения. Данные преимущества гидропривода позволяют наиболее полно использовать их в механизмах: подъема и поворота свода, наклона печи, перемещения электродов. Опыт эксплуатации показывает, что внезапный отказ механизма поворота свода приводит к наиболее тяжелым последствиям из-за значительной длительности последующего ремонта. Отсюда вытекает актуальность определения диагностического параметра для оперативного контроля текущего состояния указанного механизма.

Результаты исследований по определению рационального диагностического параметра гидропривода для оценки технического состояния механизма поворота свода электродуговой печи составляют основное содержание данной работы.

### *Изложение материала и результаты.*

Исследования выполнены на механизме поворота свода печи ЭДП-120 фирмы Danieli.

Общий вид электродуговой печи приведен на рисунке 1. Среди операций, проводимых на ЭДП, отворот свода происходит наиболее часто – 2-3 раза на плавку. В проведении данной операции задействованы механизмы: перемещения электродов, подъема и поворота свода, расположенные на поворотной колонне. Основные технические характеристики механизма поворота свода электродуговой печи: угол поворота свода –  $95^\circ$ ; скорость поворота свода – 5 град./с; масса свода составляет 50 т.

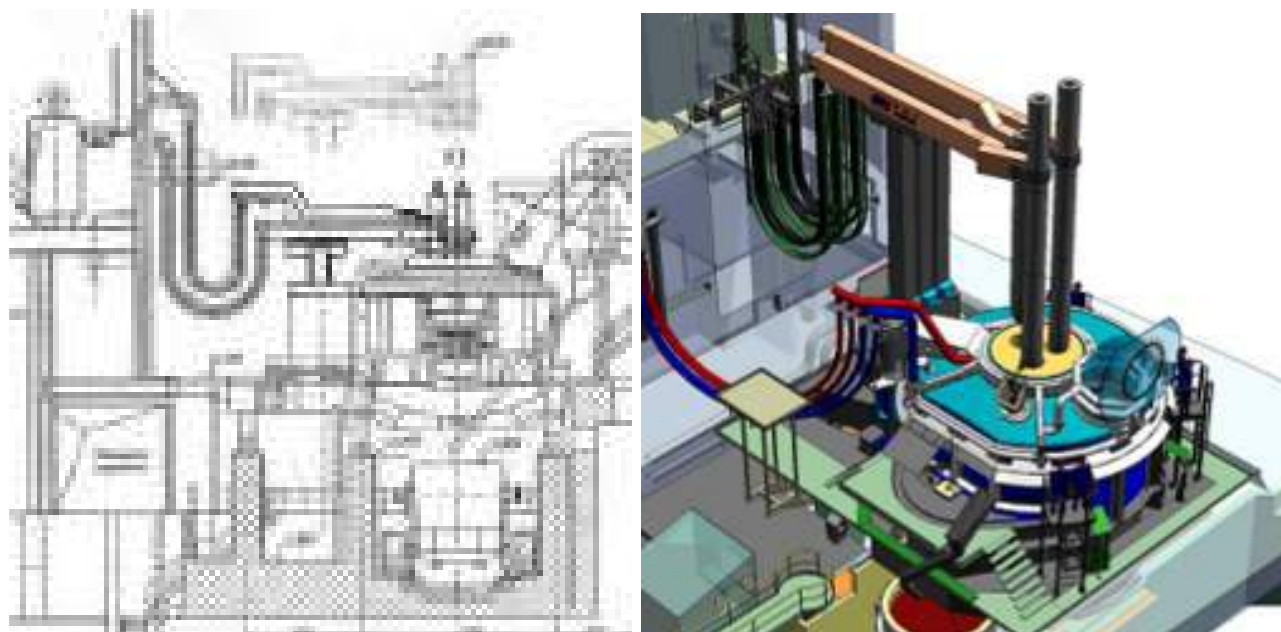


Рис. 1 – Общий вид электродуговой печи

Свод печи крепится к поворотной колонне (рисунок 2а). Поворот свода осуществляется при помощи гидроцилиндра двойного действия, закрепленного на цапфах (рисунок 2б). Проушина штока закреплена на рычаге поворотной колонны. Для отворота свода рабочая жидкость подается в штоковую полость гидроцилиндра, при навороте свода – в поршневую. При повороте свода одновременно поворачиваются электроды, рукава электрододержателей и механизм перемещения электродов. Для поворота колонны со сводом на раме печной платформы установлено трехрядное роликоподшипниковое опорное кольцо (рисунок 2 в, г) – опорный подшипник.

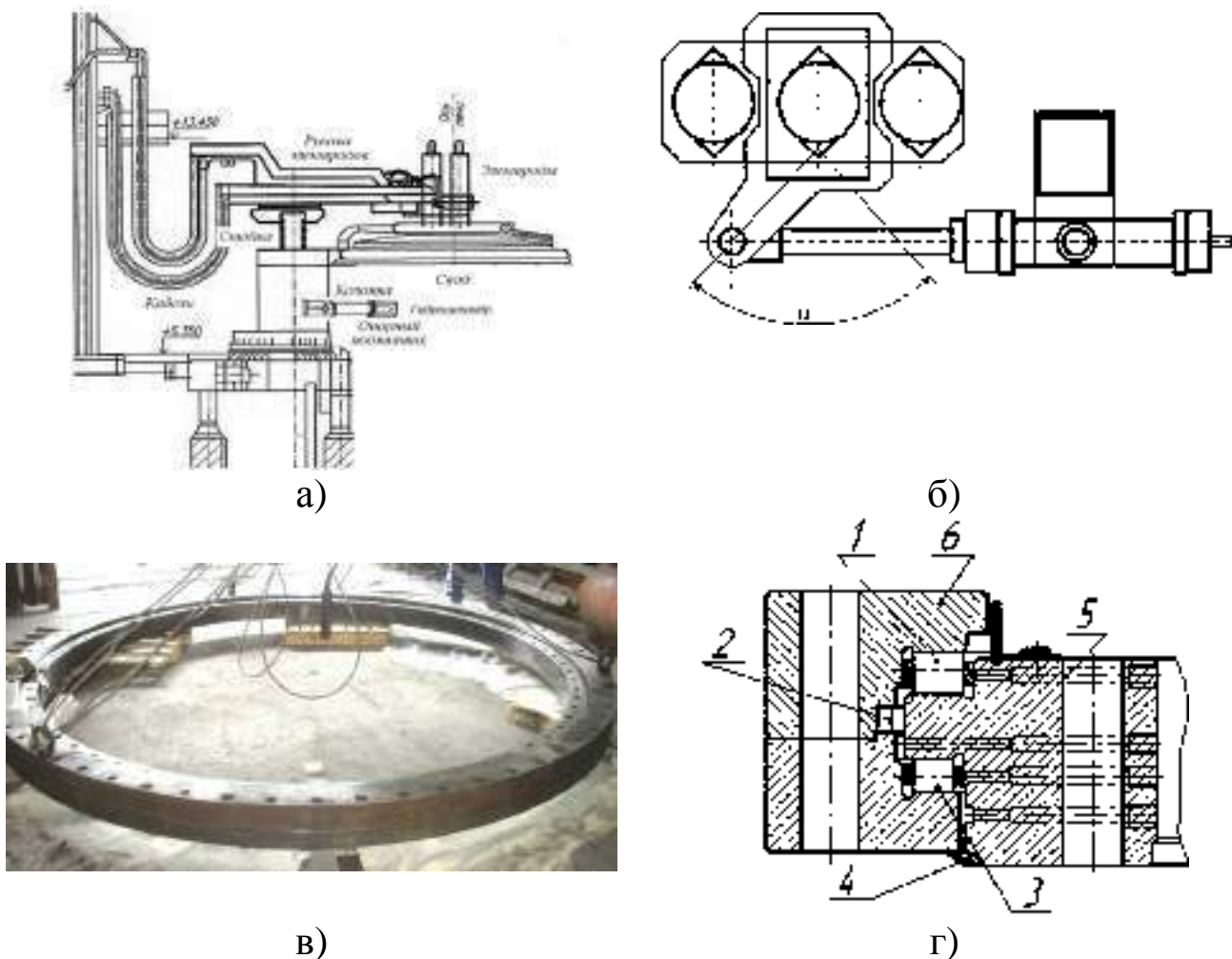


Рис. 2 – Механизм поворота свода:

а) вид общий; б) установка гидроцилиндра; в) общий вид опорного кольца; г) конструкция трехрядного роликоподшипникового поворотного кольца:

1– опорные ролики; 2 – радиальные ролики;

3 – контрпорные ролики; 4 – уплотнение; 5 – неподвижное кольцо;

6 – подвижное кольцо

Надежная работа механизма поворота свода обеспечивается высоким уровнем безотказности опорного подшипника. Условия работы данного подшипникового узла характеризуются частыми поворотами (100...160 циклов в сутки) и односторонним воздействием высокой температуры от раскаленного свода, а также консольной и вертикальной нагрузок, что приводит к изнашиванию деталей опорного кольца. Износ элементов опорного подшипника (рисунок 3) сопровождается повышением момента сопротивления повороту свода, что рекомендуется использовать для контроля его технического состояния – «срок службы подшипника заканчивается, когда сопротивление крутящему моменту постепенно увеличивается...» [6].

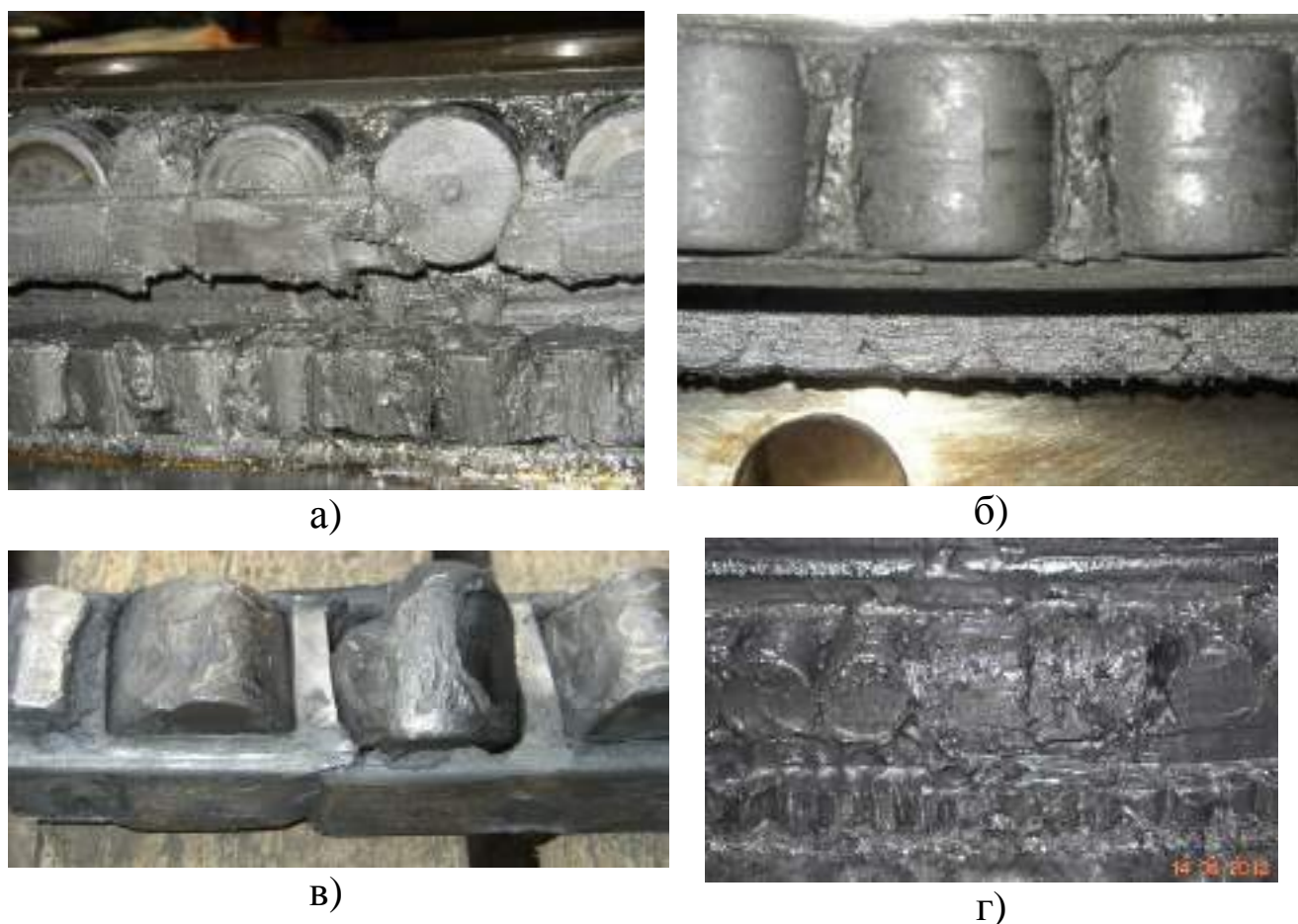


Рис. 3 – Состояние тел качения после отказа опорного кольца

Известно [6], что для рассматриваемой конструкции опорного кольца момент сопротивления повороту свода определяется по выражению

$$M_n = \mu (4,1 \cdot M_k + F_a \cdot D_L) / 2, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;  $M_k$  – опрокидывающий момент;  $F_a$  – осевая нагрузка на подшипник;  $D_L$  – диаметр обоймы подшипника, т.е.

при неизменной внешней нагрузке значения момента  $M_n$  обуславливаются значениями коэффициента трения  $\mu$  в подшипнике. Согласно справочным данным для роликовых подшипников в исправном состоянии  $\mu = 0,003$ . Увеличение значения коэффициента трения можно рассматривать как показатель ухудшения технического состояния опорного подшипника из-за его изнашивания и обоснованием необходимости ремонтного воздействия.

Преодоление момента сопротивления повороту свода осуществляется моментом, создаваемым силой на штоке гидроцилиндра, за цикл работы механизма (отворот – наворот свода) его значение определяется как

$$M_n = (F_o + F_3) \cdot h_F / 2 , \quad (2)$$

где  $F_o$  и  $F_3$  – силы на штоке гидроцилиндра при открывании (отвороте) и закрывании (навороте) свода;  $h_F$  – плечо действия сил.

Силы на штоке при открывании  $F_o$  и закрывании  $F_3$  свода находятся по значениям давлений в штоковой  $P_{ш.н}$  и поршневой  $P_{п.н}$  полостях гидроцилиндра, контроль за которыми ведется на основании графиков параметров движения свода (рисунок 4), постоянно регистрируемых системой автоматизированного управления.

На графиках выделяются следующие характерные участки движения, соответствующие контрольным точкам: начало движения свода при открывании (отвороте) – точка 1; установившееся движение свода при открывании – точка 2; начало движения свода при закрывании (навороте) – точка 3; установившееся движение свода при закрывании – точка 4. Для вычисления сил  $F_o$  и  $F_3$  на штоке гидроцилиндра следует принимать давления, соответствующие точкам 2 и 4.

Кроме того из графиков видно, что начало движения свода при открывании сопровождается повышением давления в штоковой полости и последующим снижением давления при установившемся движении. Это позволяет оценить соотношение между коэффициентом трения покоя и коэффициентом трения движения в подшипнике. При остановке свода в открытом положении наблюдаются динамические колебания, связанные с податливостью элементов крепления.

С учетом выше сказанного, определение фактического значения коэффициента трения  $\mu$  в подшипниковом узле следует выполнять в следующем порядке.

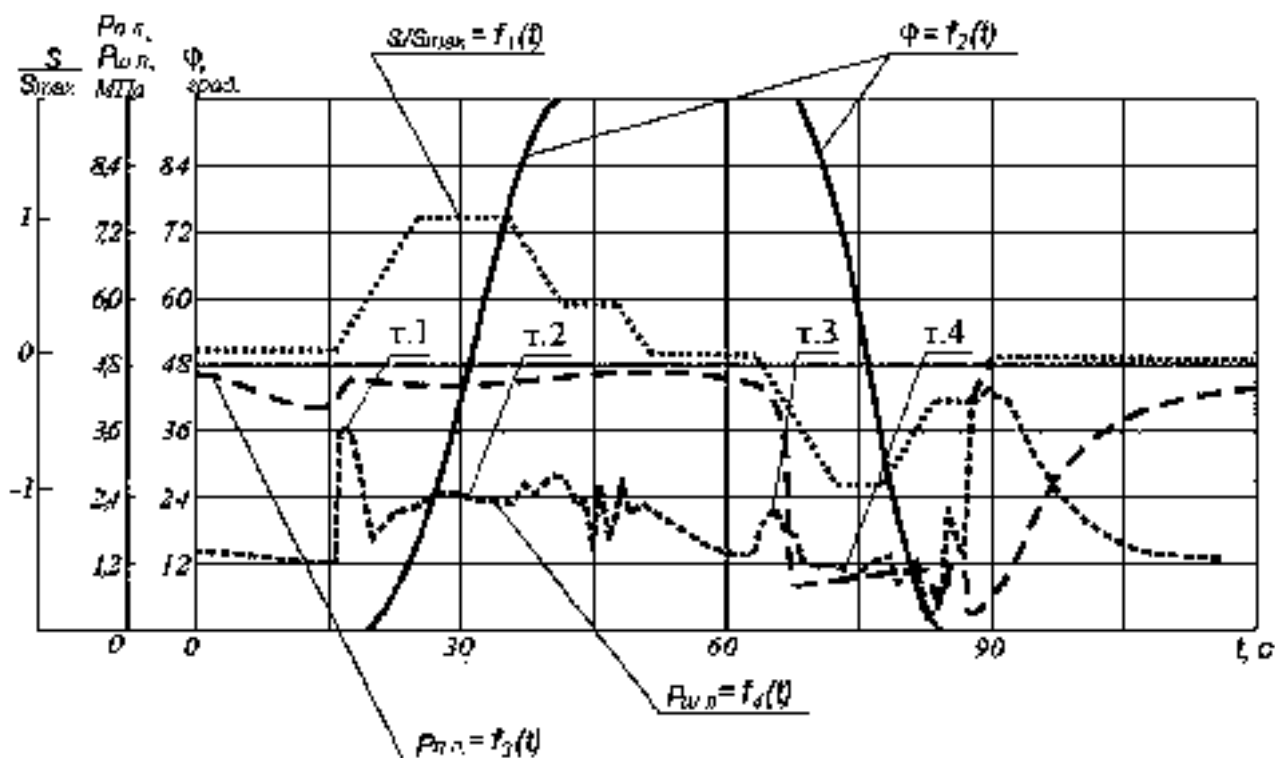


Рис.4 – Типовые графики параметров движения свода:

$S$  – текущее положение регулятора давления;  $S_{max}$  – максимальный ход;  
 $P_{u.n}$  и  $P_{n.n}$  – давление в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндра;  
 $\varphi$  – угол поворота свода

1. По графикам  $P_{u.n} = f_4(t)$  и  $P_{n.n} = f_3(t)$  в соответствии с точками 2 и 4 определить значения давления в штоковой  $P_{u.n}$  и поршневой  $P_{n.n}$  полостях гидроцилиндра.

2. С учетом диаметра поршня и штока гидроцилиндра вычислить значения сил на штоке  $F_o$  и  $F_3$  при отвороте и навороте свода печи.

3. По (2) найти момент сопротивления повороту свода  $M_n$ .

4. Рассчитать коэффициент трения в подшипниковом узле из выражения (1):

$$\mu = 2 M_n / (4,1 \cdot M_k + F_a \cdot D_L) . \quad (3)$$

Таким образом, давление в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндра выступает диагностическим параметром, контроль за изменением которого позволяет отслеживать изменение значения коэффициента трения  $\mu$ , отражающим изменение технического состояния опорного подшипника механизма поворота свода.

Предложенная методика опробована для механизма поворота свода электродуговой печи ЭДП-120 в период 2008–2009 г.г. Гидроци-



цилиндр механизма имеет следующие основные характеристики: диаметр поршня – 250 мм, диаметр штока – 160 мм, длина штока – 1500 мм. В таблице приведены значения давлений в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндра, зафиксированные в октябре 2008 года и январе 2009 года. Как видно, в указанный период произошло увеличение значений давления в обеих полостях гидроцилиндра (таблица).

Таблица – Результаты измерения давления  $P_{ш.п}$  и  $P_{п.п}$  (МПа) в полостях гидроцилиндра

Полость гидроцилиндра	Период движения	Время измерения	
		октябрь 2008 года	январь 2009 года
штоковая	установившееся движение	8,0	9,5
поршневая	установившееся движение	2,4	3,2

Исходя из этих данных и геометрических параметров гидроцилиндра, определены значения силы на штоке при открывании свода – 70,2...91,6 кН и при закрывании свода – 392,0...465,5 кН. Увеличение силы за рассмотренный период составило 14...18 %. В тоже время сила, необходимая при закрывании, в 2,5 раза больше силы при открывании свода, что являлось следствием отклонения от вертикали поворотной колонны и рамы основания.

На основании установленных значений сил с учетом плеча их действия по выражению (2) получены значения момента сопротивления повороту свода печи в октябре 2008 года  $M_n = 442,6$  кН·м и январе 2009 года  $M_n = 529,2$  кН·м, в соответствии с которыми по (3) определены значения коэффициента трения в опорном подшипнике:

$$\mu_{\text{октябрь}} = 0,035 \text{ и } \mu_{\text{январь}} = 0,042.$$

Полученные значения более, чем в 10 раз, превысили значение, принимаемое при расчетах  $\mu = 0,003$ , что позволило сделать вывод о том, что в опорном подшипниковом узле механизма поворота произошли необратимые изменения, и его техническое состояние перешло в другую категорию.

На основании полученных данных в мае 2009 года проведена плановая замена опорного кольца. При этом был выявлен значитель-

ный износ тел качения, что подтвердило правильность выбранных диагностических параметров и предложенной методики контроля технического состояния опорного подшипника. Следующее 10-тикратное увеличение коэффициента трения могли привести к аварийному отказу механизма поворота.

***Выводы и направление дальнейших исследований.***

Контроль давления в полостях гидроцилиндра позволяет отслеживать изменение коэффициента трения в опорном подшипнике. Факт увеличения коэффициента трения в 10 раз является диагностическим правилом и соответствует переходу технического состояния механизма в следующую категорию (исправное – удовлетворительное – аварийное).

Таким образом, параметры гидропривода можно использовать в качестве диагностических признаков для оценки технического состояния механизма поворота электродуговой печи.

Для повышения эффективности диагностирования следует изучить взаимосвязи между значениями давления в полостях гидроцилиндра для механизма поворота свода с различным техническим состоянием, до и после замены опорно-поворотного подшипника, что обеспечит более точное распознавание неисправностей механизма.

Список литературы

1. Праздников О.А. Гидропривод в металлургии / О.А.Праздников. – М.: Металлургия, 1973. – 336 с.
2. Кожевников С.Н. Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин / С.Н.Кожевников, В.Ф.Пешат. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
3. Устройство, эксплуатация и обслуживание гидропривода доменных цехов / [В.И.Большаков, А.Ю.Вулых, В.С.Кострицкий, В.В.Тимагин]. – М.: Металлургия, 1989. – 112 с.
4. Иоффе А.М. Гидравлическое оборудование металлургических цехов / А.М.Иоффе, О.Н.Кукушкин, Ф.А.Наумчук. – М.: Металлургия, 1989. – 248 с.
5. Правила технической эксплуатации гидроприводов на предприятиях черной металлургии / [А.М.Иоффе, О.Н.Кукушкин, В.А.Сергиени и др.]. – СПб.: Гектор, 1992. – 336 с.
6. Rothe Erde GmbH. D-44137. Dortmund, 2004. – 172 с.
7. Алексеева Т.В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.В. Алексеева. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.

*Стаття надійшла до редакції 26.04.2013*



*В.А. Сидоров, О.В. Ошовська, А.С. Герасименко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

**Діагностування механізму повороту склепіння електродугової печі за параметрами гідроприводу**

*У статті представлені результати досліджень з визначення раціонального діагностичного параметра гідроприводу для оцінки технічного стану механізму повороту склепіння електродугової печі.*

**Ключові слова:** гідроциліндр, опорне кільце, склепіння, електродугова піч, діагностичний параметр, технічний стан.

*V.A. Sidorov, Ye.V. Oshovskaya, A.S. Gerasimenko. Donetsk National Technical University*

**Diagnosing of the Roof Turn Mechanism of Electric Arc Furnace by Hydraulic Drive Parameters**

*The article presents the research results of defining a rational diagnostic parameter of the hydraulic drive for estimating the technical condition of the roof turn mechanism of arc furnace.*

**Keywords:** hydraulic cylinder, foot ring, set, electric arc furnace, diagnostic parameter, technical condition.