

УДК 669.184.046.585

**С.А. Бедарев** (канд. техн. наук, доц.)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК В ТРАНСМИССИОННОМ ВАЛЕ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ВВОДА ОТСЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*В работе рассмотрена возможность применения энкодеров для определения угла закручивания вала манипулятора для ввода отсечных элементов в ванну кислородного конвертера. Представлена схема установки энкодеров на трансмиссионном валу. Применение энкодеров позволит повысить срок службы деталей и предотвратит возможные поломки оборудования.*

**Ключевые слова:** отсечка шлака, отсечной элемент, кислородный конвертер, трансмиссионный вал, измерительная система, крутящий момент, энкодер.

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

Для создания надежного оборудования необходимо значение реально действующих нагрузок, что позволит обоснованно выбирать материалы для изготовления элементов машин и рассчитывать их сроки службы. Для машин, в приводе которых используются длинные валы, в качестве нагрузок выступают крутящие моменты. Существуют различные методы контроля крутящего момента, но наиболее практичным и реализуемым выступает измерение угла закручивания вала. Поэтому разработка измерительных систем для его контроля остается важной задачей при создании и исследовании нового оборудования.

***Анализ исследований и публикаций.*** В работах [1, 2] рассмотрены различные способы измерения крутящего момента на валах, области их применения, необходимые датчики и электронные устройства, а также возможность использования для решения конкретной задачи. Наибольшее распространение получили способы, основанные на определении крутящего момента по деформации элемента вала. При этом для измерения деформаций используются тензорезисторы, соединенные по мостовой схеме. Передачи сигнала от тензодатчиков осуществляется контактными, индукционными, оптическими или радиоустройствами.

Выбор конкретного способа контроля крутящего момента выполняется путем сопоставительного анализа с точки зрения конст-

рукции и стоимости измерительной аппаратуры, возможности ее установки на оборудовании.

**Постановка задачи.** При разработке усовершенствованной конструкции манипулятора для ввода отсечных элементов в ванну кислородного конвертера [3, 4], возникла задача оценки крутящего момента длинного трансмиссионного вала, установленного в приводе механизма поворота.

В ходе анализа было установлено, что известные способы измерения не могут быть использованы из-за сложности аппаратной реализации и дороговизны комплекса измерительного оборудования, сопоставимого со стоимостью отдельных узлов самого манипулятора. Поэтому было принято решение выполнять измерение крутящего момента по углу закручивания вала. Для контроля значений угла закручивания горизонтального трансмиссионного вала манипулятора, предложено использовать измерительную систему (рис. 1). В состав схемы входят два инкрементальных энкодера DKS 40 (рис. 2) производства фирмы Sick/Stegmann и вторичное устройство – счетчик импульсов, имеющего выход TTL (Line drive) для подключения к частотному преобразователю. Техническая характеристика энкодера DKS 40 представлена в таблице 1.

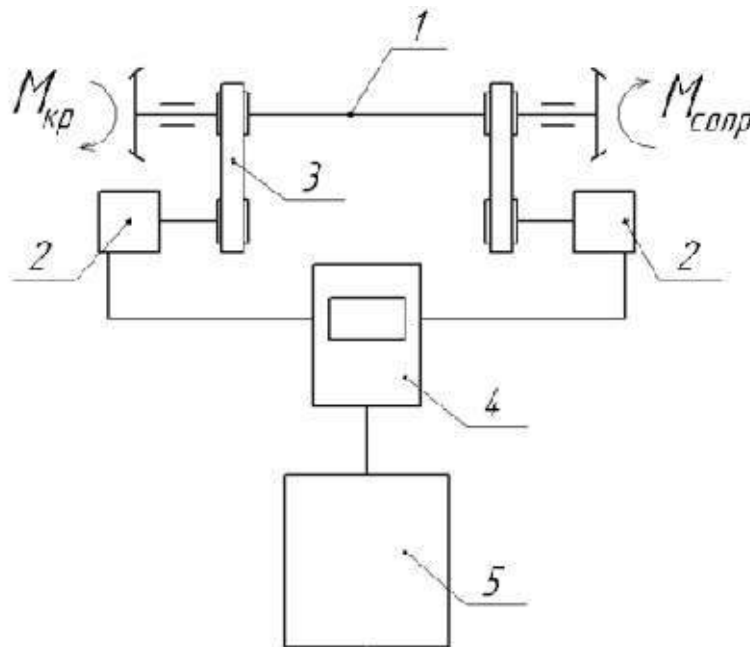


Рис.1. Структурная схема системы контроля угла закручивания трансмиссионного вала: 1 – горизонтальный трансмиссионный вал; 2 – энкодер DKS 40; 3 – ременная передача; 4 – счетчик импульсов; 5 – частотный преобразователь



Рис.2. Энкодер DKS 40 со счетчиком импульсов:  
а) в разобранном виде; б) в собранном виде

Табл. 1. Основные характеристики энкодера DKS 40

| Показатель                               | Значения            |
|--|---------------------|
| Число импульсов на оборот                | 1...1024/2048       |
| Масса, кг                                | 0,18                |
| Момент инерции ротора, г·см <sup>2</sup> | 6                   |
| Максимум выходной частоты, кГц           | TTL-200/HTL-200     |
| Скорость вращения, об/мин                | 6000                |
| Ускорение, рад/с <sup>2</sup>            | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |
| Рабочий момент, Н·см                     | 0,15                |
| Стартовый момент, Н·см                   | 0,2                 |
| Допустимая радиальная нагрузка, Н        | 40                  |
| Допустимая осевая нагрузка, Н            | 20                  |
| Диапазон рабочих температур, °С          | 0...+60             |
| Допустимая влажность, %                  | 90                  |

Принцип действия энкодера заключается в преобразовании кругового перемещения в контрольные единицы. Энкодеры устанавливаются на передний и задний концы трансмиссионного вала, для определения его угла закручивания по длине.

Угол закручивания трансмиссионного вала манипулятора будет равен:

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1,$$

где  $\varphi_1$  – значение угла поворота на энкодере, установленного на переднем конце вала;

$\varphi_2$  - значение угла поворота на энкодере, установленного на заднем конце вала.

Выражение для определения угла поворота в общем случае:

$$\varphi_i = 2\pi \frac{N_i}{N_{\text{НОМ}}},$$

где  $N_{\text{НОМ}}$  – число импульсов за 1 оборот энкодера;

$N_i$  – число импульсов, измеренное на  $i$ -том участке вала.

Зная значения угла закручивания, согласно закону Гука можно рассчитать крутящий момент  $M$ , возникающий по длине вала по следующей зависимости:

$$M = \frac{\varphi \cdot G \cdot J_p}{l},$$

где  $l$  – длина вала (расстояние между энкодерами);

$G$  – модуль сдвига материала, из которого изготовлен вал;

$J_p$  – полярный момент инерции поперечного сечения вала.

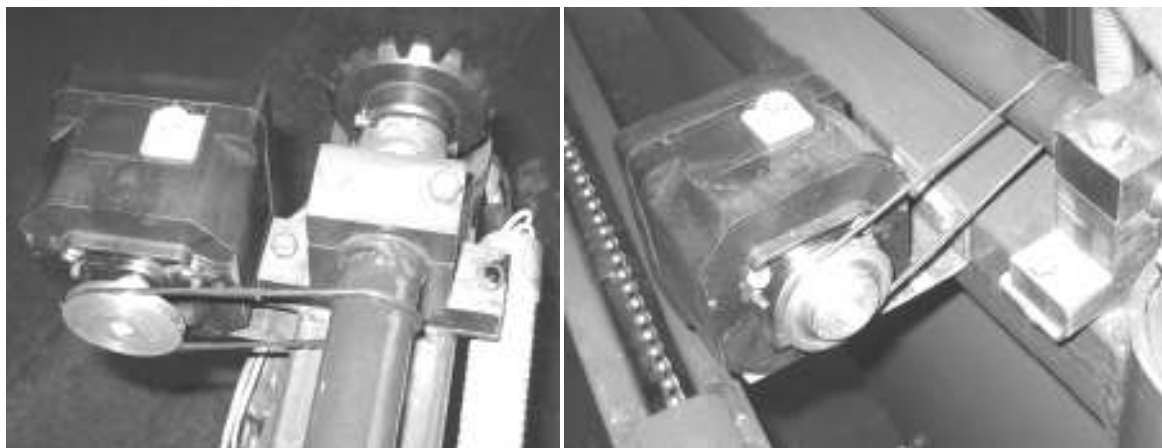
**Изложение материала и результаты.** При исследовании усовершенствованной конструкции манипулятора использовался его лабораторно-промышленный образец (рис. 3).



Рис. 3. Лабораторно-промышленный образец манипулятора для ввода отсечных элементов в ванну кислородного конвертера

В процессе лабораторного эксперимента оба энкодера закрепляли на кронштейне вблизи подшипниковых опор трансмиссионного вала, как показано на фото, приведенных на рис. 4. При этом валы энкодеров посредством шкивов и ремней были кинематически связаны

с передним и задним концами трансмиссионного вала, а их разъемы с помощью кабелей подключены к счетчику импульсов. Контроль угла закручивания вала осуществляли в режиме реального времени в течение всего рабочего цикла манипуляционной системы.



а

б

Рис. 4. Размещение энкодеров у переднего (а) и заднего (б) концов трансмиссионного вала манипулятора

Типовой график угла закручивания трансмиссионного вала приведен на рис.5. Из него видно, что максимальный угол наблюдается в период разгона привода и составляет  $51'$ .

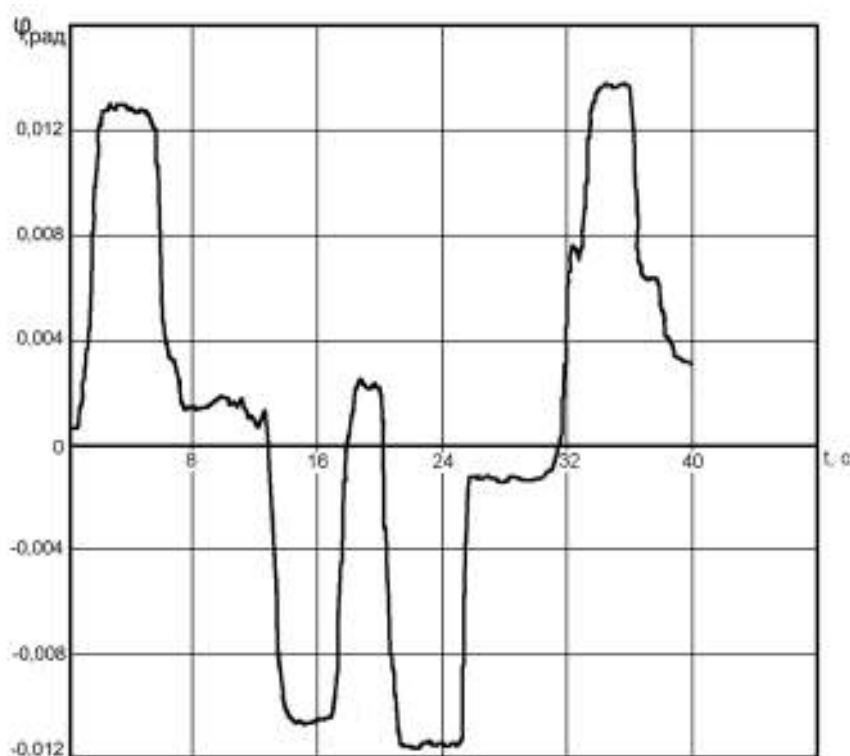


Рис.5. График угла закручивания трансмиссионного вала

Проведенные тестовые испытания позволили зарегистрировать реальные углы закручивания вала и определить расчетным путем значения крутящего момента, преодолеваемого двигателем в конечных и промежуточных положениях исследуемой кинематической системы при переводе ее из исходной позиции в рабочую и обратно в исходную.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Теоретические значения крутящего момента были получены согласно методике [5]. Результаты, полученные теоретическим и экспериментальным путем, имели расхождение не более 10 %. Таким образом, разработанную измерительную схему с использованием энкодеров можно использовать для контроля углов закручивания длинных валов в приводах машин в реальном времени, что позволит оценивать крутящие моменты и выполнять более точные проектные расчеты.

#### Список литературы

1. Развитие и будущее технологии измерения крутящего момента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.lorenz-m.ru>. – Название с экрана.
2. Датчики и системы измерения крутящего момента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.datum-electronics.ru>. – Название с экрана.
3. Опыт разработки систем отсечки шлака для сталеплавильных агрегатов / С.П. Еронько, А.Ю. Цупрун, С.А. Бедарев, С.В. Мечик // Бюллетень «Черная металлургия». – 2007. – вып. 9. – С. 81 – 87.
4. Новые устройства для реализации технологии бесшлакового выпуска стали из кислородного конвертера / С.П. Еронько, А.Н. Смирнов, С.А. Бедарев и др. // Процессы литья. – 2007. – №4. – С. 16 – 21.
5. Исследование энергосиловых параметров привода манипулятора для ввода отсечных элементов в выпускной канал кислородного конвертера / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, С.А. Бедарев, С.В. Мечик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 5. – С. 112 – 117.

*Стаття надійшла до редакції 20.10.2013*

**С.О. Бедарев. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**

**Визначення навантажень в трансмісійному валі маніпулятора для введення відсічних елементів**

*Розглянуто можливість застосування енкодерів для визначення кута закручування валу маніпулятора для введення відсічних елементів у ванну кисневого конвертера. Представлена схема установки енкодерів на трансмісійному валу. Застосування енкодерів дозволить підвищити термін служби деталей і попередити можливі поломки обладнання.*

**Ключові слова:** відсічення шлаку, відсічний елемент, кисневий конвертер, трансмісійний вал, вимірювальна система, крутний момент, енкодер.

**S. Bedarev. Donetsk National Technical University, Donetsk**

**Determining the Loads in the Transmission Shaft of the Arm for Shutoff Elements Input**

The paper considers the possibility of using encoders to determine the twist angle of the transmission shaft paddle for shutoff elements input into a BOF bath. A scheme of encoders on the transmission shaft is presented. The use of encoders will improve the life of the components and prevent possible damage to equipment.

**Keywords: slag cut-off, shut-off element, oxygen converter, transmission shaft, measuring system, torque encoder.**