

**Висновки.** Вихідними даними для розробки заходів з підвищення ефективності роботи окремих маршрутів є результати обстеження пасажиропотоків та соціологічного транспортного опитування населення міста.

За даними проведеного обстеження та відповідної обробки матеріалів з вивчення попиту населення на тролейбусних маршрутах міста Кременчук спостерігається тенденція збереження пасажиропотоків, що дозволяє на найближчу перспективу (тривалість 7–10 років) зберегти існуючу мережу без коригувальних змін траси слідування та функціонування тролейбусних маршрутів.

*Поступила (received) 31.10.2014*

УДК 621.771

**Ю. Д. МУЗЫКИН**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

**В. В. ТАТЬКОВ**, канд. техн. наук, вед. научн. сотр., НТУ «ХПИ»;

**А. Ю. ПУТНОКИ**, эксперт-консультант экспертного центра, НТУ «ХПИ»;

**П. П. МОСКАЛЕНКО**, зам. гл. механика по прокатному производству, ОАО «Запорожсталь», Запорожье

## **ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ КЛЕТЕЙ ЛИСТОВЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

Рассмотрены вопросы диагностирования технического уровня силовых приводов. предложено оценивать суммарный износ во всех кинематических парах, участвующих в передаче крутящего момента от электродвигателя к рабочим валкам клетки, фиксируя люфт при реверсе механического привода без нагрузки. Предложен способ мониторинга изменения суммарного зазора за счет использования лазерного прибора «Leica DISTO» А6. Способ позволяет устанавливать остаточный ресурс работы механической системы/

**Ключевые слова:** диагностика, силовой привод, кинематические пары, зазор, мониторинг, лазерный прибор.

**Введение.** В зависимости от конструктивных особенностей листовых станов горячей прокатки силовой привод на участке между электродвигателем и рабочими валками включает полностью либо частично набор основных кинематических элементов, таких как редуктор, зубчатая муфта, шестеренная клеть, промежуточные валы и универсальные шпиндели, устройства для уравнивания шпинделей, опорные и рабочие валки клетки. Даже одно перечисление устройств, принимающих участие в передаче крутящего момента, показывает, насколько сложной является структура кинематической цепи

силового привода и насколько велико число кинематических пар, обеспечивающих связь между отдельными подвижными звеньями.

При условии, что все связи независимые, согласно структурной формуле П.Л. Чебышева, можно установить степень подвижности всего механического привода. Однако, так как для сложных систем условие независимости связей не является строгим, а фактическое качество изготовления и монтажа отдельных элементов лежит в пределах допуска, в процессе работы системы в отдельных ее узлах могут появляться как неучтенные зазоры в кинематических парах, так и линейные и угловые деформации в звеньях. В силу этого появляются дополнительные связи, которые делают механическую систему статически неопределимой и следовательно являются источником дополнительного шума, вибраций, повышенных температур в отдельных элементах конструкции, приводят к снижению коэффициента полезного действия [1]. Устранение таких связей является сложной и трудоемкой работой, так как требует как существенного усложнения кинематических пар за счет понижения их класса при одновременном повышении точности изготовления, так и обеспечения непрерывного контроля, за их техническим состоянием.

**Цель работы, постановка задачи.** Надежность работы каждого из подвижных сопряжений зависит от большого числа эксплуатационных параметров, которые в большинстве случаев не детерминированы и поэтому носят вероятностно-статистический характер, что позволяет производить только качественную оценку технического уровня сопряжения. Для оценки надежности работы всей кинематической цепи в целом, необходимо знать распределение отказов, как случайных событий в виде статистической модели.

Теоретически для рассматриваемого силового привода можно предположить нормальный закон распределения отказов, так как согласно центральной предельной теореме для случайной величины, представляющей собой общий результат большого числа независимых воздействий. Наиболее вероятным является нормальный закон распределения, и он тем вероятнее, чем большее число воздействий и чем меньше влияние каждого из них на конечный результат [2, 3]. Данное предположение было подтверждено экспериментально для главного привода непрерывного тонколистового стана «1680» цеха горячей прокатки тонкого листа металлургического комбината ОАО «Запорожсталь» [4].

Для установления данной зависимости были обработаны результаты наблюдений изменения крутящего момента на валу приводного электродвигателя, который непосредственно соединен с вал-шестерней силового редуктора чистой клетки № 5 через промежуточный вал. Объективность полученного результата, учитывающего все возможные

независимые параметры эксплуатации, была достигнута за счет репрезентативности выборки, которая составила 120 часов непрерывной работы стана, и ее случайности, так как она была взята из генеральной совокупности в 4500 часов. Проведенное сравнение эмпирического и теоретического нормального законов распределения показало высокую степень их согласования и позволяет утверждать, что распределение отказов по всей линии силового привода клетки листового стана горячей прокатки подчиняется нормальному закону распределения.

При мониторинге технического состояния силовых приводов клетей в условиях ограниченной информации о рабочих параметрах, определяющих надежность их работы, центральной проблемой диагностики становится нахождение эффективных признаков, дающих количественную оценку технического уровня всей системы в целом. В случае нахождения такого интегрального показателя становится возможным определять не только текущее состояние силового привода, но и прогнозировать остаточный ресурс его работы, а следовательно, планировать различные виды ремонтов, исключающих отказы в работе оборудования и, как следствие, остановки прокатного стана.

**Материалы исследования.** Диагностирование технического состояния главных приводов клетей листовых станов горячей прокатки можно выполнить различными методами. Методы по своей физической сущности сводятся к двум основным схемам: контроль косвенных параметров, являющихся побочным проявлением нарушений в кинематической цепи передачи крутящего момента, и прямой метод, при котором фиксируются непосредственно параметры состояния рассматриваемой кинематической цепи [5, 6].

В первом случае фиксируются вторичные параметры, обусловленные техническим состоянием исследуемых узлов, например, такие как уровень шума, вибрации отдельных элементов и узлов, температура в зоне сопряжения отдельных звеньев, наличие побочных примесей в системах смазки, а также появление продуктов износа и так далее. Достоинством этих методов является простота их реализации, быстрота проведения контроля исследуемых параметров, возможность, в большинстве случаев, проводить контроль при работающем оборудовании, наличие стандартных приборов контроля, а следовательно, возможность проведения данных работ обслуживающим персоналом без специальной дополнительной подготовки. Однако эти методы имеют существенный недостаток, так как могут быть применены только для качественной оценки технического уровня исследуемого объекта и не обеспечивают получения количественной интегральной характеристики технического состояния всей системы в целом.

Прямой метод измерений предусматривает фиксацию параметра, который непосредственно связан с техническим уровнем контролируемых узлов, а следовательно, определяет их текущее состояние и позволяет прогнозировать остаточный ресурс работы, что необходимо для планирования различных видов ремонтных работ, исключающих отказы в работе оборудования и, как следствие, остановки стана. Для выбора такого критерия оценки необходимо проанализировать как условия работы механической системы, так и возможный объективный параметр данной системы, который наиболее чувствительный к условиям работы, и изменение во времени которого, можно объективно фиксировать.

Анализ условий работы, силовых приводов клетей листовых станов горячей прокатки показывает, что они работают при высоких единичных нагрузках со значительной динамической составляющей в широком температурном диапазоне при переменных высоко- и низкочастотных вибрациях в звеньях и кинематических парах.

Параметр механической системы, который наиболее чувствительный к указанным условиям работы и величина во времени которого адекватно реагирует на их величину и изменение, является зазор в кинематических парах. Как было показано, изменение зазора в кинематических парах не только определяет функциональное состояние силового привода, но и при определенном предельном его значении может привести к отказу в работе всего стана. Контроль износа в каждой отдельно взятой кинематической паре, являясь технически сложной задачей, не несет практически никакой информационной нагрузки, в то время как величина суммарного зазора по всем кинематическим парам является интегральной характеристикой технического состояния всего силового привода в целом и может быть достаточно легко определена на практике.

Измерение суммарного износа во всех кинематических парах, участвующих в передаче крутящего момента, предлагается оценивать по люфту, который фиксируется при реверсе механического привода. Для этого контролируется момент начала вращения вала электродвигателя и момент, когда начинает вращаться рабочий валок клетки. Определив, таким образом, угол поворота, обусловленный люфтом в кинематической цепи, устанавливается суммарный зазор во всех подвижных узлах механизма. Один из способов измерения угла поворота, вызванного люфтом в сопряжениях, представлен на рисунке.

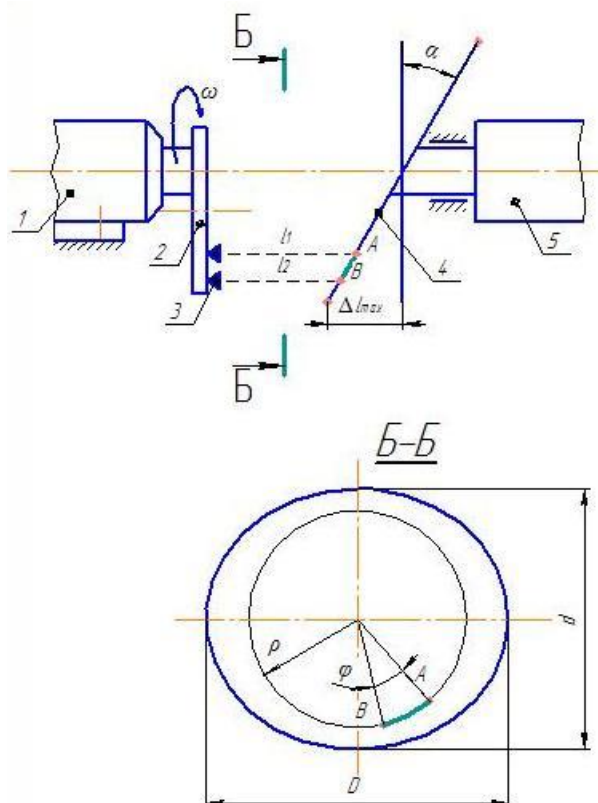


Рис. – Расчетная схема измерения люфта: 1 – электродвигатель; 2 – кронштейн; 3 – лазерный прибор; 4 – отражающая поверхность; 5 – рабочий валок клетки

Принцип работы устройства заключается в следующем. На валу электродвигателя 1 установлен кронштейн 2, к которому крепится лазерный прибор 3 «Leica DISTO» А6, измеряющий расстояние до отражающей поверхности 4, укрепленной под углом  $\alpha$  к оси рабочего валка прокатной клетки 5. Так как отражающая поверхность имеет угол наклона по отношению к линии луча лазера, разность длин лучей  $l_1$  и  $l_2$  при повороте вала электродвигателя будет изменяться тем больше, чем больше угол поворота  $\varphi$ . При заданных параметрах: радиус расположения лазерного прибора  $\rho$ , угол наклона отражающей поверхности  $\alpha$ , диаметр отражающей поверхности  $D$ , длина луча  $l_1$  и  $l_2$ , которые определяют фактическое расстояние от источника излучения до отражающей поверхности в моменты начала и окончания холостого хода, становится возможным установить угол поворота вала электродвигателя, соответствующий полному люфту в сопряжениях. Исходя из геометрических соотношений, представленных на рисунке, можно установить связь между линейными и угловыми параметрами для определения угла поворота вала электродвигателя:

$$\varphi = K |\ell_1 - \ell_2|, \quad K = \frac{\pi}{2\rho} \operatorname{ctg} \alpha.$$

Место расположения источника излучения на рычаге регламентируется условием

$$\rho \leq \frac{D}{2} \cos \alpha.$$

Определение угла поворота вала электродвигателя при его реверсе без нагрузки, соответствующего суммарному люфту в кинематических парах из-за наличия в них зазоров, производится лазерным прибором «Leica DISTO» А6 автоматически в режиме функции Пифагора. Вычислив, значение коэффициента  $K$  и сохранив его, как константу в приборе, производится измерение расстояния по двум точкам и в режиме работы PUTHAGORAS и STORAGE автоматически определяется искомый угол поворота. Наличие в приборе памяти на 20 измерений или результатов вычислений, а также возможности работы в режиме BLUETOOTH с внешним ПК, становится возможным производить любые статистические расчеты непосредственно в момент измерений. Предложенная схема измерений позволяет не только фиксировать текущее техническое состояние силового привода, но и сравнивая его с предыдущим аналогичным испытанием и установив динамику их изменения по результатам, архивированным в памяти прибора, выполнять экстраполяцию для прогнозирования результатов следующим измерений. В зависимости от предельного значения суммарного износа становится возможным устанавливать остаточный ресурс работы и принимать решения, исключающие возможность возникновения аварийных остановок стана.

Возможности диагностирования технического состояния тонколистовых станов горячей прокатки с помощью лазерного прибора «Leica DISTO» А6 производства Швейцарии регламентируются его техническими характеристиками [7]:

1. Дальность измерения	до 200 м
2. Точность измерения до 30 м	$\pm 1,5$ мм.
3. Класс лазерного прибора	II
4. Класс радиооборудования	1
5. Тип лазера	$635\text{nm} < 1\text{mW}$
6. Диапазон радиочастот	$2400 \text{ МГц} < 1\text{mW}$
7. Радиус действия BLUETOOTH	более 10 м
8. Встроенный оптический визир	2-хкратное увеличение.
9. Сохранение измеренных величин	20 значений.
10. Эксплуатация	$-10^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ .
11. Питание	тип AA, $2 \times 1,5 \text{ V}$ .

**Выводы.** Анализ работы силовых приводов клетей листовых станов горячей прокатки, а также мониторинг их отказов показывает, что основной

причиной выхода их из строя являются нарушения в работе кинематических пар, которые обусловлены появлением значительных зазоров в подвижных сопряжениях. Это связано со спецификой условий их работы, главными из которых являются высокие единичные нагрузки со значительной динамической составляющей, широкий температурный диапазон работы, а также значительные высоко- и низкочастотные вибрации в звеньях и кинематических парах.

Поэтому при проведении диагностики технического состояния силовых приводов предложено оценивать суммарный износ во всех кинематических парах, участвующих в передаче крутящего момента от электродвигателя к рабочим валкам клетки, фиксируя люфт при реверсе механического привода без нагрузки.

Для реализации данного метода диагностирования разработана измерительная схема на базе лазерного прибора «Leica DISTO» А6. Метод позволяет не только фиксировать техническое состояние силового привода на момент проведения измерений, но и за счет функциональных возможностей предложенной схемы измерений устанавливать остаточный ресурс работы механической системы, а, следовательно, принимать решения, исключающие возможность аварийных остановок стана.

Предложенный метод диагностики, а также измерительная схема являются универсальными и могут найти широкое применение и в других областях промышленности, где силовые механические приводы работают в идентичных условиях.

**Список литературы:** 1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. 1988 – 372 с. 2. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 215 с. 3. Дисеонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование в технике. – М.: Мир, 1981. – 385 с. 4. Определение режимов работы силового редуктора чистовой клетки тонколистового стана горячей прокатки «1680» /Гапонов В.С., Музыкин Ю.Д., Столбовой А.С., Татьков В.В., Вышнинецкий С.М. //Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2011. – № 47. – с. 13–17. 5. Притыкин Д.П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1985. – 368 с. 6. Полухин П.И., Федосов Н.М., Королев А.А., Матвеев Ю.М. Прокатное производство. – М.: Металлургия, 1982.– 696 с. 7. «Leica DISTO» А6. Руководство пользователя. – www.disto.ru.

**Bibliography (transliterated):** 1. Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin. – Moscow: Nauka. 1988 – 372 P. 2. Solonin I. P. Matematicheskaya statistika v tekhnologii mashinostroeniya. – Moscow: Mashinostroenie, 1972. – 215 P. 3. Diseonson N., Lion F. Statistika i planirovanie v tekhnike. – Moscow: Mir, 1981. – 385 P. 4. Opredelenie rezhimov rabotih silovogo reduktora chistovoyj kleti tonkolistovogo stana goryacheyj prokatki «1680» /Gaponov V. P., Muzihkin Yu.D., Stolbovoyj A. S., Tatjkov V.V., Vihshniveckiyj P.MOSCOW //Visnik NTU «KhPI». Tematichnijj vipusk: Novi rishennya v suchasnikh tekhnologiyakh. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2011. – No 47. – P. 13–17. 5. Pritihkin D.P. Nadezhnostj, remont i montazh metallurgicheskogo oborudovaniya. – Moscow: Metallurgiya, 1985. – 368 P. 6. Polukhin P.I., Fedosov N.MOSCOW, Korolev A.A., Matveev Yu.MOSCOW Prokatnoe proizvodstvo. – Moscow: Metallurgiya, 1982. – 696 P. 7. «Leica DISTO» А6. Rukovodstvo poljzovatelya. – www.disto.ru.

Поступила (received) 26.10.2014