

ГОДОГРАФИ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ В ПРОКАТНІЙ КЛІТІ

М.М. Кіпін

ДП «ДІАМЕХ-УКРАЇНА». 61105, м. Харків, вул. Киргизька, 19, АБК-1. E-mail: diamech@diamech.com.ua

У процесі розробки алгоритмів для систем вібраційного діагностування особлива увага приділяється вивченню основних типів прокатного обладнання, визначаються вібраційні характеристики, враховуються особливості впливу технології прокатки металу на технічний стан агрегатів. В результаті проведених обстежень та аналізу вібраційних параметрів на клітках середньосортного А/С 400/215 і листопрокатного станів НТЛС-1680 був обраний варіант монтажу датчиків вібрації у вертикальному напрямку вздовж головної лінії приводу. Даний варіант орієнтації акселерометрів забезпечив максимальну інформативність системи в процесі діагностування прокатного обладнання. Конструктивною особливістю поворотних клітей середньосортного стану є наявність кутового редуктора, при цьому датчики, встановлені на підшипниках вхідного і вихідного валів, розташовані ортогонально один щодо одного. Синхронна реєстрація вібраційних сигналів вимірювальним модулем системи «Корунд» дозволила виявити певні закономірності в роботі конусного зачеплення в кутовому редукторі кліті. В результаті об'єднання на програмному рівні тимчасових сигналів, що зчитуються з парних датчиків, побудовані годографи просторового положення контрольних точок валів, які знаходяться в зачепленні. Запропонований метод візуалізації дозволяє виконувати оцінку технічного стану кутового редуктора кліті на додаток до існуючих алгоритмів, реалізованих в системі вібраційної діагностики. Бібліогр. 9, рис. 9.

Ключові слова: прокатний стан, поворотна кліть, кутовий редуктор, система вібраційної діагностики, годограф, технічний стан

Безперервний дрібно-середньосортний прокатний стан А/С 400/215 фірми «SMS Meer» призначений для виробництва арматури і фасонного сортового прокату і складається з послідовно розташованих шести чорнових, шести проміжних, шести чистових клітей і двох високошвидкісних блоків. Виходячи з особливостей безперервної прокатки в багатокліткових станах розроблено систему діагностики «Корунд» для своєчасного виявлення дефектів і зниження витрат комбінату на ремонті [1]. Програмне забезпечення системи являє собою комплекс програмних засобів, призначених для оперативної оцінки стану обладнання та виявлення ймовірних дефектів і несправностей в процесі експлуатації. У системі реалізовані алгоритми пошуку і визначення дефектів спектральним методом, проте в процесі аналізу отриманих даних були виявлені деякі взаємозв'язки і закономірності, що стосуються взаємодії зубчастих пар кутового редуктора поворотної кліті [2].

У конічних коліс з круговими зубами концентрація навантаження на обмеженій ділянці робочої поверхні взаємодіючих зубів виникає внаслідок осьових зсувів зубчастих коліс. Взаємний перекис коліс впливає на довговічність і надійність роботи редуктора [3].

Наявність ударних навантажень в прокатному обладнанні посилюють перераховані явища при експлуатації конічних передач, викликають появу шуму, зростання рівня вібрації, місцеве підвищення навантажень, концентрацію напруг, що, в кінцевому рахунку, може привести до прискореного розвитку дефектів, задирів і поломок зубів. Узагальнений аналіз форм вібраційних сигналів конічного редуктора дозволив зробити допущення, що побудова годогра-

фів на основі записаних акселерометрами сигналів (розташованими в безпосередній близькості один до одного), може вказувати на наявність несправностей в елементах сполучення.

Мета роботи:

– шляхом дослідних вимірювань на діючих поворотних клітках прокатного стану встановити можливість використання годографа вібрації для діагностування вузлів обладнання;

– враховуючи взаємне розташування точок контролю на кутовому редукторі поворотної кліті, виконати вимірювання синхронних тимчасових вибірок сигналу і отримані результати перетворити в просторовий образ – годограф;

– систематизувати види побудованих годографів з передбачуваними несправностями;

– оцінити відповідність зорових образів з точним технічним станом сполучених вузлів кліті в процесі роботи з'єднувальної муфти, проміжного підшипника 61830 і безпосередньо зубчастого зачеплення кутового редуктора.

Опис дослідження. Поворотна кліть є компактною конструкцією, призначеною для оперативної і автоматичної зміни конфігурації з горизонтальної осі на вертикальну вісь прокатки слябу (рис. 1). Активна фаза роботи кутового редуктора здійснюється тільки при вертикальному положенні кліті. Для забезпечення безперервного контролю технічного стану і своєчасного виявлення дефектів на обладнанні встановлено систему вібраційної діагностики.

Кутовий редуктор поворотної кліті є ортогональною конічною передачею з пересічними осями, у якій кут між осями сполученої пари коліс дорівнює 90° , передавальне число складає 1,0 (рис. 2).

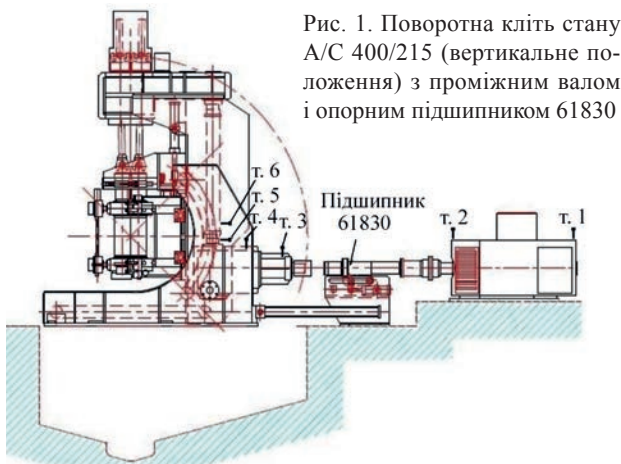


Рис. 1. Поворотна кліть стану А/С 400/215 (вертикальне положення) з проміжним валом і опорним підшипником 61830

В ході здійснення контролю коливань ведучого вала у т. 3 і т. 4, а також коливань веденого вала у т. 5 і т. 6 кутового редуктора було помічено деяку схожість в поведінці конструкції з методом контролю орбіт, які відображують рух центру вала ротора у підшипнику ковзання, який детально описано у літературі [4]. У підсумку дослідження сформувався припущення, що вібраційні параметри редуктора, записані аналогічним засобом, можна перетворити в зоровий образ і на основі аналізу отриманих фігур оцінювати технічний стан валів, шестерень і підшипників кочення. У якості вимірюваного па-

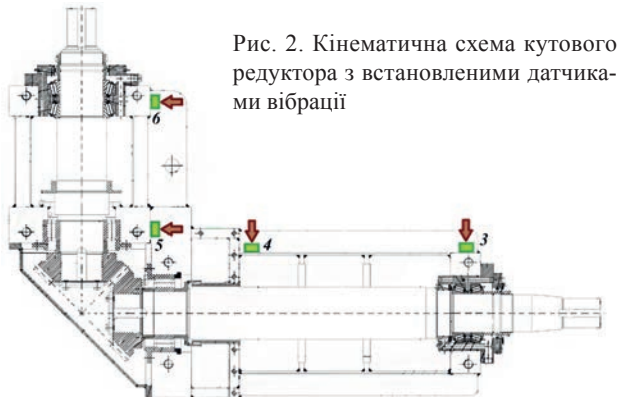


Рис. 2. Кінематична схема кутового редуктора з встановленими датчиками вібрації

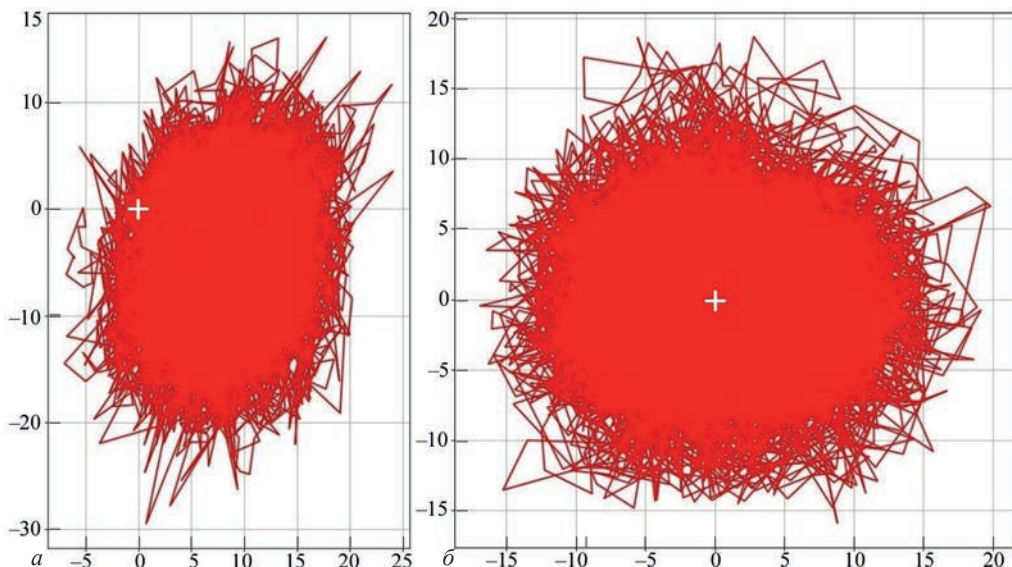


Рис. 3. Годограф кутового редуктора за умов бездефектного стану: а – т. 3/т. 6, б – т. 4/т. 5

раметра прийнято абсолютне віброприскорення (віброшвидкість або вібропереміщення) корпусу редуктора в зоні розташування опорних підшипників.

Беручи до уваги взаємний вплив вібрації відповідних пар акселерометрів т. 3/т. 6 і т. 4/т. 5, форми цих сигналів були об'єднані на програмному рівні в криві (годографи), що відображають просторове положення контрольних точок зубчастого зачеплення в процесі обертання.

Публікацій, присвячених подібному методу аналізу стану клітей, виявити не вдалося. Огляд літературних джерел, присвячених діагностиці прокатного обладнання [5–9], в сукупності з отриманими результатами роботи діагностичної системи «Корунд» привів до розуміння того, що існуючі алгоритми аналізу необхідно доповнити новим методом.

Отримані результати. Годограф, побудований за сумою форм тимчасових сигналів двох пар взаємно перпендикулярних датчиків т. 3/т. 6 і т. 4/т. 5 згідно з кінематичною схемою кутового редуктора, представлений на рис. 3. Аналіз отриманих результатів вказує на те, що у всіх випадках, наведених в даній статті, виявлені несправності супроводжувалися запланованою зупинкою клітей для огляду і технічного обслуговування або ремонту.

Слід зазначити, що після ремонтного впливу побудована крива має форму, близьку до круглої хмари (центр перетину «+» розташований всередині хмари), що свідчить про бездефектний технічний стан зубчастого зачеплення кутового редуктора.

Залежно від типу сортаменту, виробленого на стані, поворотна кліть гідравлічною системою постійно переводиться з вертикального положення в горизонтальне і назад. Внаслідок цього між опорними поверхнями напрямних і станиною потрапляє пил, окалина, завислі частинки, що призводить до порушення співвісності валів між електродвигуном і редуктором кліті. Було помічено, що в разі виникнення порушення співвісності валів в лінії сполучення кліті електродвигун-проміжний вал-кутовий редук-

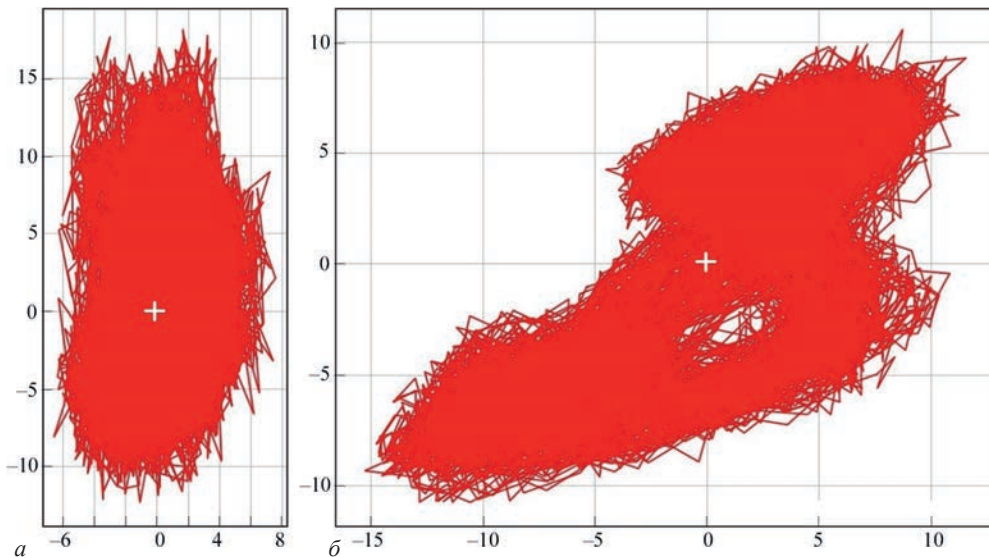


Рис. 4. Годограф кутового редуктора у випадку порушення співвісності валів в лінії сполучення кліті електродвигун-проміжний вал-кутовий редуктор: *a* – т. 3/т. 6, *б* – т. 4/т. 5

тор, форми хмар витягуються в еліпс (рис. 4, *a*) або приймають вигляд вигнутих петель (рис. 4, *б*).

Після технічного обслуговування кліті і усунення порушення співвісності валів годографи хмар придбали щільну круглу форму.

На рис. 5 наведені годографи контрольних точок кутового редуктора поворотної кліті при нестачі мастила в з'єднувальній муфті проміжного валу-кутового редуктора, при цьому хмари мають складну щільну форму без розсіювання сигналу. Годограф у т. 3/т. 6

(рис. 5, *a*) нагадує символ нескінченності, а годограф у т. 4/т. 5 (рис. 5, *б*) схожий на метелика. Слід врахувати, що т. 3 розташована в безпосередній близькості до місця локальної несправності (див. рис. 1).

Дефекти кріплення болтових з'єднань, як, наприклад, послаблення кріплення корпусу проміжного підшипника до опорної рами, ведуть до розсіювання хмари, побудованої у координатах точок т. 3/т. 6. А хмара, сформована точками т. 4/т. 5, має ромбовидну щільну форму без розсіювання сигналу (рис. 6).

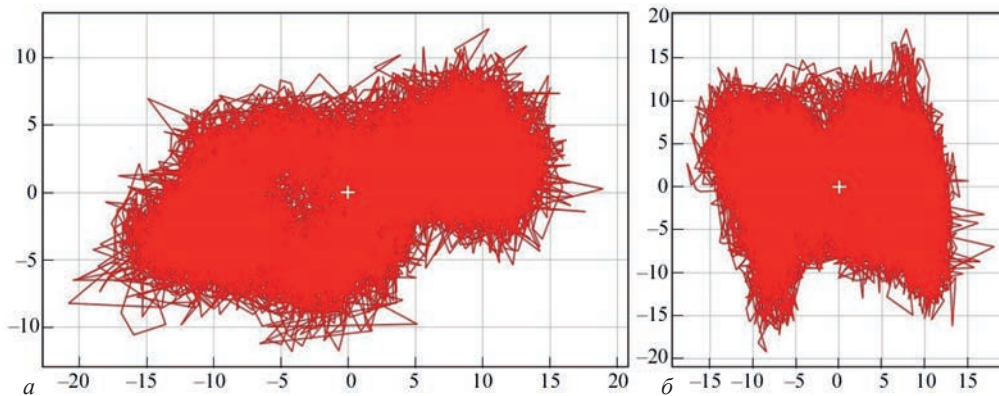


Рис. 5. Годограф кутового редуктора у випадку нестачі мастила в муфті проміжного валу-кутового редуктора: *a* – т. 3/т. 6, *б* – т. 4/т. 5

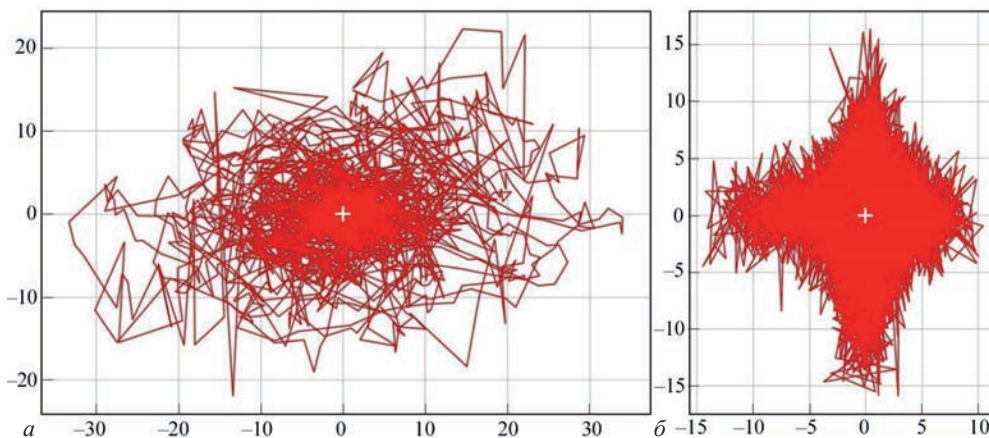


Рис. 6. Годограф кутового редуктора кліті чистової групи у випадку ослаблення болтів кріплення корпусу проміжного підшипника 61830 до опорної рами: *a* – т. 3/т. 6, *б* – т. 4/т. 5

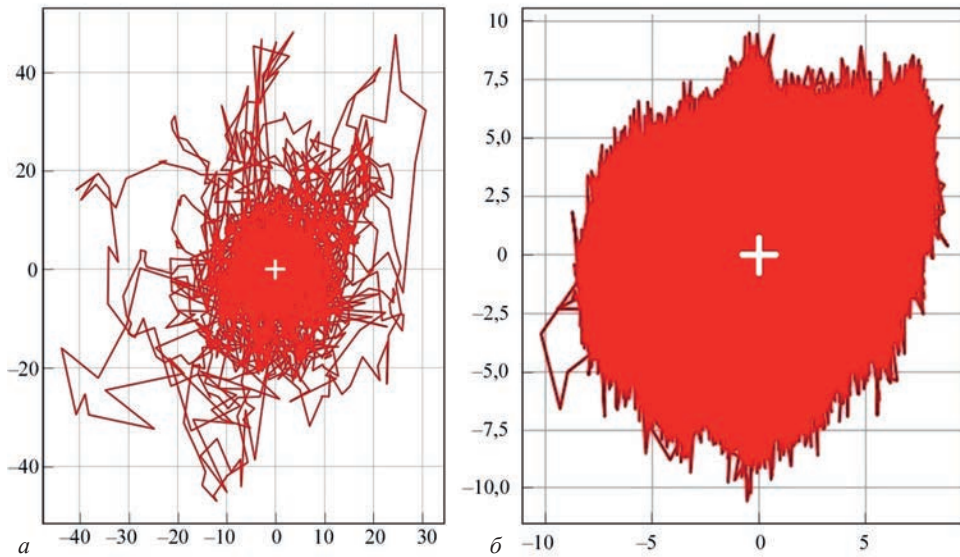


Рис. 7. Годограф кутового редуктора кліті проміжної групи у випадку ослаблення болтів кріплення корпусу проміжного підшипника 61830 до опорної рами: a – т. 3/т. 6, b – т. 4/т. 5

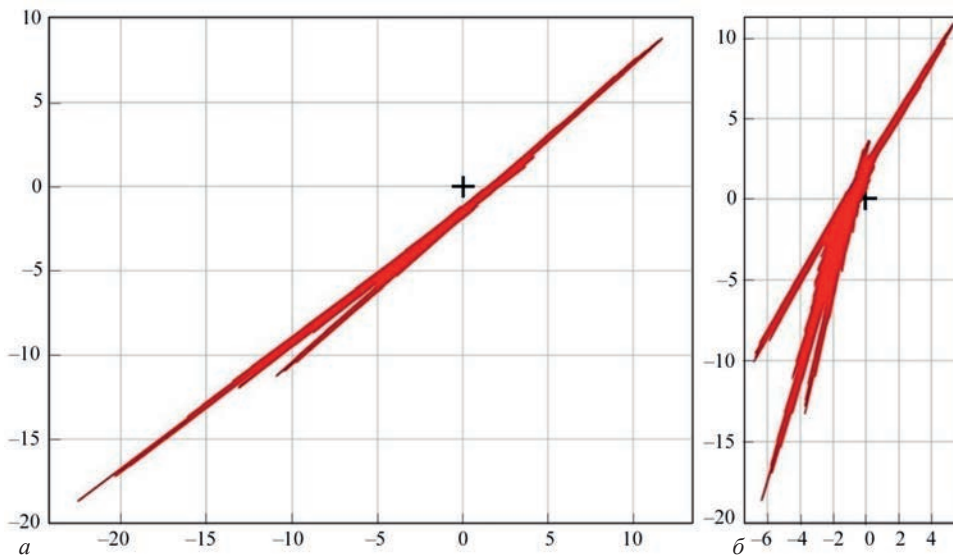


Рис. 8. Годограф кутового редуктора поворотної кліті при наявності тріщини опорної лапи корпусу опорного проміжного підшипника 61830: a – т. 3/т. 6, b – т. 4/т. 5

Звертає на себе увагу той факт, що форми хмар, побудованих в координатах точок т. 4/т. 5 кутових редукторів чистової і проміжної групи клітей, які характерні для дефекту кріплення болтових з'єднань, дещо відрізняються один від одного. Можливо, дана обставина пов'язана з особливостями навантаження клітей в процесі прокатки (рис. 6 і 7).

Ослаблення болтів кріплення корпусу проміжного підшипника до опорної рами кліті проміжної групи викликає значне розсіювання хмари, побудованої у координатах точок т. 3/т. 6 (рис. 7, a). Хмара, сформована точками т. 4/т. 5 (рис. 7, b), має щільну форму без розсіювання сигналу.

На рис. 8 представлений годограф кутового редуктора поворотної кліті при наявності діагональ-

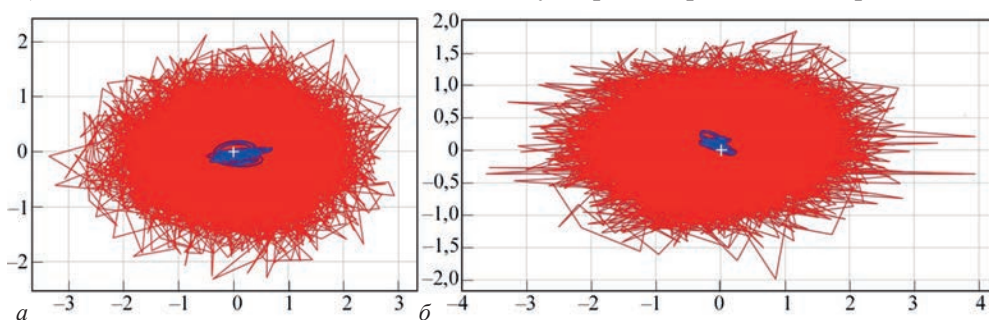


Рис. 9. Годограф кутового редуктора після ремонту опорної лапи корпусу підшипника 61830: a – т. 3/т. 6, b – т. 4/т. 5

ної тріщини в опорній лапі корпусу проміжного підшипника 61830. При цьому переміщення контрольних точок в просторі має вигляд сильно витягнутих петель (центри перетинів «+» розташовані за межами петель).

Після виконання відновлювального ремонту траверси поворотної кліти годограф кутового редуктора знову має вигляд щільної хмари без розсіювання сигналу. Слід зазначити, що амплітуда коливань редуктора знизилася у ~4 рази, центри перетинів «+» розташовані всередині хмар, криві в центральній зоні побудовані для першої гармоніки частоти обертання $f_{05} = 18$ Гц (рис. 9).

Виявлені несправності в процесі експлуатації поворотних клітей і рекомендації, запропоновані обслуговуючому персоналу для їх усунення, вказують на те, що запропонований метод може використовуватися діагностами при виконанні вібраційного аналізу кутових редукторів.

Висновки

Шляхом натурних вимірювань у прокатних клітях встановлено можливість визначення стану ділянок обладнання побудовою годографів вібрації. На конкретних прикладах показано зв'язок виду (форми) годографа з такими факторами, як порушення співвісності валів, нестача мастила в проміжній муфті, послаблення болтів кріплення.

Обсяг інформації, який зчитується з датчиків вібрації, розташованих на кутовому редукторі поворотної кліти, дозволив реалізувати додатковий метод візуалізації вібраційних параметрів у вигляді кривої, що відображає взаємне переміщення контрольних точок у просторі.

Запропонований метод має високу інформативну наочність і може бути застосований в якості додаткового засобу аналізу даних при діагностуванні поточного технічного стану зубчастого зачеплення кутового редуктора, з'єднувальної муфти проміжного валу і опорного підшипника 61830 поворотної кліти стану А/С 400/215.

HODOGRAPHS OF INTERACTION OF ELEMENTS OF BEVEL DRIVE IN THE ROLLING STAND

M.M. Kipin

SE «DIAMECH-UKRAINE», 19 Kirgizska str., 61105, Kharkiv, Ukraine. E-mail: diamech@diamech.com.ua

During development of algorithms for vibration diagnostic systems, special attention is given to studying the main types of rolling equipment, vibration characteristics are determined, and features of the influence of metal rolling technology on the technical condition of the equipment are taken into account. As a result of the conducted examination and analysis of vibration parameters of stands of medium section A/C 400/215 and flatting NTL-1680 rolling mills, a variant of mounting vibration sensors in the vertical direction along the main line of the drive was selected. This variant of accelerometer orientation ensured maximum informativeness of the system during diagnostics of rolling equipment. A design feature of turning stands of medium section mill is the availability of angular gearbox. Here, the sensors mounted on the bearings of the input and output shafts, are located orthogonally relative to each other. Synchronous recording of vibration signals by a measuring module of "Corundum" system allowed revealing certain regularities in the operation of bevel gear in the angular gearbox of the stand. Combining on the software level the temporary signals read from paired sensors resulted in plotting the hodographs of spatial position of reference points of the engaged shafts. The proposed method of visualization allows assessment of the technical condition of the angular gearbox of the stand, in addition to the available algorithms realized in vibration diagnostics system. Ref. 9, Fig. 9

Keywords: rolling mill, turning stand, angular gearbox, vibration diagnostic system, hodograph, technical condition

Надійшла до редакції 04.12.2020

Список літератури

1. (2019) ТУ 4277-030-54981193-06. Комплексы виброконтроля промышленного оборудования стационарные «КОРУНД». Технические условия. Москва.
2. Баглай А.В., Воробьев В.В., Гузеев А.Н., Кипин М.М. (2020) Система вибродиагностики для оборудования прокатного производства. *Черные металлы*, 2, 62–68.
3. Калашников С.Н., Калашников А.С. (1983) *Зубчатые колеса и их изготовление*. Москва, Машиностроение.
4. Гольдин А.С. (1999) *Вибрация роторных машин*. Москва, Машиностроение.
5. Шварцбург Л.Э., Филиппов С.В. (1998) Особенности выбора типа датчиков положения по критерию «обобщенная желательность». Москва, ВНИИТЭМР, 8 (202), с. 126.
6. Шефер Х.-Ю. (2001) Состояние диагностики машин в черной металлургии. *Черные металлы*, 6, 28–31.
7. Айнер Х., Хелекаль Г., Хохрайтер В. и др. (2001) Системы диагностики и мониторинга в черной металлургии. Там же, 6, 41–45.
8. Белодеденко С.В., Ибрагимов М.С. (2017) Выбор интервала между инспекциями при предупредительном обслуживании металлургического оборудования. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 3, 93–102.
9. Вернев В.В., Большаков В.И., Путноки А.Ю. и др. (2011) *Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680*. Монография. Днепропетровск, ИМА-пресс.

References

1. (2019) TU 4277-030-54981193-06: Stationary complexes «KORUND» for vibration control of industrial equipment. Specifications, Moscow [in Russian].
2. Baglai, A.V., Vorobiov, V.V., Guzeev, A.N., Kipin, M.M. (2020) System of vibration-based diagnostics for rolling production equipment. *Chyornye Metally*, 2, 62–68 [in Russian].
3. Kalashnikov, S.N., Kalashnikov, A.S. (1983) *Gear wheels and their manufacture*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. Goldin, A.S. (1999) *Vibration of rotary machines*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
5. Shvartsburg, L.E., Filippov, S.V. (1998) Features of selection of position sensor type by the criterion of «generalized desirability». Moscow, VNIITEMP, *Chyornye Metally*, 8 (202), 126 [in Russian].
6. Shefer, Kh.Yu. (2001) State of diagnostics of machines in ferrous metallurgy. *Chyornye Metally*, 6, 28–31 [in Russian].
7. Aigner, Kh., Khelekal, G., Khohraiter, V. et al. (2001) Systems of diagnostics and monitoring in ferrous metallurgy. *Ibid.*, 6, 41–45 [in Russian].
8. Belodedenko, S.V., Ibragimov, M.S. (2017) Selection of intervals between inspections in preventive maintenance of metallurgical equipment. *Metal. i Gornorud. Promyshl.*, 3, 93–102 [in Russian].
9. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2011) *Dynamic processes in 1680 wide-strip mill stands*: Monography. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].