УДК [63:674.053]:621.93

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ І ПОТУЖНОСТІ В ТРАНСМІСІЇ РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ

І. Г. ГРАБАР, *доктор технічних наук,*
Житомирський національний агроекологічний університет
О. І. ГРАБАР, *кандидат технічних наук,*
В. Є. ТИТАРЕНКО, *кандидат технічних наук,,*
Житомирський державний технологічний університет
М. А. ГОРКУША, *аспірант,*
І. О. ВОЙНА, *аспірант,*
Житомирський національний агроекологічний університет
E-mail: misha_gorkysha@mail.ru

Моделювання та вимірювання крутного моменту, механічних напруг та потужності виникає в більшості трансмісій технологічних та транспортних машин. Важливість цієї проблеми зростає на порядок в умовах нестаціонарних навантажень (випадкових, імпульсних, знакозмінних і т.п.). Контроль кутової швидкості, і особливо – крутного моменту і потужності – дозволяє контролювати технологічні машини від перевантажень, а також реєструвати реальну історію їх експлуатації. Особлива роль даних систем – при випробуванні приводів і трансмісій, при вивченні їх граничної несучої здатності, при дослідженні динамічних параметрів та ккд трансмісій, коробок передач, редукторів, вентиляторів, насосів. Автоматизація зборки болтових з'єднань, контроль монтажу підшипникових вузлів, контроль роботи кривошипно-шатунних та кривошипно-кулісних механізмів, транспортерів також вимагає експериментального вимірювання кутової швидкості, крутного моменту і потужності.

Вступ. Пропонується великий набір експериментальних засобів вимірювання кутової швидкості та крутного [1-12]. Серед добре вивчених методів вимірювання кутової швидкості гарно себе зарекомендували : метод вимірювання відцентрової сили, що пропорційна квадрату кутової швидкості; індукційний та магнітно-індукційний методи; імпульсний метод; стробоскопічний метод та інші.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні засоби вимірювання кутової швидкості пропонують виробники автомобілів – особливо, для систем АБС [11]. Для даної системи характерна висока точність для нестаціонарних процесів, а також можливість вимірювання режимів з великими значеннями кутових прискорень обох знаків. Особливої уваги заслуговують лазерні портативні фототa-

хометри типу АКІП-9201 та АКІП-9202 [10], що дозволяють з високою точністю безконтактним методом визначати кутові швидкості, мають зручну систему лазерного прицілювання на об'єкт, що досліджується. Дані тахометри дозволяють оперативно вимірювати частоти обертання валів енергетичного, промислового, побутового обладнання, а також зручні в наукових дослідженнях. Важливо відмітити, що дані фототахометри працюють в діапазоні до 100000 об/хв..

Мета дослідження. Висвітлення аспектів истеми вимірювання крутного моменту і перетворенні механічних деформацій вала в електричний сигнал.

Матеріали і методи дослідження. У процесі написання статті були використані різні методи дослідження. Системно науковий підхід і логічні методи дали змогу визначити технологію вимірювання крутного моменту, і передачі сигналу контактним чи безконтактним способом на комп'ютер. Для дослідження було використано значну кількість інформаційних джерел.

Результати дослідження та їх обговорення. Сучасні системи вимірювання крутного моменту пропонують відомі німецькі фірми HBM, Burster, японська компанія Kyowa та корейська Dacell, а також ряд інших світових лідерів мехатроніки та автоматики. В [7] описано систему безконтактного датчика кутової швидкості та крутного моменту з оптичною передачею інформації із ротора динамометра на статор. На чутливому елементі ротора динамометра наклеєна тензосистема (чотири тензодатчики, з'єднані по мостовій схемі), що з'єднані з системою живлення. Під дією крутного моменту тензометричний міст розбалансовується, причому сигнал розбалансування пропорційний величині крутного моменту. Сигнал розбалансування через тензопідсилювач та аналого-цифровий перетворювач передається на передавач сигналу, розміщений на роторі, на приймач статора. З приймача сигнал передається на комп'ютер. Дана система широко розповсюджена в сучасних системах вимірювання крутного моменту на валу трансмісії, що обертається. Має велику жорсткість – а значить, високі значення критичних обертів, характеризується гарною чутливістю, високою швидкодією, і може застосовуватись при будь-яких формах характеристики крутного моменту від часу (рис. 1)

Серед недоліків даної системи – складність, висока вартість, необхідність розривати кінематичну схему машини для монтажу динамометра, а також низька завадозахищеність при передачі сигналу з ротора динамометра на статор при використанні оптичного, радіо чи магнітно-індукційного каналу. Контактні методи передачі сигналу з ротора на статор мають ще більше

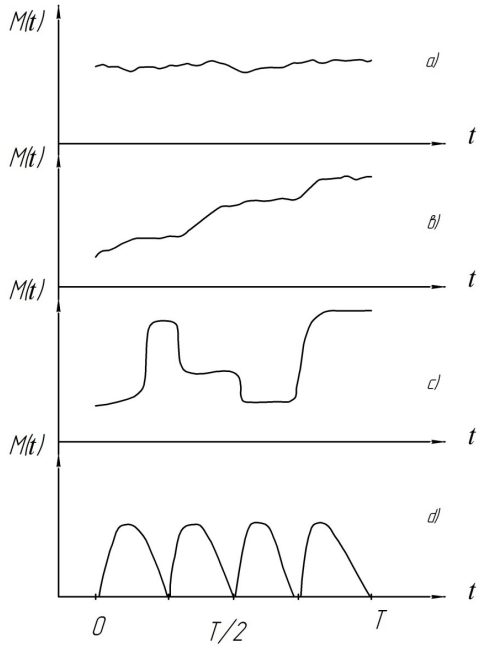

Рис. 1. Характерні залежності зміни крутного моменту на валу трансмісії за її один оберт

обмежень. Ні благородні метали (срібло, золото), ні графітові чи ртутні рухомі контакти на значних обертах (вже більше 100 об/хв) не забезпечують передачу сигналу з ротора динамометра на статор без спотворень (переривчастий контакт, іскріння, в'язкість ртуті). Не змінює ситуацію навіть використання надчутливих перколяційно-фрактальних датчиків, що дозволяють відмовитись від тензопідсилювача [3,12]. Нами показано [1], що суттєвого прориву у ліквідації і безконтактної, і контактної тензометрії можна досягти, відмовившись від тензометрії. При цьому сигнал про величину крутного моменту формує система безпосереднього виміру деформації чутливого елемента вала, без перетворення цього сигналу в електричний сигнал тензометричного моста. Особливо багато переваг продемонструвала дана система виміру крутного моменту, кутової швидкості та потужності для трансмісій, що характеризуються значними величинами кута закручування (довгі вали) та невеликі оберти (до 300 об/хв). Для безконтактного вимірювання кута закручування ми використовували оптичні системи (лазерний випромінювач та оптрони-приймачі), індукційні системи та датчики Холла. Для широкого діапазону режимів роботи трансмісій, що обертаються, проблема частково може вирішуватись застосуванням «Динамометра-тахометра-ваттметра проф. Грабара» (патенти України № 83475, № 85252).

Для вимірювання динамічних і кінематичних параметрів трансмісії, що обертається, засобами сучасних інформаційно-ком'ютерних технологій, нами запропоновано дооснащувати механічну трансмісію двома додатковими напівмуфтами з закріпленими на них точковими магнітами, в зоні дії кожного з яких розміщається по одному датчику ХоллаD1-D2 (рис.2).

Якщо на дільниці вала D1-D2 діє крутний момент M, то це змінює фазовий кут між точковими магнітами 1 та 2 на величину $\Delta\varphi$. Тоді:

Кут повороту трансмісії $\varphi = \omega t$ та $\Delta\varphi = \omega\,\Delta\tau$

Звідки: $\omega = \dfrac{2\pi}{\tau}$. Тоді момент на валу:

$$M = C * \Delta\varphi = C\frac{2\pi}{\tau}\Delta\tau$$

І, відповідно, потужність:

$$N = M * \omega = C\left(\frac{2\pi}{\tau}\right)^2 \Delta\tau$$

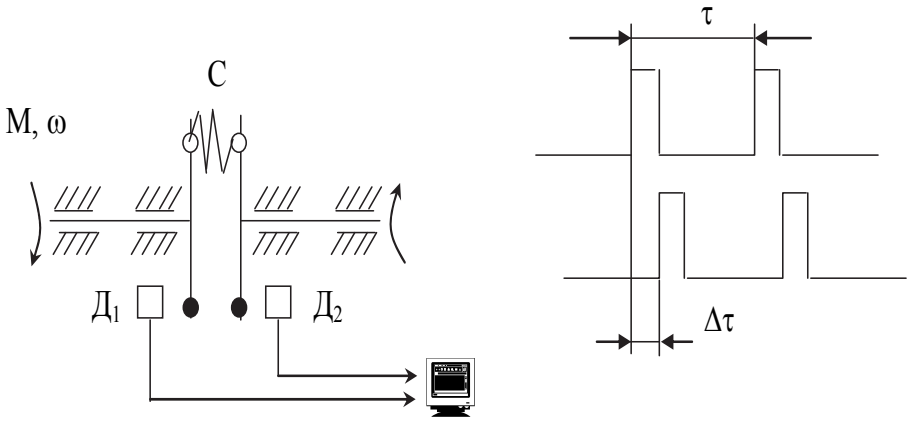

Рис. 2. Механічна трансмісію двома додатковими напівмуфтами

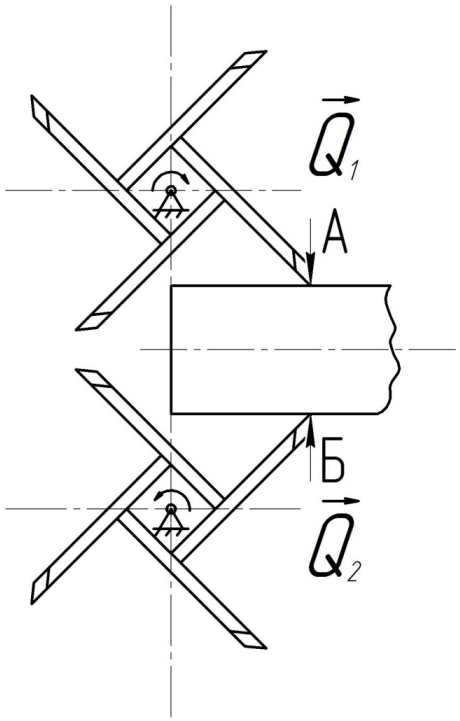

Рис. 3. Схема роторного подрібнювача деревини

Таким чином, вимірюючи лише τ та $\Delta\tau$, і експериментально визначиши крутильну жорсткість **C** трансмісії на дільниці D1-D2, ми маємо можливість реєструвати реальний крутний момент та потужність за кожен оберт (чи долю оберту) трансмісії технологічної чи транспортної машини та реєструвати їх в режимі онлайн на електронну пам'ять комп'ютера. Це дозволяє, в свою чергу, в режимі онлайн оцінювати залишковий ресурс трансмісії, роботу машини за зміну та формувати історію її експлуатації, що дає неоціниму інформацію як розробнику, так і власнику машини .

Нами запропонована модель технологічного процесу подрібнення відходів деревини та двох роторна машина для експериментальної перевірки даної моделі (рис. 3)

Для подрібнення бруса будь-якого поперечного перерізу побудована математична модель крутного моменту на валах роторів:

$$M_{Ri} = Q_{R(i} R_{фр} \sin(\alpha_* \frac{n-i}{n})$$

де:

$$Q_{Ri} = (S_{сег(i)} - S_{сег(i-1)})\tau_{зр}$$

Зокрема, для бруса циліндричної форми:

$$S_{сег(i)} = R_{бр}(\beta_i - \frac{1}{2}\sin 2\beta_i)$$

$$\beta_i = arc\cos[1 - \frac{R_{фр}}{R_{бр}}(\cos\frac{n-i}{n}\alpha_* - \cos\alpha_*)]$$

$$\alpha_* = arc\cos[1 + \frac{t_0}{R_{фр}} - \frac{R_{фр}}{R_{бр}}]$$

n – кількість замірів в одному робочому циклі (в даному досліді n=9, Z=36),

$R_{фр}$, $R_{бр}$, - радіус фрези та радіус бруса.

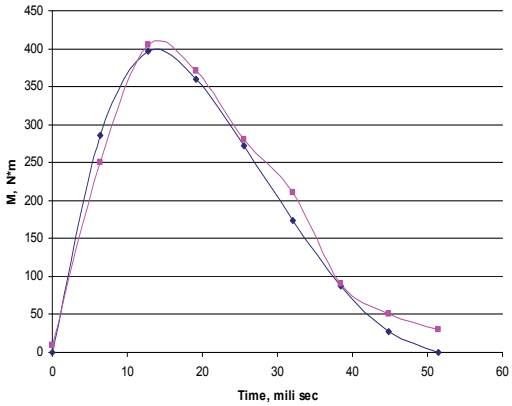

Рис. 4. Теоретична (синя) та експериментальна (червона) залежності крутного моменту на валу роторного подрібнювача деревини. Сосновий циліндричний брус діаметром 100 мм та напругами зрізу 9,2 МПа.

Висновки і перспективи. Розроблена та реалізована методологія вимірювання кутової швидкості, крутного моменту та потужності (Ω MN) на трансмісії, що обертається, яка дозволяє без конструктивних змін бути змонтованою безпосередньо на технологічній машині та з високою, наперед заданою точністю вимірювати вказані параметри трансмісії. Показано, що для реалізації процесу реєстрації параметрів (Ω MN) необхідно вимірювати лише три параметри: τ, Δτ та С – період між імпульсами, зсув імпульсів від деформації вала та крутильну жорсткість активної частини трансмісії. Запропонована методологія підтверджена експериментально на двох роторному подрібнювачі відходів деревини.

Література

1. Грабар І.Г. Патенти України №№ 83475, 85252, 73063, 91664
2. Грабар І.Г., Безвесільна О.М., Кубрак Ю.О. Перколяційний тензоперетворювач лінійних деформацій та теоретичні основи його роботи. – Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2008. - №3 (46), т.1.
3. http://m.ustroistvo-avtomobilya.ru/tormoznaya-sistema/ antiblokirovochnaya-sistema-abs/ (Антиблокировочная система.)
4. http://www.elec.ru/news/2008/12/25/sovremennye-sredstva-izmerenij-akip-novye-cifrovye.html (Тахометры АКИП-9201, АКИП-9202)
5. Яковлев Д. П., Яковлев С. Д. Устройство Для Измерения Крутящего Момента На Вращающемся Валу. Труды Одесского политехнического университета, 2003, вып. 1(19)
6. http://www.lorenz-m.ru/index.phpРазвитие и будущее технологии измерения крутящего момента.// ВильфридКриммель
7. http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/798 Инженерный вестник Дона. №2, 2012 Измерение крутящего момента на вращающихся валах А. С. Гуринов В. В. Дудник В. Л. Гапонов В. В. Калашников
8. Попов А.П., Винокуров М.Р., Моисеенко А.А.Микропроцессорная система безконтактного контроля и измерения крутящено момента. - Вестник ДГТУ, 2010. Т.10. №2(45) с.243 – 248.
9. Грабар І. Г., Грабар О. І., Гутніченко О. А., Кубрак Ю. О. Перколяційно-фрактальні матеріали. Наукова монографія. – Житомир. – 2007. – 370 с.
10. http://www.elec.ru/news/2008/12/25/sovremennye-sredstva-izmerenij-akip-novye-cifrovye.html
11. http://m.ustroistvo-avtomobilya.ru/
12. http://www.prom-tex.org/products/krmom.html

References

1. Grabar I. G. Ukraine Patents №№ 83475, 85252, 73063, 91664
2. Grabar I. G. Bezvesilna O. M. Kubrak Y. O. Percolation tenzoperetvoryuvach linear deformation and theoretical foundations of his work. - Bulletin ZSTU. Engineering. - 2008. - №3 (46), Vol.1.
3. http://m.ustroistvo-avtomobilya.ru/tormoznaya-sistema/ antiblokirovochnaya-sistema-abs / (Antyblokyrovochnaya system.)
4. http://www.elec.ru/news/2008/12/25/sovremennye-sredstva-izmerenij-akip-novye-cifrovye.html (Tahometrы AKYP-9201, AKYP-9202)
5. Yakovlev D. P., Yakovlev S. D. Devices for measuringtorque TO VRASCHAYUSCHEMSYA shaft. Proceedings of the Odessa Polytechnic University, 2003, Vol. 1 (19)
6. http://www.lorenz-m.ru/index.php Development and futuretechnologiestorquemeasurement .// WilfriedKrymmel
7. http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/798 DonInzhenernyiJournal. №2, 2012 Measurementtorqueontheshaftvraschayuschyhsya A. S.Hurynov V. Dudnik V. L.Gaponov V. Kalashnikov
8. Popov A.P., VinokurovM. R.,MoyseenkoA. A. Mykroprotsessornaya contactlesssystem monitoring and measurementkrutyaschenomoment. - Vestnik DSTU, 2010. T.10. №2 (45) s.243 - 248.

9. Grabar I. G., Grabar O. I., Hutnichenko O. A., Kubrak Y. O. Percolation-fractal materials. The scientific monograph. - Zhytomyr. - 2007. - 370 p.
10. http://www.elec.ru/news/2008/12/25/sovremennye-sredstva-izmerenij-akip-novye-cifrovye.html
11. http://m.ustroistvo-avtomobilya.ru/
12. http://www.prom-tex.org/products/krmom.html

SUMMARY

I. G. Grabar, O. I. Grabar, V. E. Titarenko, M. A. Gorkusha, I. O. Voyna. *Modeling and measurement torque and power in transmission rotary wood chipper // Biological Resources and Nature Managment.– 2016. – **8**, №5–6. – P. 72–78.*

Simulation and measurement of torque, mechanical stress and power occurs in most transmissions of technological and transport machines. The importance of this problem is considerably increasing in terms of unsteady loads (random, impulsive, alternating etc.). The control of angular speed, especially – torque and power – allows you to control technological machines from the overload and register the real record of their exploitation. The specific role of these systems consists in test drives and transmissions, in the study of the limit load capacity, in the exploration of dynamic parameters and efficiency of transmissions, gearboxes, reducing gears, fans, pumps. Automation of bolted joints assembly, control of mounting bearings, control of the crank-link and crank-rocker mechanisms and transporters also require experimental measurements of angular speed, torque and power.

АННОТАЦИЯ

И. Г. Грабар, А.И. Грабар, В.Е. Титаренко, М. А. Горкуша, И.О.Война. *Моделирование и измерения крутящегомомента и мощности в трансмиссии роторной дробилки древесины// Биоресурсы и природопользование. – 2016. – **8**, №5–6. – С. 72–78.*

Моделирование и измерения крутящего момента, механических напряжений и мощности возникает в большинств етрансмиссий технологических и транспортных машин. Важность этой проблемы возрастает на порядок в условиях нестационарных нагрузок (случайных, импульсных, знакопеременных и т.п.). Контроль угловой скорости, и особенно – крутящего момента и мощности – позволяет контролировать технологические машины от перегрузок, а также регистрировать реальную историю их эксплуатации. Особая роль данных систем - при испытании приводов и трансмиссий, при изучении их предельной несущей способности, при исследовании динамических параметров и кпд трансмиссий, коробок передач, редукторов, вентиляторов, насосов. Автоматизация сборки болтовых соединений, контроль монтажа подшипниковых узлов, контроль работы кривошипно-шатунных и кривошипно-кулисных механизмов, транспортеров также требует экспериментального измерения угловой скорости, крутящего момента и мощности.