

УДК 531.7

**І.Г. Грабар, д.т.н., проф.
В.О. Ломакін, аспір.***Житомирський державний технологічний університет*

**ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ
ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМІСІЙ У НЕСТАЦІОНАРНІЙ ПОСТАНОВЦІ**

Обґрунтовано необхідність і представлено опис методології та програмно-апаратного комплексу для дослідження кінематичних та динамічних характеристик обертого руху.

Вступ. Стрімкий розвиток машинобудування диктує необхідність створення більш точних і доступних за ціною програмно-апаратних комплексів для вимірювання кінематичних і силових характеристик трансмісій. Ця проблема виникає в різних технічних системах і її вирішення направлено на покращення роботи агрегатів трансмісії, оцінку роботи двигунів, вибір оптимальних режимів роботи двигуна, узгодження спільної роботи кількох двигунів, полегшення діагностування агрегатів трансмісії та двигунів тощо. Проблема вимірювання крутного моменту, потужності та частоти обертання особливо гостро стоїть для систем, які як джерело енергії використовують двигуни внутрішнього згорання, адже в більшості випадків вони працюють на нестационарних, несприятливих для вимірювання крутного моменту, потужності та частоти обертання режимах. Це вимагає миттєвого вимірювання значень крутного моменту, потужності та частоти обертання.

Взагалі вимірювання потужності, крутного моменту та частоти обертання в трансмісіях проводять за допомогою окремих приладів: тахометрів та динамометрів крутного моменту, а потім на основі отриманих параметрів підраховують потужність і здебільшого обмежується проблемою передачі сигналу з трансмісії, що обертається, на нерухомий приймач.

Що стосується тахометрів, то в сучасних умовах поширені найбільш конструктивно прості *механічні* тахометри, які вбудовують безпосередньо в агрегати конструкцій і використовуються для безперервної індикації усереднених миттєвих значень швидкості обертання або у вигляді ручних приладів для проведення одиничних вимірювань. Для них характерно, що отримані показання тахометрів знаходяться безпосередньо біля місця вимірювання або близько від нього. Такі тахометри споживають енергію об'єкта вимірювання (енергія, що витрачається на тертя в підшипниках може бути значною, якщо неможливо застосувати гнучке зчеплення). Механічні тахометри можуть бути обладнані електричними або пневматичними перетворювачами, які дозволяють використовувати їх в ланцюгах управління. Механічні тахометри поділяють на стаціонарні та портативні. Стаціонарні механічні тахометри за принципом своєї дії являють собою прилади з індикацією в безпосередній близькості від об'єкта вимірювання. Вони з'єднуються з ним за допомогою гнучкого вала або пасової чи ланцюгової передачі. Тому вимірювана величина може передаватись лише на невеликій відстані. Що стосується фізичного принципу, який лежить в основі вимірювання, то існують два основні типи механічних тахометрів: тахометр на вихрових струмах та відцентровий тахометр.

Існують різноманітні способи вимірювання частоти обертання електричними засобами вимірювання, а також принципово різні методи вимірювання, які можна поділити на дві основні групи: аналогові та дискретні. Різниця цих двох методів в основному обумовлена датчиками, що застосовуються. Перевагою, як аналогового, так і дискретного способів вимірювання, є можливість розташування приладу на відстані від місця вимірювання, тобто дистанційне вимірювання частоти обертання. При аналоговому способі з вимірювального перетворювача знімається сигнал у вигляді напруги (або струму), пропорційний вимірюваній величині. Найчастіше як такі перетворювачі використовують генератори змінного струму. При дискретному способі вимірювання частота обертання визначається підрахунком кількості імпульсів, створених при кожному оберті за одиницю часу. Знімання даних може здійснюватись механічно (в результаті спрацювання контактів), але основна перевага дискретного методу полягає у можливості безконтактної передачі даних (індуктивної, фотоелектричної), та як наслідок – відсутність зносу поверхонь тертя та висока точність. Ці методи покладені в основу електричних тахометрів. Загальна перевага для всіх електричних тахометрів – це можливість дистанційної передачі результатів вимірювань та їх контролю протоколювання з одночасними результатами вимірювання інших параметрів.

Як показує досвід використання датчиків крутного моменту, вони часто руйнуються від перевантажень, що виникають в результаті коливань крутного моменту. При переході через резонанс миттєве значення може в багато разів перевищувати середні значення крутного моменту. Як датчики для вимірювання крутного моменту використовують:

- тензометричні датчики крутного моменту (датчики такого типу широко використовують для вимірювання крутного моменту в діапазоні від 0–0,1 Н·м до 0–50 кН·м, а в разі необхідності – й більше);
- датчики крутного моменту з безконтактною передачею сигналу (базуються на фотоелектричному принципі та використовуються для безперервного контролю, оскільки працюють без зносу та без обслуговування);
- індуктивні датчики крутного моменту (принципово використовуються в тих самих галузях, що й тензометричні, однак вони вирізняються підвищеною чутливістю і використовуються в діапазоні від 0–0,1 Н·м до 0–100 кН·м);
- струнні датчики крутного моменту (їх випускають для встановлення на валах діаметром від 50 до 750 мм, залежно від виробничих умов, це приблизно відповідає діапазону вимірювання крутних моментів в діапазоні від 0–100 Н·м до 0–5 МН·м, максимальна частота обертання складає 1500 об./хв. для валів малого діаметра та знижується до 150 об./хв. для валів великого діаметра);
- п'єзоелектричні датчики крутного моменту (використовується для вимірювання крутного моменту лише стосовно вимірювальної платформи, реагуючі на зсув кварцові пластини встановлені по кільцю, а їх осі з'єднані між собою паралельно, повний заряд відповідає діючому на них крутному моменту).

Задача актуальна тому, що при застосуванні простих точних приладів, які не потребують внесення значних змін у діючу конструкцію, можна досягти економії енергетичних затрат миттєвим виявленням поломок, несправностей та встановленням оптимальних режимів роботи, швидким діагностуванням системи тощо.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що даний комплексний прилад дозволяє вимірювати миттєві значення потужності, крутного моменту та частоти обертання вала, використовуючи при цьому один пристрій, і дає можливість обробляти отримані дані: визначати інтегральні характеристики обертового руху.

Метою роботи є створення і дослідження діючої моделі комплексного приладу динамометра-тахометра-ватметра.

Аналіз джерел. Розглянемо основні пристрої, які використовують для вимірювання частоти, крутного моменту та потужності.

Відомий тахометр на вихрових струмах [1], що містить обертовий постійний магніт, поле якого збуджує вихрові струми в алюмінієвому диску, з'єднаному з покажчиком. Виникаючий при цьому обертаючий момент пропорційний частоті обертання магніту і переміщує покажчик доти, доки момент, створюваний вихровими струмами, не зрівноважиться моментом, створеним поворотною пружиною.

Відомий динамометр крутного моменту [1] (рис. 1) містить дві півмуфти, які з'єднані пружними елементами. Ці півмуфти працюють спільно з фотодатчиком ДФ-1, в прорізі якого розміщені диски 3 та 4, які утворюють при збільшенні крутного моменту більші щілини, і як наслідок – при обертанні в прорізі нерухомого фотодатчика формуються послідовності сигналів, що збільшуються за своєю тривалістю.

Відомий також динамометр крутного моменту [2], який був спеціально створений для дослідження динаміки редукторів на перехідних характеристиках.

Стенд (рис. 2) містить електродвигун (1) приводу, електромагнітне гальмо (2) з обмоткою (3) управління, датчики (4, 5) моменту на ведучому і веденому валах редуктора (6), реєструючи й осцилограф (7) з входами (8, 9, 10), підключеними відповідно до датчиків моменту і джерела (11) постійного струму, і комутатор (12).

Кожний з датчиків моменту виконаний у вигляді торсійного вала (13), на кінцях якого закріплені диски (14) з радіальними прорізами. Ці диски розміщені в отворах безконтактних перемикачів (15), які формують при обертанні дисків рівні імпульси.

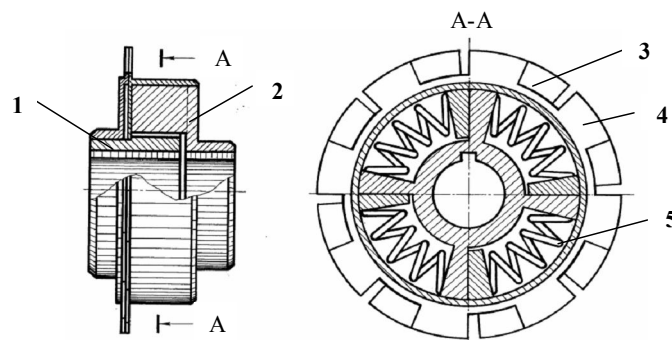


Рис. 1. Загальна схема конструкції перетворювача крутного моменту

у вигляді пружної муфти: 1, 2 – півмуфти (ліва та права);
3, 4 – лівий та правий диски з виступами; 5 – пружні елементи

На резистори (16) ці імпульси поступають у протифазі та підсумовуються. Після випрямлення випрямлячем (17) і фільтрації фільтром (18) ця сума поступає на осцилограф.

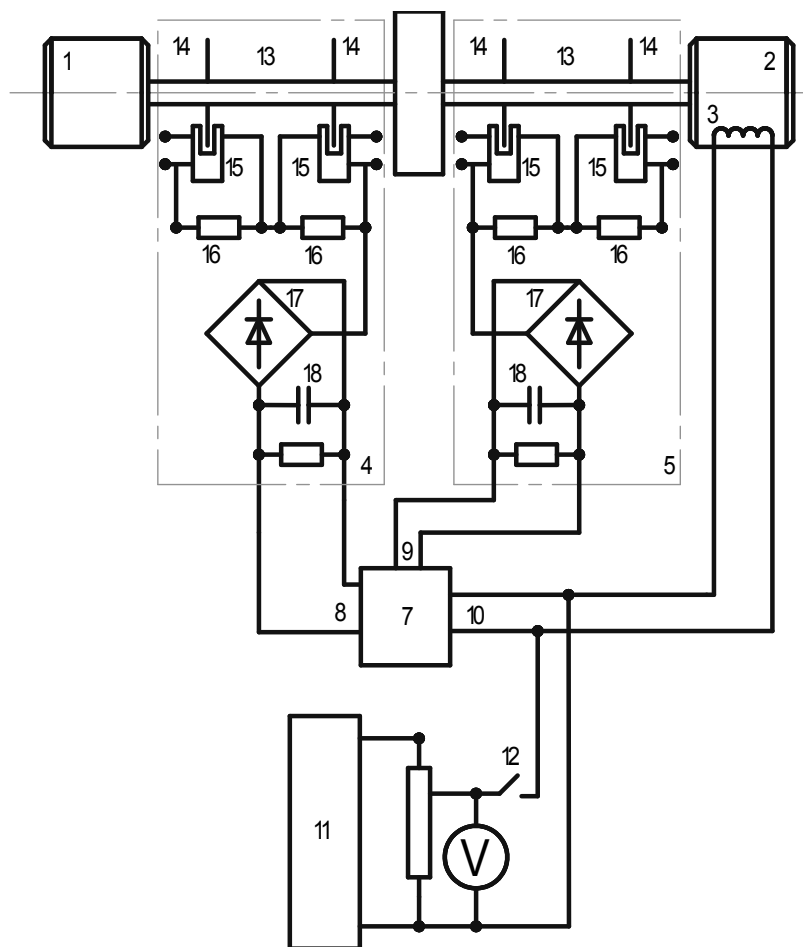


Рис. 2. Загальна схема стенда для дослідження динаміки редукторів за перехідними характеристиками

Механічну потужність зазвичай визначають шляхом непрямих вимірювань. Для цього безпосередньо вимірюють крутний момент та частоту обертання. За результатами цих вимірювань розраховують механічну потужність [1]. Прикладом такого приладу може слугувати продукція Російської фінансово-промислової компанії "Космос-Нафта-Газ" (м. Воронеж) – безконтактні системи вимірювання крутного моменту та потужності. Ці системи містять:

- безконтактний датчик крутного моменту;
- датчик обертів (тільки для системи вимірювання потужності);
- блок обробки й індикації вимірюваних параметрів.

Принцип дії динамометра крутного моменту – тензометричний, передача сигналу з вала здійснюється через обертовий трансформатор. Як вихідний сигнал вимірювачів використовується стандартний струмовий вихід і послідовний код у стандарті RS-485. Крім того, результати виводяться на цифровий індикатор у фізичних одиницях. "Космос-Нафта-Газ" випускає ряд безконтактних динамометрів крутного моменту, які вимірюють крутний момент в діапазоні від 15 до 30000 Н·м з похибкою, що не перевищує 0,5...1,0 %.

Відомі також динамометри крутного моменту ЗАТ «Месстехник», які пропонують гаму приладів різних типів, швидкостей обертання, класів точності, способів знімання сигналу, температурних діапазонів і тощо.

Відомий випробувальний стенд [3] чеської фірми Mezservis Vsetin, призначений для вимірювання кутової швидкості, крутного моменту та потужності машин. Він містить асинхронний динамометр типу ASO, оснащений тензOMETричним вимірювальним фланцем та інкрементальним датчиком обертів. З'єднання між динамометром та об'єктом випробування здійснюється за допомогою карданного вала. Вимірні дані передаються до обчислювального пристрою.

Постановка задачі та обґрунтування необхідності дослідження. Проблема вимірювання силових та потужнісних характеристик трансмісії існує давно, оскільки це вимагає застосування або контактних методів вимірювання, які мають безліч недоліків, або безконтактних. Недоліками відомих вимірювальних пристроїв є те, що кожен з них здатен вимірювати тільки одну величину, на відміну від запропонованого комплексу, і вони вимірюють лише інтегральні характеристики обертового руху за певний проміжок часу та усереднюють їх. Отже створення доступних, точних, надійних комплексів для отримання кінематичних, силових та потужнісних характеристик трансмісій, з розширеними функціональними можливостями, є досить актуальним.

Основна частина. Програмно-апаратний комплекс. Загальний вигляд стенда та його схему показано на рис. 3, як пружний елемент, було використано звичайну циліндричну пружину, що працює на розтяг.

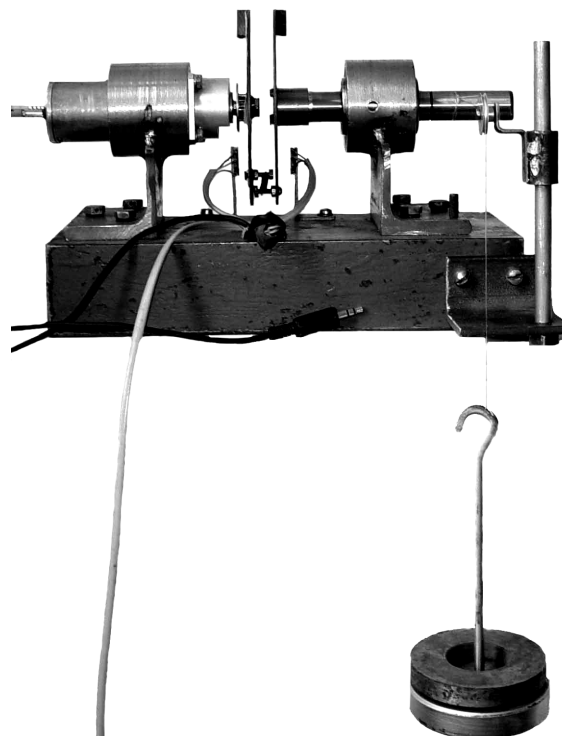
Спрощення та розширення функціональних можливостей вимірювального пристрою вирішується шляхом того, що динамометр крутного моменту складений з двох півмуфт, з'єднаних між собою пружним елементом з жорсткістю C , причому на кожній з півмуфт по колу заданого діаметра з центром на осі обертання вхідного вала встановлено по S ($S = 1, 2, 3, \dots$) точкових магнітів, в зоні дії яких нерухомо закріплено по одному чутливого до дії магнітного поля елементу на відстані достатній, щоб під час переміщення кожних S точкових магнітів повз відповідний чутливий до дії магнітного поля елемент в останньому генерувались імпульси електрорушійної сили, причому чутливі до дії магнітного поля елементи з'єднані з обчислювальним пристроєм.

Все це дозволяє вимірювати миттєві значення кутової швидкості, крутного моменту та потужності, що передаються за допомогою механічних силових пристроїв, а отже отримувати більше інформації про обертовий рух, що призводить до розширення функціональних можливостей пристрою.

Пристрій працює наступним чином: якщо на вхідному валу 1 відсутній крутний момент, а тертя в опорах вважаємо безкінечно малим, то при відсутності навантаження на вихідному валу 2 (рис. 4) вхідний вал 1 обертається з постійною кутовою швидкістю ω_0 [1]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau_0} . \quad (1)$$

де ω_0 – період обертання вхідного вала 1 при відсутності на ньому крутного моменту.



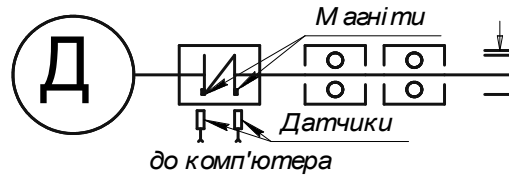


Рис. 3. Загальний вигляд установки та її схема

В даному пристрої величину τ_0 можна виміряти як проміжок часу між двома послідовними імпульсами електрорушійної сили, які генеруються в будь-якому з чутливих до дії магнітного поля елементів 9, 10 під час переміщення повз останні відповідних точкових магнітів 7, 8.

Якщо до вихідного валу 2 підключити навантаження (рис. 4), то для його обертання потрібно прикласти до входного валу 1 крутний момент. В цьому випадку вхідний вал 1 починає обертатися з кутовою швидкістю ω_i і передає крутний момент M_i вихідному валу 2.

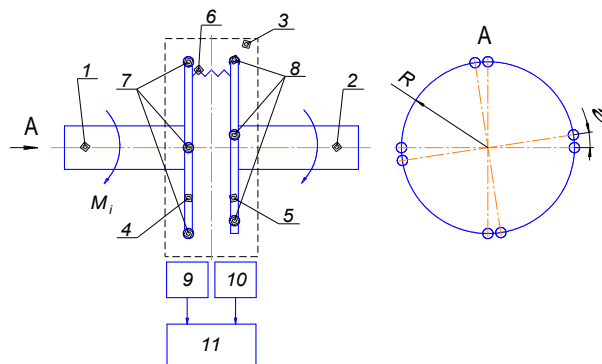


Рис. 4. Схема вимірювання кінематичних та силових параметрів трансмісії ($S = 2, 3, 4 \dots$)

Спочатку крутний момент M_i передається півмуфті 4, а потім через пружний елемент 6 з жорсткістю C крутний момент M_i передається півмуфті 5. За рахунок деформації пружного елемента 6 півмуфта 5 із точковим магнітом 8 зміщується відносно півмуфти 4 з точковим магнітом 7. Під час переміщення точкового магніту 7 повз чутливий до дії магнітного поля елемент 9 на виході останнього генерується імпульс електрорушійної сили. Через деякий час відбувається переміщення точкового магніту 8 повз чутливий до дії магнітного поля елемент 10, на виході якого теж генерується імпульс електрорушійної сили, але зсунутий у часі на величину $\Delta\tau_i$ (рис. 5), відносно імпульсу електрорушійної сили на виході чутливий до дії магнітного поля елемента 9.

При наступному оберті механічної трансмісії все повторюється спочатку і на виході кожного з чутливих до дії магнітного поля елементів 9 та 10 з'являються наступні імпульси електрорушійної сили, також зсунуті у часі один відносно іншого на величину $\Delta\tau_i$.

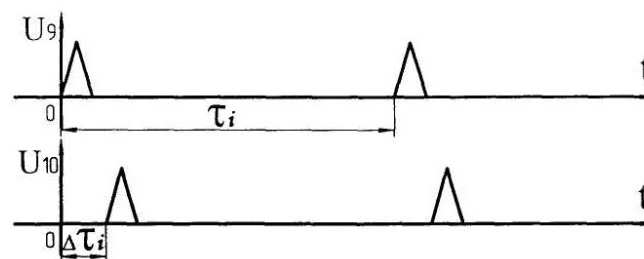


Рис. 5. Схема імпульсів, чутливих до дії магнітного поля датчиків, без початкового зміщення $\Delta\tau_0$

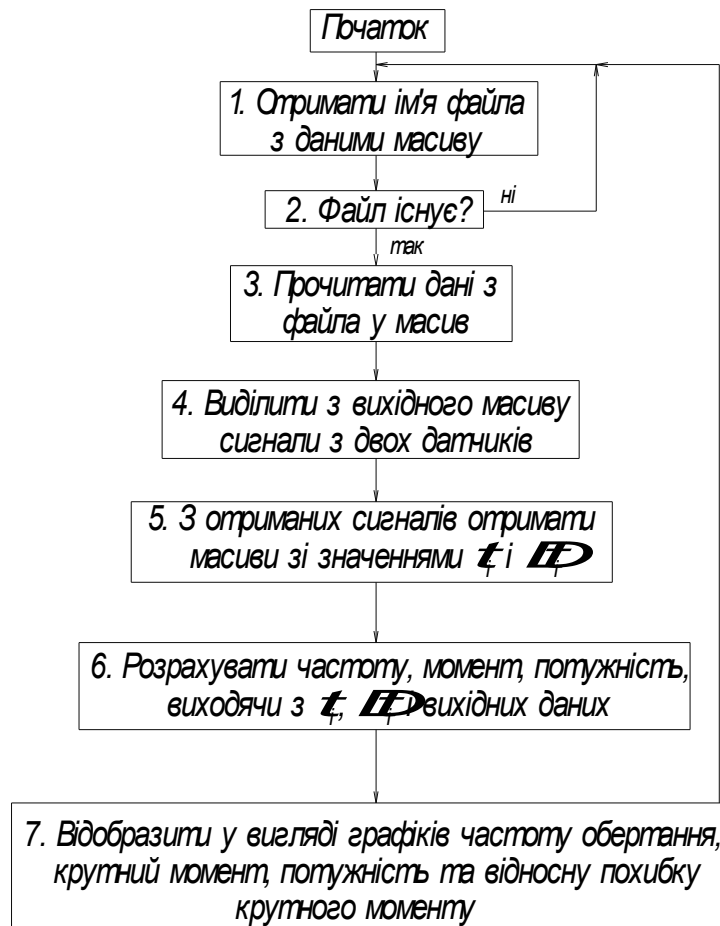


Рис. 6. Алгоритм програми «DTW»

Імпульси електрорушійної сили з чутливих до дії магнітного поля елементів 9 та 10 надходять до обчислювального пристрою 11, який оброблює їх за формулами:

$$\omega_i = \frac{2 \cdot \pi}{S \cdot \tau_i}; \quad (2)$$

$$M_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot C}{S \cdot \tau_i} \cdot \Delta \tau_i; \quad (3)$$

$$N_i = C \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{S \cdot \tau_i} \right)^2 \cdot \Delta \tau_i. \quad (4)$$

Головною перевагою даного комплексу є те, що як обчислювальний пристрій використовується комп'ютер, сигнал в який поступає безпосередньо без попереднього перетворення чи підсилення з використанням додаткових пристроїв. Це можливо завдяки використанню як магніточутливих елементів мікросхем серії K1116, які можуть сполучатися з цифровими схемами.

Сигнал з датчиків подається в line In комп'ютера, який за допомогою програми «Power Graph» записується на жорсткий диск. Обробку файлу проводить програма «DTW», яка дозволяє підрахувати і зобразити на графіках величини частоти обертання, крутного моменту, потужності, а також відносну похибку вимірювань крутного моменту.

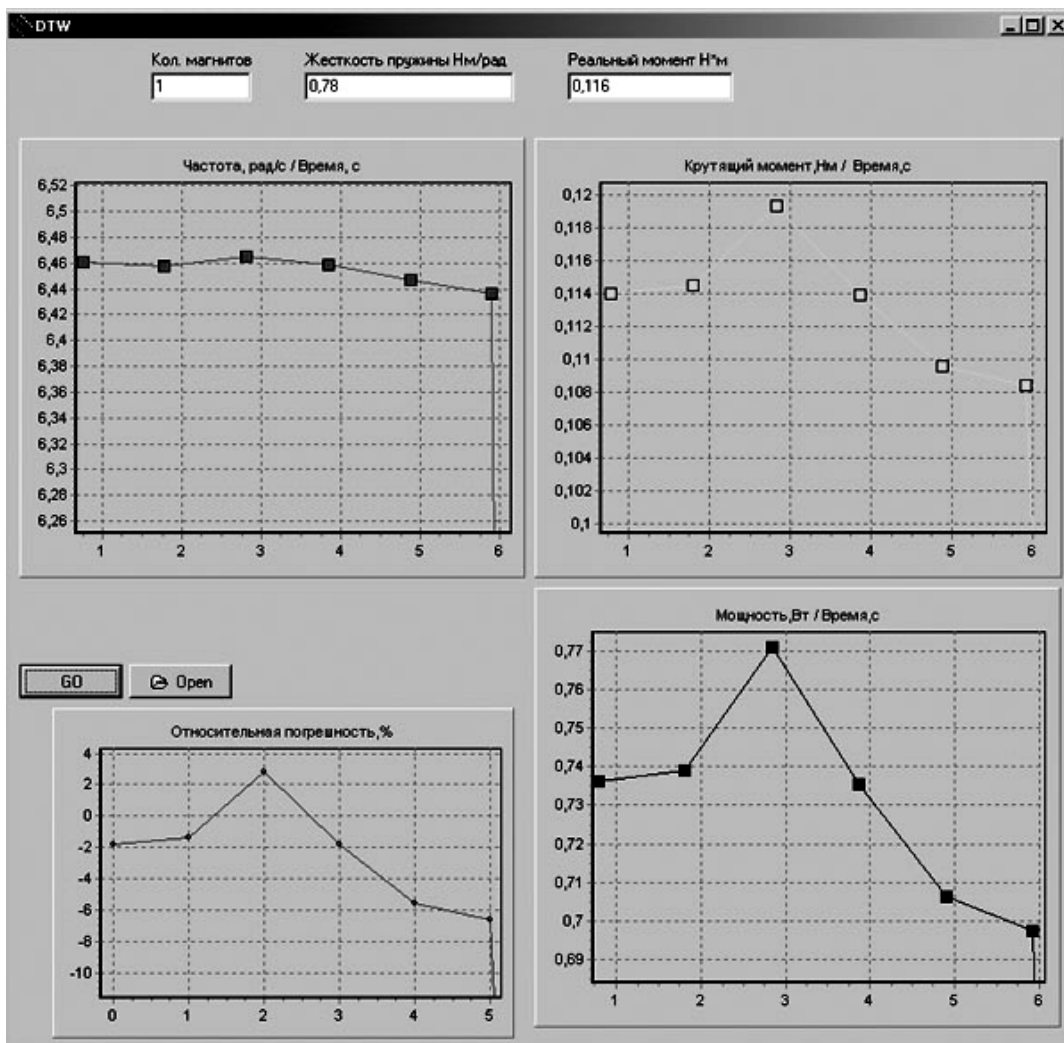


Рис. 7. Интерфейс программы «DTW»

Висновки. Наведена в даній статті експериментальна установка, створена в лабораторії кафедри автомобілів і механіки технічних систем ЖДТУ, була використана при виконанні експериментальних досліджень. Отримані результати підтвердили можливість практичної реалізації комплексу та дозволили: визначити пріоритетні напрямки застосування приладу в подальшому; оцінити похибки вимірювань, та встановити, що вони повністю задовольняють точності інженерних розрахунків; створити програмно-апаратний комплекс, що дозволяє практично реалізовувати винахід; встановлена можливість монтажу динамометра-тахометра-ватметра в існуючі трансмісії та запропоновані математичні викладки для визначення інших параметрів дослідження; встановлена можливість вивчення швидких процесів, що відбуваються при нестационарних режимах навантажень; на основі роботи створені пріоритетні напрямки вдосконалення експериментальної установки з метою розширення її можливостей для дослідження питань нестационарних режимів роботи трансмісій, таких як коливання, резонансні процеси та ін.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Исследования и изобретательство в машиностроении: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / М.Ф. Пашкевич, А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро, В.М. Пашкевич / Под общ. ред. М.Ф. Пашкевича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2005. – 287 с.
2. М.Ф. Пашкевич, В.В. Геращенко. Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания. – Минск: БелНИИИТИ, 1992. – 248 с.
3. Продукция Mezservis Vsetin // Техника в движении. – ООО «Элтехникс». – 2004.
4. Деклараційне патентне свідоцтво на динамометр-тахометр-ватметр.
5. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.
6. Батанов М.В., Петров Н.В. Пружины. – М.: Машиностроение, 1968. – 216 с.
7. Радчик А.С., Буртковский И.И. Пружины и рессоры. – М.: Техника, 1973. – С. 65–76.
8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М: Наука, 1974. – 480 с.
9. www.kng.ru
10. www.messtechnik.ru

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів і механіки технічних систем, проректор з наукової роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі;
- синергетика;
- нові технології;
- прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного тепературно-силового навантаження.

ЛОМАКІН Володимир Олександрович – аспірант кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- кінематичні та динамічні процеси в трансмісіях.

Подано 02.04.2007