

УДК 621.374

## МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ТОКАРНИХ ОПЕРАЦІЙ

*Сергій Баранович, к.т.н., Роман Шеремета, к.т.н., Олексій Швець, к.т.н., Сергій Коробка, к.т.н., Сергій Сиротюк, к.т.н.*

*Львівський національний університет природокористування,  
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,  
e-mail: baranovich1977@ukr.net; romansheremeta@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.031>

**Баранович С., Шеремета Р., Швець О., Коробка С., Сиротюк С. Методичний комплекс для визначення сили різання під час виконання токарних операцій**

У праці запропоновано методичний комплекс для визначення сили різання під час виконання токарних операцій, оскільки зменшення споживання енергії під час механічної обробки металів є важливим технологічним елементом для оптимального виробництва. Споживання енергії може бути визначене за допомогою прямого або непрямого вимірювання. Щоб мінімізувати витрати часу на вимірювання сили різання, під час механічної обробки, а також інших технологічних параметрів можна застосувати методи комп'ютерного вимірювання і моделювання. Таке вимірювання і визначення необхідних технологічних параметрів механічної обробки металів можна реалізувати використанням віртуальних засобів у програмному середовищі LabVIEW виробництва National Instruments. Це програмне забезпечення має декілька переваг, зокрема: використовується візуальна мова програмування; зручний та інформативний інтерфейс для користувача; можливість використання зовнішніх пристроїв введення/виведення даних у реальному часі; має потужні засоби візуалізації даних, що дозволяє відображати дані у вигляді графіків, діаграм, таблиць; підтримує різні операційні системи, такі як Windows, macOS, Linux, що дозволяє використовувати його на різних пристроях тощо. Тому для визначення технологічних параметрів токарної механічної обробки пропонується застосовувати це програмне середовище. Вимірювання основної складової сили різання можна здійснити за допомогою безперервного потоку вхідних даних з використанням динамометра кручення ДК1, оснащеного програмно-апаратним комплексом для отримання цифрового сигналу вимірювальних величин, а інші складові визначити аналітичним методом за допомогою програмного середовища LabVIEW. Цей метод вимірювання дає змогу проводити дослідження в широкому діапазоні вимірюваних технологічних параметрів механічної обробки металів на токарно-гвинторізних верстатах у режимі реального часу, візуалізувати та аналізувати вимірювані параметри на ПК.

**Ключові слова:** токарно-гвинторізний верстат, сила різання, середовище LabVIEW, методичний комплекс вимірювання, прикладне програмне забезпечення.

**Baranovych S., Sheremeta R., Shvets O., Korobka S., Syrotiuk S. Methodological complex for determining cutting force during turning operations**

The work presents a comprehensive methodology for determining cutting force during turning operations. Reducing energy consumption in mechanical metal processing is crucial for optimizing production. Energy consumption can be measured directly or indirectly. To minimize the time spent measuring cutting force and other technological parameters, computer-based measurement and modeling methods can be employed. This assessment of necessary technological parameters in mechanical metal processing can be facilitated using virtual tools in the LabVIEW software environment developed by National Instruments. This software offers several advantages: it utilizes a visual programming language, features an intuitive user interface, allows for real-time use of external input/output devices, and provides robust data visualization tools that can display data in graphs, diagrams, and tables. Additionally, it supports various operating systems, including Windows, macOS, and Linux, making it versatile for use on different devices. The LabVIEW environment is thus proposed for determining the technological parameters of turning operations. The primary component of cutting force can be established by continuously inputting data from a torque dynamometer (DK1) that includes a hardware-software system for obtaining a digital signal of the measured quantities. Other components of cutting force can be estimated using analytical methods within the LabVIEW software. This approach enables research across a wide range of technological parameters in mechanical metal processing on turning-milling machines, while allowing for real-time visualization and analysis of the measured parameters on a PC.

**Keywords:** turning-milling machine, cutting force, LabVIEW environment, methodological measurement complex, application software.

**Постановка проблеми.** Вивчення технологічних параметрів процесу обробки металів різанням у режимі реального часу зіштовхується з проблемою їх отримання і обробки, що

вимагає розробки спеціальних алгоритмів для усунення стохастичного впливу одержуваних сигналів та знижує достовірність отриманих результатів. Застосування методичного

комплексу з використанням комп'ютерного моделювання дозволяє суттєво спростити та знизити час отримання відповідних вимірюваних і розрахункових даних. Комп'ютерне моделювання є потужним інструментом дослідника, оскільки дає змогу в емпіричній формі представити основні функціональні властивості досліджуваного об'єкта, а також за допомогою введення додаткових елементів досліджувати їх вплив на основні технологічні показники токарної обробки або експлуатацію токарно-гвинторізного верстата. Визначення сили різання під час токарної обробки особливо потребує комп'ютерного вимірювання, оскільки на технологічні параметри роботи токарно-гвинторізного верстата впливає значна кількість чинників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд літературних джерел підтвердив значний інтерес дослідників до теми визначення технологічних параметрів під час процесу обробки заготовок або деталей різанням. Дослідження характеру зміни технологічних параметрів від впливу чинників, які задаються в процесі обробки, є важливим для пошуку раціональних алгоритмів вибору цих параметрів для виготовлення деталей.

У працях [1; 6–10; 12; 15] розглянуто методичні засади та обладнання для визначення сили різання під час технологічних операцій токарної обробки.

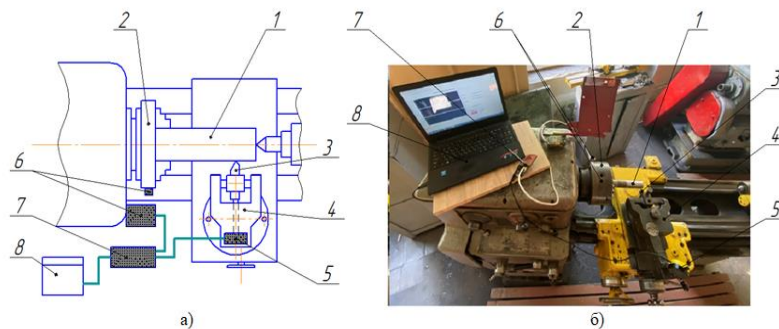
Для вимірювання параметрів і випробування різних дослідних установок застосовують програмний комплекс *LabVIEW* [2; 14; 16], який може використовуватися також для дослідження технологічних операцій. Цей комплекс може бути доповнений інструментарієм *Fuzzy-Logic*

[3] для подальшої оптимізації технологічних процесів.

**Постановка завдання.** Для дослідження сил різання під час поздовжнього токарного оброблення та отримання індикаторних діаграм їх зміни в часі доцільно розробити апаратно-програмний комплекс, який дасть змогу відображати та реєструвати миттєві значення та зміни сил різання за попередньо заданих режимів роботи токарного верстата, таких як подача, глибина та швидкість різання, й виконувати обробку результатів у реальному часі. Крім того, оперативність математичної обробки отриманих даних спростить і прискорить дослідження та визначення сили різання.

Відповідно до програми досліджень сили різання під час поздовжнього токарного оброблення, верстат з обладнанням, за допомогою якого проводяться дослідження, повинен задовольняти такі вимоги щодо апаратного складу, а саме стосовно наявності: токарного верстата, що дозволяє змінювати технологічні параметри обробки заготовки; засобів для стеження та передачі інформації електричними сигналами для реєстрації поточного значення показів індикатора та давача обертів; комплекту приладів для реєстрації вимірюваних параметрів; контрольно-вимірювальних пристроїв для реєстрації вимірюваних параметрів.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення експериментальних досліджень як основу було використано токарно-гвинторізний верстат 1Б61А з доукомплектуванням деякими необхідними технічними засобами. Схема стенда наведена на рис. 1, а, загальний вигляд – на рис. 1, б.



**Рис. 1.** Стенд для дослідження сили різання на токарно-гвинторізному верстаті: а – схема стенда; б – загальний вигляд стенда; 1 – заготовка для токарного обробітку; 2 – трикулачковий самоцентрувальний патрон; 3 – токарний різець; 4 – динамометр кручення ДК1; 5 – індикатор з цифровим відліковим пристроєм; 6 – давач обертів; 7 – плата Arduino Mega 2560; 8 – ПК

**Fig. 1.** Bench for researching the cutting force on a lathe and screw-cutting machine: а – diagram of the bench; б – general view of the stand; 1 – workpiece for turning; 2 – three-jaw self-centering cartridge; 3 – turning cutter; 4 – torsion dynamometer DK1; 5 – indicator with a digital counter; 6 – speed encoder; 7 – Arduino Mega 2560 board; 8 – PC

Стенд включає заготовку для токарного обробітку 1, яка закріплена в трикулачковому самоцентрувальному патроні 2, різець токарний 3 встановлено на динамометр кручення ДК1 4, який через систему торсіонів та важелів передає переміщення на вимірювальний штифт, в який впирається наконечник індикатора з цифровим відліковим пристроєм 5. Для вимірювання частоти обертання трикулачкового самоцентрувального патрона, в який встановлено заготовку, передбачено давач обертів 6.

Індикатор з цифровим відліковим пристроєм обладнано засобами для можливості отримання сигналу в електричному вигляді.

Реєстрація сигналів здійснюється за допомогою давачів та плати Arduino Mega 2560, яка програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE, яке підтримує мову програмування C і C++, а відтворення здійснюється на ПК в програмному середовищі LabVIEW з широким діапазоном налаштування сигналу. Для вимірювання переміщення проміжного стрижня демпферного пристрою використано індикатор з цифровим відліковим пристроєм типу ИЧЦ(5)-13-0,01-IP65 класу точності 1.

Вирішення завдання щодо підключення нестандартних приладів до ПК індивідуальне для кожного випадку, але можна виділити низку загальних підходів [11]. Передусім ПК має бути оснащений пристроєм введення/виведення аналого-цифрової інформації. Підключення вимірювального приладу до ПК може реалізуватися такими пристроями: плата (DAQ-плата) промислового виготовлення, що вставляється в слот ПК, або модулі віддаленого введення/виведення (наприклад, серії I – 7000 фірм ICP DAS або ADAM – 5000 фірм Advantech). Автоматизована вимірювальна система може бути побудована на основі послідовного інтерфейсу (наприклад, RS - 485).

Для розробки програмного забезпечення зупинились на використанні алгоритмічної мови графічного програмування в середовищі LabVIEW [13], яка має низку переваг: простота освоєння для непрофесійних програмістів і висока швидкість створення програм; наявність широкого спектра отримання, обробки, зберігання і візуалізації вимірюваної інформації; можливість роботи з драйверами різних пристроїв, розроблених у вигляді бібліотек DLL, що динамічно підключаються, а також використання елементів ActiveX; підтримка стандартних інтерфейсів ПК і можливість простого введення-виведення цифрових даних через порти (аналогічно функціям мови програмування C *inport* і *outport*).

Крім того, пряма робота з портами DAQ-плат у Windows при виконанні поодиноких ввідів/виводів інформації вимагає значно менших затрат часу порівняно з використанням функцій DLL.

Для визначення прогину балки динамометра кручення використано цифровий індикатор МІКРОТЕХ ИЧЦ-13 (рис. 2) з діапазоном вимірювання 0-13 мм та дискретністю 0,01 мм [4]. Для виведення даних цифровий індикатор оснащений роз'ємом micro-USB. Цифровий індикатор пройшов метрологічний контроль в акредитованій за ISO 17025 метрологічній лабораторії.



**Рис. 2.** Цифровий індикатор МІКРОТЕХ ИЧЦ-13  
**Fig. 2.** Digital Indicator MICROTTECH ICHC-13

Під'єднання до роз'єму micro-USB цифрового індикатора дозволило зчитувати виміряне ним значення з періодичністю 140 мс. Індикатор живиться від батареї CR2032 напругою 3,3 В. Але протокол передачі даних, нестандартна схема під'єднання до роз'єму micro-USB та напруга сигналів, яка становить 1,5 В, не дозволяє зчитати сигнал штатними засобами ПК.

Щоб виміряти оберти трикулачкового самоцентрувального патрона, було використано давач КУ-033, який є оптичним модулем для виявлення білих або чорних ліній. Основою цього модуля є оптопара TCRT5000, що містить у собі інфрачервоний світлодіод та фототранзистор. Встановивши світлу мітку на шківі та розмістивши давач КУ-033 прямо перед нею, можна вимірювати час, необхідний для виконання двигуном одного повного оберту.

Для комутації сигналів від давачів до програми, створеної у середовищі LabVIEW, використано електронну платформу прототипування з відкритим кодом – Arduino, а саме плату Arduino Mega 2560 на базі 8-бітного AVR мікроконтролера ATmega2560 з тактовою частотою 16 МГц [5]. На платі знаходиться 16 аналогових, а також 54 цифрових входів/виходів (з яких 15 можуть використовуватися як ШІМ-виходи).

Введення/виведення сигналів до програмної частини вимірювального комплексу на ПК здійснюється через послідовний порт (UART).

Програмна частина вимірювального комплексу являє собою програмне середовище *LabVIEW* з алгоритмічною мовою графічного програмування.

Програма дає змогу створити екранний інтерфейс віртуального осцилографа (рис. 3)

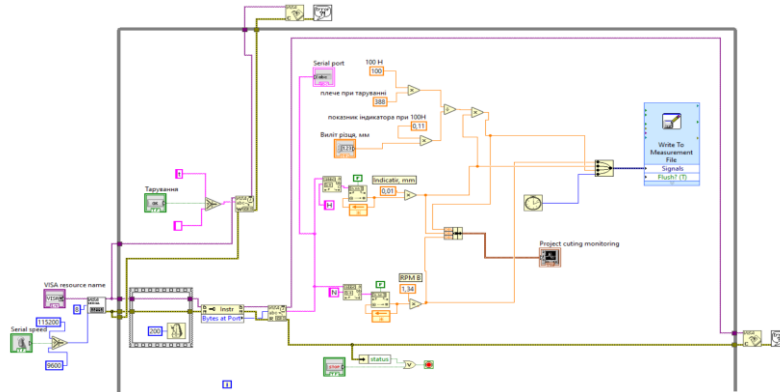


**Рис. 3.** Робоче вікно експериментального дослідження сили різання з використанням екранного інтерфейсу віртуального осцилографа

**Fig. 3.** Working window of the experimental study of cutting force using the screen interface of a virtual oscilloscope

Функціональні взаємозв'язки між елементами і панель блок-діаграми віртуального осцилографа подано на рис. 4. Кожних 200 мс здійснюється зчитування вхідних даних у вигляді рядка та розділяється на значення індикатора та частоту обертання трикулачкового патрона,

які домножуються на перевідні коефіцієнти. З використанням даних тарування визначається сила різання, виміряні значення виводяться на робоче вікно, а також для подальшого аналізу зберігаються в табличному вигляді у форматі Excel.



**Рис. 4.** Фрагмент панелі блок-діаграми функціонального взаємозв'язку між елементами вимірювальної системи

**Fig. 4.** Fragment of the block diagram panel illustrating the functional interconnection between elements of the measurement system

Попередньо проводили тарування динамометра, а оскільки при встановленні різних різців, вони будуть мати різний виліт різця від середньої лінії торсіонних брусків, то передбачено поле для введення цього значення у робочому вікні програмного комплексу.

Стенд для дослідження сили різання на токарно-гвинторізному верстаті із застосуванням програмного комплексу *LabVIEW* фірми *National Instruments* дозволяє відобразити, записати та проаналізувати миттєві значення вимірних параметрів та їх взаємозалежність у реальному масштабі часу.

### Висновки

Розроблений методичний комплекс для визначення сил різання під час виконання

токарних операцій у середовищі *LabVIEW* може використовуватися як інструмент дослідження широкого діапазону технологічних параметрів.

Результати дослідження за допомогою методичного комплексу відображають характеристику технологічного процесу за різних значень змінних впливових чинників у реальному режимі часу.

Цей методичний комплекс із застосуванням середовища *LabVIEW* може застосовуватися для визначення потужностей, які затрачуються під час різання, для оптимального завантаження токарних верстатів на виробництві під час виконання відповідних технологічних операцій.

**Бібліографічний список**

1. Майданюк С. В., Плівак О. А. Модуль вимірювання сил різання. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2016. № 2 (77). С. 15-22.
2. Моделювання фотоелектричної панелі в середовищі LabVIEW / В. Боярчук та ін. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агроінженерні дослідження»*. 2023. № 26. С. 71-76. doi: 10.31734/agroengineering2022.26.071.
3. Сиротюк С., Сиротюк В., Гальчак В. Fuzzy-Logic контроллер управления режимами работы ветро-электрической установки. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. 2015. Vol. 17, No 4. P. 39-46.
4. Цифровий індикатор МІКРОТЕХ ІЧЦ-13. URL: [https://microtech-ua.com/index.php?id\\_product=11763&controller=product&id\\_lang=2](https://microtech-ua.com/index.php?id_product=11763&controller=product&id_lang=2) (дата звернення: 29.04.2024).
5. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/> (Last accessed: 29.04.2024).
6. Chen W. Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2000. 40. P. 455-466.
7. Cutting force excursion in turning / E. Kushnir, T. Portman, V. A. Aguilar, W. Clark. *Procedia CIRP*. 2023. Vol. 118. P. 495-500. doi: 10.1016/j.procir.2023.06.085
8. Cutting forces during turning with variable depth of cut / M. Sadílek, J. Dubský, Z. Sadílková, Z. Poruba. *Perspectives in Science*. 2016. 7. P. 357-363.
9. Design And Research Of Computer Model Of Wind Turbine Using Labview / S. Syrotyuk et al. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2024. Nr 4. P. 281-285. doi: 10.15199/48.2024.04.58.
10. Determination of Energy Consumption during Turning of Hardened Stainless Steel Using Resultant Cutting Force / R. Nur, N. M. Yusof, I. Sudin, F. M. Nor, D. Kurniawan. *Metals*. 2021. 11(4). 565 p. doi: 10.3390/met11040565.
11. Kring J., Travis J. *LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun*: 3rd edition. Prentice Hall, 2006. 1032 p.
12. Lalwani D. I., Mehta N. K., Jain P. K. Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *Journal of materials processing technology*. 2008. Vol. 206. P. 167-179.
13. Larsen R. W. *LabVIEW for Engineers*. Prentice Hall, 2011. 396 p.
14. Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW / A. Chouder, S. Silvestre, B. Taghezouit, E. Karatepe. *Solar Energy*. 2013. Vol. 91. P. 337-349.
15. Niruban Projoth T., De Poures Melvin V., Nanthakumar P. Analysis and prediction of cutting force through lathe tool dynamometer in CNC turning process. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 46, part 9. P. 4174-4179. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.681.
16. Real time simulation of solar photovoltaic module using labview data acquisition card / Y. Yadav, R. Roshan, S. Umashankar, D. Vijayakumar, D. P. Kothari. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. 2013. P. 512-523.

Стаття надійшла 12.05.2024