

УДК 621.9.08 (083)

О.Ф. ЄНІКЄЄВ, Ф.М. ЄВСЮКОВА, О.Ю. ПРИХОДЬКО

## АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ

Для побудови структурних схем вимірювальних перетворювачів потужності запропоновано методи цифро-аналогового та частотно-імпульсного перемноження сигналів струму і напруги, які споживає привод головного руху металорізального верстату. На основі методів теорії інформації, зокрема, інформаційного підходу розроблено методику статистичної обробки дослідних даних з метою визначення похибки запропонованих вимірювальних перетворювачів потужності. Встановлено, що метрологічні характеристики вимірювальних перетворювачів потужності задовольняють вимогам по точності.

**Ключові слова:** вимірювальний перетворювач, потужність, інформаційний підхід, похибка.

Для построения структурных схем измерительных преобразователей мощности предложены методы цифро-аналогового и частотно-импульсного перемножения сигналов тока и напряжения, которые потребляет привод главного движения металлорежущего станка. На основе методов теории информации, в частности, информационного подхода разработана методика статистической обработки экспериментальных данных с целью установления погрешностей предложенных измерительных преобразователей мощности. Установлено, что метрологические характеристики измерительных преобразователей мощности удовлетворяют требованиям по точности.

**Ключевые слова:** измерительный преобразователь, мощность, информационный подход, ошибка.

To construct the structural diagrams of the power measuring converters, methods of digital-analog and frequency-pulse multiplication of current and voltage signals, which are consumed by the drive of the main movement of the metal-cutting machine, are proposed. Based on the methods of information theory, in particular, the information approach, a method for statistical processing of experimental data has been developed with the aim of establishing the errors of the proposed power transducers. It is established that the metrological characteristics of the power measuring converters satisfy the accuracy requirements.

**Keywords:** measuring transducer, power, information approach, error.

**Вступ.** Питанням розробки методів та апаратних засобів для контролю потужності металорізальних верстатів надається достатня увага в технічній літературі. Актуальність й важливість цієї задачі обумовлено тим, що вона не вирішена у повному обсязі. Складності її розв'язання обумовлено широким діапазоном зміни інформаційного сигналу (у межах 20...400 Вт) та достатньо жорсткими вимогами до метрологічних характеристик вимірювального перетворювача потужності (0.1...0.3%).

**Постановка проблеми.** У більшості випадків задача вирішується методом перемноження сигналів струму та напруги генератора. Відомі методи та апаратні засоби перемноження вхідних сигналів не забезпечують належну точність. Так, наприклад, мікросхема 525ПС2 виконує процедуру перемноження сигналів струму та напруги з похибкою 1...2% [1]. Така похибка оцінювання сигналу потужності приводу головного руху верстату неприпустима. Десяти розрядна мікросхема 564ИП5 задачу перемноження кодів струму та напруги вирішує з похибкою 0.1...0.2%. Мікросхеми 588ВР1, 1802ВР4 або 1802ВР5 надають можливість побудувати цифровий пристрій для перемноження кодів струму та напруги з достатньо нескладною схемою управління. Однак, цей метод побудови вимірювального перетворювача потужності (ВПП) вимагає суттєвих апаратних витрат.

**Мета статті.** Розробка методів та побудова апаратних засобів для вимірювання потужності приводу головного руху верстату, які задовольняють вимогам за величиною похибки перетворення. Досягнення поставленої мети забезпечується розв'язуванням таких задач:

- розробка методу цифро-аналогового перемноження сигналів струму та напруги;
- побудова частотно-імпульсного пристрою для перемноження кодів;

- порівняльний аналіз ВПП.

**Цифро-аналоговий ВПП.** При отриманні сигналу струму приводу головного руху верстату використовуються вимірювальні шунти на 5 А, падіння напруги на яких за умов протікання номінального струму складає 75 мВ. Потужність приводу головного руху верстату у межах швидкісного режиму роботи двигуна постійна. Межі зміни сигналів струму та напруги приводу головного руху верстату в залежності від режиму різання заготівлі складають: 0,20...3,60 А та 100 В.

ВПП можливо побудувати з використанням цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) [2]. Його вихідна напруга визначається за допомогою наступного виразу

$$U_{\text{вих}} = \frac{NU_{\text{он1}}}{2^{n_1}}, \quad (1)$$

де  $N$  – вихідний код;  $n_1$  – розрядність;  $U_{\text{он1}}$  – опорна напруга.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) сигнал напруги приводу головного руху верстату перетворює у цифровий код у відповідності з таким виразом

$$N = \frac{U_x 2^{n_2}}{U_{\text{он2}}}, \quad (2)$$

де  $U_x$  – вхідна напруга;  $n_2$  – розрядність;  $U_{\text{он2}}$  – опорна напруга.

Вираз (2) підставимо в рівняння (1) та із урахуванням  $n_1 = n_2$  маємо

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_x U_{\text{он1}}}{U_{\text{он2}}}. \quad (3)$$

Прийнявши  $U_{\text{он2}} = \text{const}$ , та на основі наведених перетворень принципово можливо побудувати пристрій для перемноження сигналів струму та напруги приводу головного руху металорізального верстату. Структурну схему цифро-аналогового ВПП подано на рис. 1.

© А. Ф. Єнікєєв, Ф. М. Євсюкова, О. Ю. Приходько, 2017

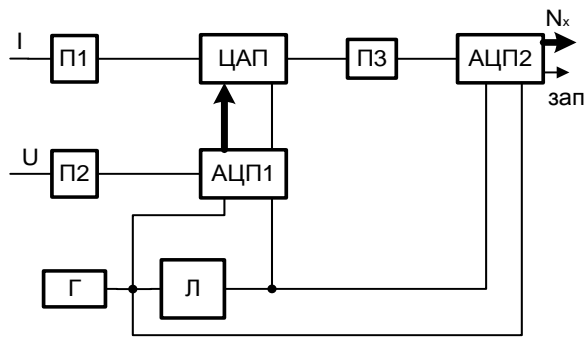


Рис. 1 – Цифро-аналоговий ВПП

Схему ВПП також складають та модулі: підсилювачі (П1...П3) сигналів; генератор (Г) імпульсного сигналу, частоту коливань якого стабілізовано кварцовим резонатором; лічильник (Л) імпульсів. Побудову пристрою виконано на мікросхемах серій К140, К153, К155, К590 та К572. Блок АЦП реалізовано на мікросхемі К572ПВ1. Модуль П1 є підсилювачем із модуляцією та демодуляцією аналогового сигналу, який побудовано за типовою схемою [2]. Цей блок має коефіцієнт підсилення 396. Елемент П2 побудовано на мікросхемі К153УД5 за типовою неінвертуючою схемою [3] із коефіцієнтом підсилення 0.01. Блок П3 побудовано на мікросхемі К153УД5 за типовою інвертуючою схемою із коефіцієнтом підсилення 0.28. Швидкодія ВПП визначається часом перетворення блоку АЦП2.

Структурну схему ВПП, який реалізує метод частотно-імпульсного перемноження кодів, подано на рис. 2. Перемноження кодів організовано на базі двох реверсивних Л. Схему ВПП також складають: одно вібратори ОВ1...ОВ5; регістр (Р); тригер (Т); комутатор (К) аналогових сигналів; схеми «ТА» й «АБО». Початковий стан блоків Л1 та Л2 визначають коди N1 та N2, які відповідають значенням струму та напруги приводу головного руху верстату. Цикл перемноження організовано шляхом зменшення кодової комбінації Л1 та Л2 до нульового стану. Таким чином, за цикл перетворення на виході схеми ТА з'явиться кількість імпульсів, яка відповідає N1\*N2. Блок АЦП організовано на мікросхемі К572ПВ1. Недоліком цього ВПП є достатньо великий час перемноження сигналів струму та напруги.

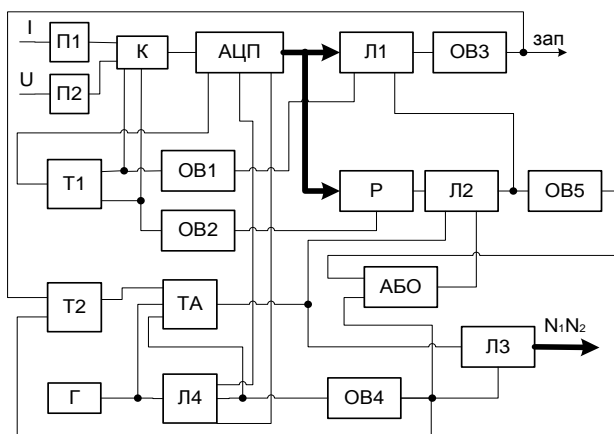


Рис. 2 – Структурна схема цифрового ВПП

**Аналіз метрологічних характеристик ВПП.** Для цього скористуємось методами теорії інформації, зокрема, інформаційним підходом [4]. Виконуємо статистичну обробку дослідних даних, які являють собою вимірювання з багаторазовими спостереженнями вихідного коду цифро-аналогового ВПП. На рис. 3 подано гістограму розкиду. Обсяг вибірки склав 128 вимірювань. Основні статистичні параметри такі

$$\bar{X} = 1.4 \cdot 10^{-3}, \sigma = 0.2652, A = 0.04, E = -0.49. \quad (4)$$

Гістограму після виконання процедури згладжування описано трапецеїдальним законом розподілу. Ймовірність висунутої гіпотези за критерієм узгодженості Колмогорова склала 0.938 при  $\lambda = 0.503$ . Рівняння згладженої кривої розкиду вихідного коду цифро-аналогового ВПП має вигляд

$$f_1(x) = 1.21e^{-\left(\frac{x}{1.72\sigma}\right)^4} \text{ при } x \in (-0.70, 0.70). \quad (5)$$

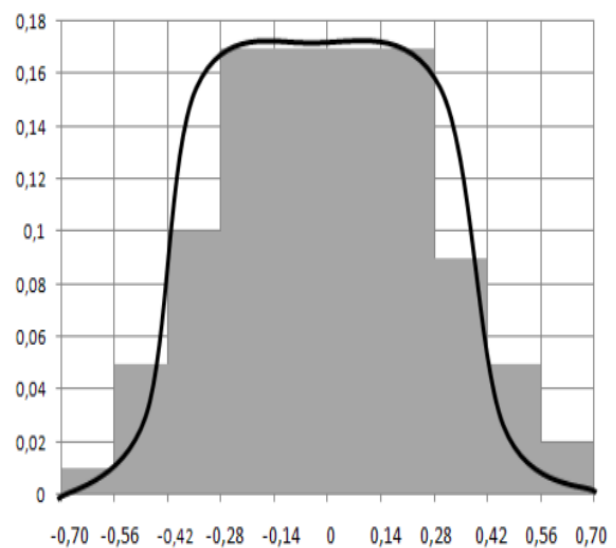


Рис. 3 – Гістограма розкиду вихідного коду цифро-аналогового ВПП

Для отриманого закону розподілу похибки маємо

$$\ln f_1(x) = -\ln(0.8267) - \left(\frac{x}{1.72\sigma}\right)^4. \quad (6)$$

Звідси ентропія похибки запропонованого ВПП

$$H\left(\frac{x}{x_n}\right) = \ln \left[ 0.8267 e^{\frac{0.0802\mu_4}{\sigma}} \right]. \quad (7)$$

Ентропійний інтервал невизначеності вихідного коду цифро-аналогового ВПП

$$\Delta_1 = 0.41335 e^{\frac{0.0802\mu_4}{\sigma}} = 0.4138. \quad (8)$$

Аналіз отриманої інформації дозволяє зробити наступні висновки:

На рис. 4 подано гістограму розкиду вихідного коду цифрового ВПП. Обсяг вибірки склав 115 вимірювань. Основні статистичні параметри такі

$$\bar{X} = 2.64 \cdot 10^{-3}, \sigma = 0.237, A = 0.06, E = -0.483. \quad (9)$$

Гістограму після виконання процедури згладжування описано експоненціальним законом розподілу, який за виглядом достатньо близький до трикутного. Ймовірність висунутої гіпотези за критерієм узгодженості Колмогорова склала 0.972 при  $\lambda = 0.487$ . Рів-

няння згладженої кривої розкиду вихідного коду цифрового ВПП має вигляд

$$f_2(x) = \frac{1}{2\sigma} e^{-\frac{|x|}{\sigma}} \text{ при } x \in (-0.60, 0.60). \quad (10)$$

Для отриманого закону розподілу похибки маємо

$$\ln f_2(x) = -\ln 2\sigma - \frac{|x|}{\sigma}. \quad (11)$$

Звідси ентропія похибки запропонованого ВПП

$$H\left(\frac{x}{x_n}\right) = \ln\left(2\sigma e^{\frac{\mu}{\sigma}}\right). \quad (12)$$

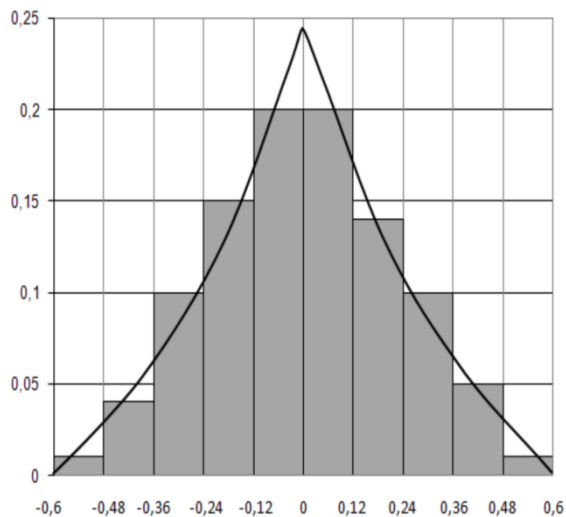


Рис. 4 – Гістограма розкиду вихідного коду ВПП

Ентропійний інтервал невизначеності вихідного коду цифрового ВПП

$$\Delta_2 = \sigma e^{\frac{\mu}{\sigma}} = 0.25. \quad (13)$$

Виконаємо порівняння запропонованих ВПП з метою вибору найбільш ефективного. Складові похибок ВПП знаходять свій кількісний вираз у змінах їхніх вихідних сигналів. Інформаційна технологія визначення похибок ВПП складає такі обчислювальні процедури [5]:

- розрахунок математичного очікування сигналу потужності  $P_{cp}$ ;
- визначення середньоквадратичного відхилення за допомогою наступного виразу

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (14)$$

де  $\Delta_i = P_{cp} - P_i$  – абсолютна похибка і-того виміру;

- задавшись величиною довірчої ймовірності визначаємо довірчий інтервал навколо номінальної похибки перетворення таким чином

$$\Delta = t_c \sigma; \quad (15)$$

- розраховуємо відносну похибку оцінювання потужності приводу головного руху верстату

$$\delta = \frac{\Delta}{P_{cp}} 100\%. \quad (16)$$

Результати розрахунку похибки запропонованих ВПП наведені у табл. 1. У ній вказано:  $\delta_1$  – похибка цифро-аналогового;  $\delta_2$  – похибка цифрового ВПП.

Таблиця 1  
Результати розрахунку похибок ВПП

№ n/n	P, Вт	$\delta_1$ (%)	$\delta_2$ (%)
1	18.53	0.67	0.53
2	31.11	0.44	0.36
3	52.40	0.27	0.22
4	96.10	0.19	0.15
5	103.20	0.16	0.14
6	153.91	0.14	0.11
7	195.21	0.12	0.09
8	261.29	0.10	0.08
9	341.18	0.09	0.06

**Висновок.** Побудовано апаратні засоби для вимірювання потужності приводу головного руху верстату на базі цифро-аналогового та цифрового методів перемноження сигналів струму та напруги. У результаті статистичної обробки дослідних даних на основі інформаційного підходу визначено ентропійні похибки пристроїв. Похибка вимірювань потужності приводу головного руху верстату зменшується при зростанні вимірювальних сигналів струму та напруги. Встановлено, що вимірювальні перетворювачі мають потрібну точність у межах зміни режимів роботи приводу головного руху металорізального верстату.

#### Список літератури

1. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В.С. Гутников –Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304с.
2. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной технике / Е.А. Зельдин. –Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 280с.
3. Алексенко А.Г. Применение прецизионных аналоговых микросхем / А.Г. Алексенко, Е.А. Коломбег, Г.Н. Стародуб. –М.: Радио и связь, 1985. – 255с.
4. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. –Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
5. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования / А.Ф. Еникеев. –Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Gutnikov V.S. *Integral Electronics in Measuring Devices* V.S. Gutnikov. Leningrad. Energoatomizdat, 1988. 304p.
2. Zeldin E.A. *Digital integrated circuits in information-measuring technology*. E.A. Zeldin. Leningrad. Energoatomizdat, 1986. 280p.
3. Alexenko A.G. *Application of precision analog circuits* / A.G. Alexenko, E.A. Kolombeg, G.N. Starodub. Moscow. Radio and communication, 1985. 255p.
4. Novitsky P.V. *Estimation of errors in measurement results*. P.V. Novitsky, I.A. Zograf. Leningrad. Energoatomizdat, 1991. 304p.
5. Yenkiciev A.F. *Optimalnoe upravlenie tehnologicheskim processom almaznogo shlifovaniya*. A.F. Yenkiciev. [Optimal management by the technological process of the diamond polishing.] . Kramatorsk: DGMA, 2001. 160 p.

Поступила (received) 21.02.2017

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Аналіз метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів потужності / О.Ф. Єнікеєв, Ф.М. Євсюкова, О.Ю. Приходько** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 83–86. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-004X.

**Анализ метрологических характеристик измерительных преобразователей мощности / А.Ф. Еникеев, Ф.М. Евсюкова, О.Ю. Приходько** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 83–86. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-004X.

**Analysis of metrological characteristics of power transducers / A. Yenikieiev, F. Yevsiukova, O. Prihodko** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 17 (1239). – P.83–86. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-004X

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Єнікеєв Олександр Фанилович** – док. техн. наук, доцент, ДДМА, тел.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net;

**Єнікеєв Александр Фанилович** – док. техн. наук, доцент, ДГМА, тел.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net;

**Yenikieiev Aleksandr** – doctor of technical sciences, reader, Donbas State Engineering Academy, tel.: (050)-194-33-57, (096)-245-32-83, (063)-205-93-97, e-mail: Al\_enikeev@bigmir.net;

**Євсюкова Фатима Магометбіївна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299; e-mail: evsyukova\_fatima@mail.ru; Харків;

**Евсюкова Фатима Магометбиевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, моб. +380979412299, e-mail: evsyukova\_fatima@mail.ru; Харьков;

**Yevsiukova Fatyma Magometbiivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Senior Lecturer at the Department of engineering technology and machine tools; tel.: (057)-720-66-25, +380979412299, e-mail: evsyukova\_fatima@mail.ru; Kharkov;

**Приходько Ольга Юріївна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів; тел.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru;

**Приходько Ольга Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков; тел.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru;

**Prihodko Olga Yurievna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Associate Professor at the Department of engineering technology and machine tools; tel.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru.