



Безвесільна О. М.,  
Черепанська І. Ю.,  
Сазонов А. Ю.,  
Нечай С. О.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИСОКОТОЧНОГО ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРУ БІОПАЛИВА

Створено та досліджено працездатність інтелектуального високоточного термоанемометричного витратоміру біопалива із застосуванням нейропроцесору для компенсації динамічних похибок, що значно підвищує його точність. Прилад може бути використаний для обліку витрати біопалива автомобільних двигунів, що значно покращить умови їх роботи, забезпечить менші витрати біопалива та викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

**Ключові слова:** термоанемометричний витратомір, біопаливо, термоанемометр, нейропроцесор, похибка вимірювання, тарування, калібровка, потік, перепад температур.

### 1. Вступ

Сучасна світова тенденція економії природних паливних ресурсів, високі вимоги екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища стимулюють пошук альтернативних джерел енергії та розвиток нових технічних засобів обліку їх витрат. Одним із видів таких джерел енергії є біопаливо [1, 2], що одержується з рослинної сировини та використовується у автомобільних двигунах. Причому фізико-хімічні властивості біопалива значно відрізняються від властивостей звичайного моторного палива, що виготовляється з нафти — бензину та дизельного пального. Ці відмінності суттєво впливають на протікання потоку біопалива через засоби обліку витрат палива — витратомір, на його роботу в динамічному режимі та на його похибки. Тому з врахуванням вказаного для обліку витрат біопалива створено спеціальний пристрій — інтелектуальний термоанемометричний витратомір (ТАВ), який знаходиться на стадії експериментального дослідження. Відмітною особливістю даного ТАВ є застосування в якості штучного інтелекту нейропроцесора для компенсації динамічних похибок, що значно підвищує точність розробленого ТАВ.

Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є розроблений ТАВ [3], в якому використовується термоанемометр, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) сигналів, лічильник витрат біопалива, ЕОМ та нейропроцесор.

За основу нового термоанемометра взято високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації, що містить трубку 1 з потоком 2 моторного палива, нагрівач 3, джерело енергії 4, перший 5, другий 6 та третій 7 термоперетворювачі, нейропроцесор 8, блок перемикачів 9 та ЕОМ 10. На рис. 1 представлено апаратну частину комплексу у вигляді чутливого елемента (ЧЕ), термоанемометру, що

складається з трубки 3, яка є основою приладу та нагрівального елемента 1. ЧЕ містить три термодатчики 4. До входу нагрівача 3, що розміщений у потоці 2 моторного палива, підключено вихід джерела енергії 4. Перший термоперетворювач 5 розміщений безпосередньо на нагрівачі 3, а другий 6 і третій 7 термоперетворювачі розміщені у потоці 2 моторного палива послідовно один за одним на фіксованих відстанях  $l_1$  і  $l_2$  від першого термоперетворювача 5. Виходи першого 5, другого 6 і третього 7 термоперетворювачів підключені відповідно до першого, другого та третього входів нейропроцесора 8, четвертий вхід якого з'єднаний з виходом блоку 9 перемикачів. Вихід нейропроцесора 8 з'єднаний з входом ЕОМ 10, перший вихід якої підключено до входу блоку 9 перемикачів, а її другий вихід є виходом всього пристрою.

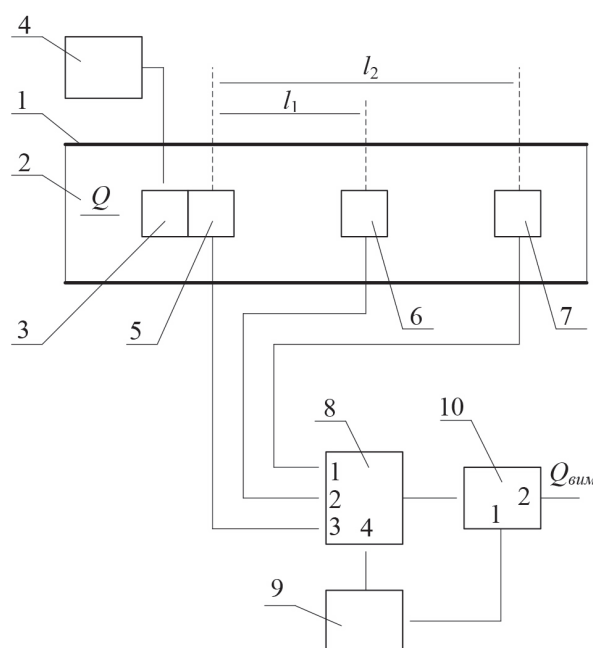


Рис. 1. Блок-схема пропонованого ТАВ

Варто зазначити наступний недолік, який проявляється в тому, що в реальних умовах експлуатації, у більшості випадків, якщо не прийнято спеціальних заходів, результат вимірювання ТАВ є функцією декількох величин (температури навколишнього середовища, електричних завад тощо). Найбільш суттєвим є вплив температури навколишнього середовища [4]. Звести цей вплив до мінімуму можна шляхом використання АЦП та нейропроцесора тому, що цифрові методи перетворення та обробки інформації мають більш високу точність та швидкодію вимірювання порівняно з аналоговими.

### 3. Мета та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за *метою* експериментальні дослідження працездатності розробленого авторами ТАВ та визначення величини його похибки.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити програмно-апаратний комплекс на основі ЕОМ для експериментальних досліджень представленою ТАВ.

2. Провести калібрування та тарування пропонованого ТАВ, а також експериментально визначити його точнісні характеристики.

### 4. Аналіз літературних даних

Аналіз відомих інформаційних джерел показав бурхливий розвиток даного науково-практичного напрямку, що знайшов своє відображення як у вітчизняних, так і закордонних публікаціях [4–13]. Особливої актуальності набувають питання контролю витрати палива. На сьогодні відомі різні види витратомірів палива, серед яких найбільш розповсюдженими є коріолісові, ультразвукові, турбінні, теплові, масові, гвинтові, поршневі, колометричні, поплавкові, магніто-індукційні, кожний з яких має свої особливості та недоліки. Зокрема в роботі [6] приводяться результати експериментальних досліджень електромагнітного витратоміра. У роботах [7, 11] описуються конструкції та принципи дії існуючих витратомірів палива. Приводиться аналіз сучасних термоперетворювачів, що можуть бути використані в інших сучасних конструкціях витратомірів. У роботі [8] описується модель газотурбінного витратоміра та результати моделювання його роботи. У роботі [9] приводиться опис принципу дії індукційного витратоміра та критерії щодо проектування його електронної решітки. У роботі [10] розглядається високочастотний витратомір на основі пари внутрішніх циклоїдних робіт, що використовується в гідравлічних системах керування.

З врахуванням вказаного очевидно, що дослідження, вдосконалення відомих, та розробка нових ТАВ є актуальною проблемою.

На сьогоднішній день одним із найбільш досконалих пристроїв для вимірювання витрати біопалива є інтелектуальний термоанемометричний витратомір (ТАВ), принцип роботи якого полягає у вимірюванні темпера-

турного поля, що створюється спеціальним нагрівачем у потоці палива, тому що зміна температурного поля вздовж потоку палива має функціональну залежність від величини його витрати, що може бути визначена з високою точністю, за рахунок компенсації динамічних похибок нейропроцесором.

### 5. Матеріали та методи дослідження

Для експериментальних досліджень представленою ТАВ розроблено програмно-апаратний комплекс на основі ЕОМ, що приведений на рис. 2.

Перевірка придатності приладу до практичного використання була проведена методами калібрування та тарування, що дозволило визначити можливу похибку вимірювання ТАВ при змінах в діапазоні температур 0...180 °С. Зокрема тарування ТАВ полягає у отриманні тарувальної кривої, яка відображає залежність між поточними витратами біопалива та часом заповнення мірного баку. Похибка визначалась шляхом реєстрації та порівняння показань еталонного пристрою та пристрою, що перевіряється, зокрема еталонних датчиків та ТАВ.

Загалом всі витратомірні установки, дають змогу проводити рівномірні вимірювання витрати палива і контролювати дійсну масову витрату біопалива. Принцип дії роботи цих установок полягає в тому, що біопаливо з мірного бака нагнітається насосом в магістраль, де встановлюють еталонні датчики. Пройшовши через ці датчики, які вказують миттєву витрату (л/год), біопаливо через перемикач течії, поступає в мірну камеру.



Рис. 2. Апаратний комплекс ТАВ

В якості контрольних приладів для виміру витрати моторного палива, що протікає через розроблений ТАВ, використовується цифрова ЕОМ або мікроконтролер та реєструючий пристрій СР-63, який попередньо має бути перевірений, зокрема визначено час одного оберту барабана.

Так як еталонні датчики витратомірної установки та розроблений ТАВ включені послідовно і вимірюють однакову витрату біопалива, то з'являється можливість порівняння та тарування показів розробленого ТАВ.

При цьому реєструються імпульси, які надходять від датчика витрати пального. Ціна одного імпульсу встановлюється в залежності від поточної витрати пального. Кількість імпульсів, що використовуються для вимірювань і розрахунків, повинна бути не менше 10...15.

Дійсна витрата пального визначається за формулою:

$$Q_{\text{дійсн}} = \frac{V \cdot 3600}{t_0} \text{ л/год}, \quad (1)$$

де  $V$  — контрольний об'єм пального, вимірюваний по шкалі мірного бака, л;  $t_0$  — час заповнення контрольного об'єму мірного бака, с.

Витрата пального ТАВ, виміряна за допомогою нагрівача та термоперетворювачів і записана на реєструючий пристрій СР-63, визначається за формулами:

$$Q_n = \frac{Z \cdot 3600}{T_0} \cdot \frac{a \cdot n}{l} \text{ л/год}, \quad (2)$$

або

$$Q = K \cdot \frac{a \cdot n}{l} \text{ л/год}, \quad (3)$$

де  $K$  — масштабний коефіцієнт;  $Z$  — довжина окружності барабану реєструючого пристрою, мм;  $T_0$  — час одного оберту барабану, с;  $a$  — ціна імпульсу датчика, л;  $n$  — кількість імпульсів напруги, наявних на ділянці запису довжиною  $l$ .

Похибку ТАВ для кожного значення поточних витрат біопалива визначаємо за формулою:

$$\Delta Q = Q - Q_{\text{дійсн}}. \quad (4)$$

Причинами похибки ТАВ можуть бути похибки еталонних датчиків і термодатчиків ТАВ, зміни об'єму палива, зміни об'єму мірного бака, вплив температури біопалива та оточуючого середовища.

## 6. Результати дослідження

За результатами експериментального дослідження побудовано тарувальну криву, що приведена на рис. 3. Встановлено, що об'єм біопалива буде менший у випадку меншої температури біопалива і навпаки.

При перепадах температури в 1 °С і більше виникають похибки, які мають суттєвий вплив на точність вимірювання витрат і які потрібно компенсувати. Зокрема на рис. 4 відображено зміну об'єму палива ТАВ від температури.

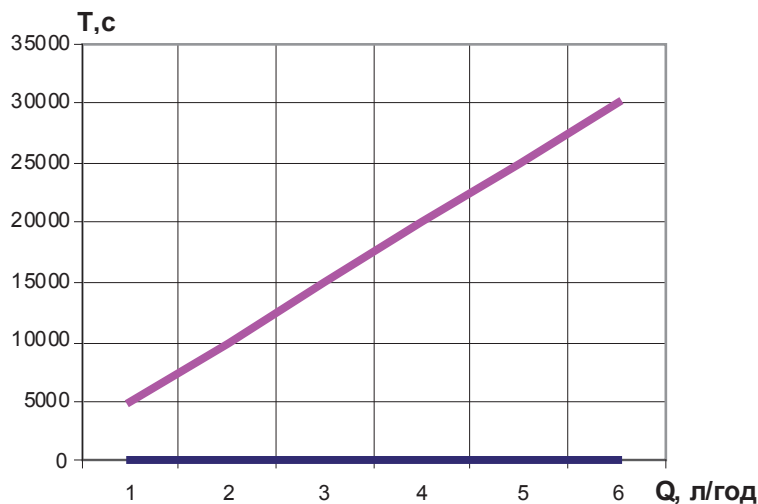


Рис. 3. Тарувальна крива ТАВ

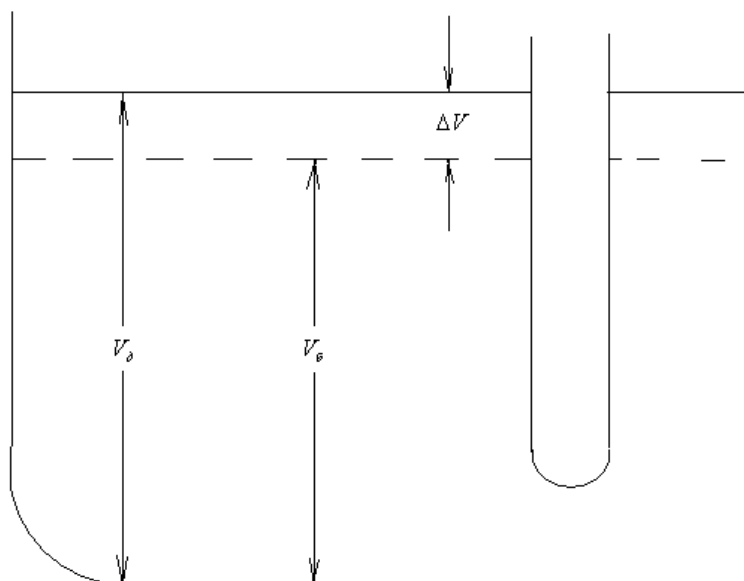


Рис. 4. Зміна об'єму палива ТАВ від температури

За результатами калібровки визначено можливу похибку вимірювання ТАВ при змінах в діапазоні температур 0...180 °С, зокрема похибка складає 0,2 %. Перевірка роботи ТАВ на практиці проводилась з двома видами розчинів (біопаливом і водою). Отримані результати роботи програми у вигляді графіків приведені на рис. 5.

За результатами експериментального дослідження роботи ТАВ, можна зробити висновок, що при роботі ТАВ на біопаливі, похибки вимірювань ТАВ не перевищують 0,2 %.

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

При експериментальному дослідженні працездатності пропонованого ТАВ закономірною є залежність зміни об'єму біопалива від зміни температури. Так об'єм біопалива буде менший у випадку меншої температури біопалива і навпаки. При перепадах температури в 1 °С і більше виникають похибки, які мають суттєвий вплив на точність вимірювання. Використання нейропроцесора у складі пропонованого ТАВ значно підвищує його точність.

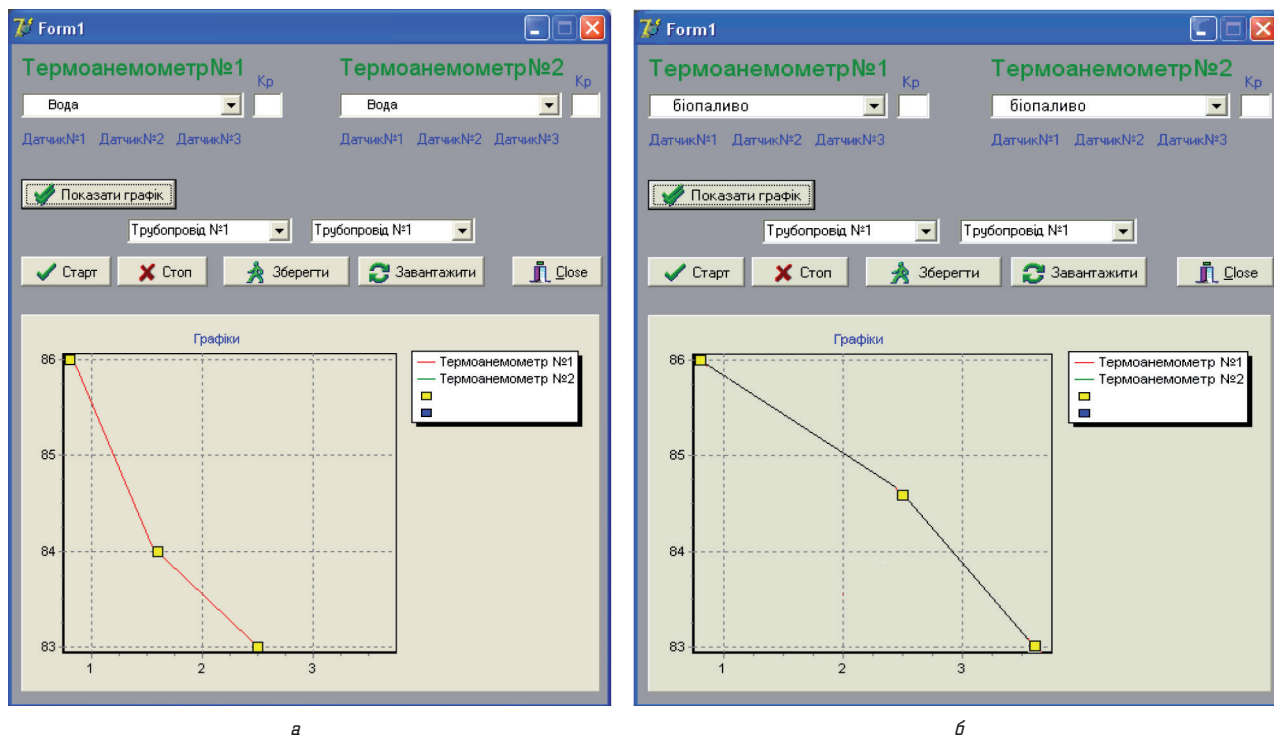


Рис. 5. Екранна копія роботи комп'ютерної програми виведення результатів вимірювань витрат ТАВ: а — для води; б — для біопалива

Зокрема за результатами експериментального дослідження його працездатності встановлено, що запропонований ТАВ дозволяє проводити вимірювання витрат біопалива з похибкою 0,2 %. Зменшення похибки вимірювання витрат біопалива запропонованим ТАВ призводить до підвищення точності вимірювання, що сприяє зменшенню витрат палива і підвищенню експлуатаційних показників двигунів, які працюють на біопаливі. При цьому очевидно, що причини виникнення похибки ТАВ можуть обумовлюватись впливом різних факторів, наприклад, похибками еталонних датчиків і термодатчиків ТАВ, змінами об'єму палива, змінами об'єму мірного бака, впливом температури біопалива та оточуючого середовища тощо. Дослідження цих факторів та їх впливів на точність ТАВ можуть бути означені як напрямки та перспективи подальших досліджень.

## 8. Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень:

1. Експериментально підтверджено працездатність запропонованого ТАВ та визначено величину його похибки. Зокрема розроблений ТАВ забезпечує вимірювання палива з похибкою не більше 0,2 %. Тому можна стверджувати, що застосування запропонованого ТАВ значно покращить умови роботи двигуна порівняно з його роботою на дизельному паливі, забезпечить менші витрати біопалива ніж на дизельному паливі, зменшить викидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

2. Встановлено за результатами калібрування та тарування, що при роботі ТАВ на біопаливі, при змінах в діапазоні температур 0...180 °C похибки вимірювань не перевищують 0,2 %. Причинами похибки ТАВ можуть бути похибки еталонних датчиків і термодатчиків ТАВ, зміни об'єму палива, зміни об'єму мірного бака, вплив температури біопалива та оточуючого середовища.

## Література

- Аршинова, А. Вадим Яковлев (ИК СО РАН) о перспективах биотоплива [Электронный ресурс] / А. Аршинова // Компьютерра. — 22.12.2010. — Режим доступа: \www/URL: <http://old.computerra.ru/interactive/584522/>
- Медведкова, И. Рынок биотоплива: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / И. Медведкова, Т. Трудаева // Мосты. — 02.05.2013. — Т. 6, № 3. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.ictsd.org/bridges-news/mosty/news/рынок-биотоплива-проблемы-и-перспективы>
- Калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації [Електронний ресурс]: Пат. 90985 С2 Україна, МПК (2009) G 01 F 1/68 / Безвесільна О. М., Ільченко А. В., Подчашинський Ю. О., Шавурський Ю. О.; заявник та патентовласник: Житомирський державний технологічний університет. — № а 2009 10565; заявл. 19.10.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-90985-kalorimetrichnij-vitratomir-motornogo-paliva-z-cifrovoyu-obrobkoyu-vimiryuvanno-informaci.html>
- Ільченко, А. В. Термоанемометрический расходомер биотоплива повышенной точности измерения расхода топлива ДВС [Текст]: материалы 13-й Международной научно-технической конференции / А. В. Ильченко, Е. С. Ноженко // Наука — образованию, производству, экономике. — Минск: БНТУ, 2015. — Т. 2. — С. 62–63.
- Безвесільна, О. М. Витратометрия та витратоміри [Текст]: монографія / О. М. Безвесільна. — Житомир: ЖДТУ, 2011. — 220 с.
- Clemon, T. The Influence of Wellbore Inflow on Electromagnetic Borehole Flowmeter Measurements [Text] / T. Clemon, W. Barrash, E. C. Reboulet, T. C. Johnson, C. Leven // Ground Water. — 2009. — Vol. 47, № 4. — P. 515–525. doi:10.1111/j.1745-6584.2008.00559.x
- Frenzel, F. Industrial Flow Measurement Basics and Practice [Text] / F. Frenzel, H. Grothey, C. Habersetzer, M. Hiatt et al. — ABB Automation Products GmbH, 2011. — 290 p.
- Li, Z.-F. Design and analysis of flow rectifier of gas turbine flowmeter [Text] / Z.-F. Li, Z. Du, K. Zhang, D.-S. Li, Z.-D. Su, W.-W. Yan // Thermal Science. — 2013. — Vol. 17, № 5. — P. 1504–1507. doi:10.2298/tsci1305504l



9. Lijun Xu. Design of electrode array of inductance flowmeter [Text] / Lijun Xu, Jun Han, Ya Wang // IEEE Sensors Journal. — 2005. — Vol. 5, № 5. — P. 929–933. doi:10.1109/jsen.2005.854486
10. Liu, S. A High-Pressure Bi-Directional Cycloid Rotor Flowmeter [Text] / S. Liu, F. Ding, C. Ding, Z. Man // Sensors. — 2014. — Vol. 14, № 8. — P. 15480–15495. doi:10.3390/s140815480
11. Thermal Flowmeter Technology [Electronic resource] // Universal Flow Monitors. — 2013. — Available at: \www/URL: http://www.flowmeters.com/thermal-technology. — 28.08.2014.
12. Хайруллин, А. Х. Исследование технико-экономических и экологических показателей дизеля, работающего на смешанных биотопливах растительного происхождения [Электронный ресурс] / А. Х. Хайруллин, В. М. Гуреев, Р. Р. Салахов, И. Р. Салахов, А. В. Зонов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. — 2014. — № 4. — Режим доступа: \www/URL: http://www.kai.ru/vestnik/4\_14.shtml
13. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества [Текст] / П. П. Кремлевский. — Л.: Машиностроение, 1989. — 701 с.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВЫСОКОТОЧНОГО ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКОГО РАСХОДОМЕРА БИОТОПЛИВА

Разработан и исследован на работоспособность интеллектуальный высокоточный термоанемометрический расходомер биотоплива с применением нейропроцессора для компенсации динамических погрешностей, который значительно повышает его точность. Прибор может быть использован для учета расхода биотоплива автомобильных двигателей, что значительно улучшит условия их работы, обеспечит меньшие затраты биотоплива и выбросы вредных веществ в окружающую среду.

**Ключевые слова:** термоанемометрический расходомер, биотопливо, термоанемометр, нейропроцессор, погрешность измерения, тарирование, калибровка, поток, перепад температур.

**Безвесільна Олена Миколаївна**, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки та техніки України, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

**Черепанська Ірина Юрійівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: cheri\_ko@mail.ru.

**Сазонов Артем Юрійович**, кандидат технічних наук, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна.

**Нечай Сергій Олексійович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

**Безвесильная Елена Николаевна**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

**Черепанская Ирина Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Сазонов Артем Юрьевич**, кандидат технических наук, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Нечай Сергей Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

**Bezvesilna Olena**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

**Cherepanska Irina**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: cheri\_ko@mail.ru.

**Sazonov Artem**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine.

**Nechai Sergii**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

УДК 621.371:621.311.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.74703

Дорошенко О. І.

## ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ІІ СПОЖИВАЧІВ

Спираючись на фізику нормального режиму електропередачі, у статті пропонується новий, науково обґрунтований, підхід до визначення оптової і роздрібною ціни на електроенергію для промислових і дорівнених до них споживачів, при якому враховується вплив схеми їх живлення від електроенергетичної системи і реактивного навантаження на економіку процесу електропередавання.

**Ключові слова:** електроенергія, електропостачання, оптова ціна на електроенергію, роздрібна ціна на електроенергію.

### 1. Вступ

Як відомо з [1], фізично, електрична енергія (електроенергія) є енергією поляризації електрично пружного діелектричного середовища, що оточує усі струмоведучі частини електроенергетичної системи (ЕЕС), одночасною дією на нього синусоїдальних напруги і струму провідності згаданих частин системи.

Як товарна продукція ЕЕС, електроенергія є роботою, яку виконують синхронні генератори електростанцій системи для створення різниці потенціалів (напруги)

на своїх затискачах. Таку напругу електропостачальні організації (ЕО) за допомогою власних електричних мереж (ЕМ) поставляють споживачам. Тому, не випадково, усі показники якості електроенергії, як промислової продукції, встановлено на державному рівні в нормативному документі [2], як показники якості електричної напруги.

Таким чином, напругу можна вважати потенційною формою товарної продукції ЕЕС і продавати, як товарну продукцію, за певною ціною, яка в [3] характеризується наступним чином: «...Цена — это сумма