

СЕКЦІЯ 8
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛІКУ
ЕНЕРГОНОСІЇВ

UDC 621.311

MONITORING OF CABLE'S ADDITIONAL HEATING

Filyanin D., Kalinchyk V., Meita O., Pyriatynskyi V.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

E-Mail: daniel_f@rambler.ru, ykalin@i.ua, meyta@meta.ua, vlad.2033.2034@gmail.com

In recent years, there has been a power consumption increase in large cities due to the intensive development of new neighborhoods and the widespread introduction of powerful electrical appliances. There is also a steady upward trend in non-linear load, largely due to the transition to energy-efficient light sources. The presence of nonlinear loads lead to voltage and current waveform distortion in distribution systems, that is, to the appearance of current and voltage harmonics [1, 2]. In this regard, urban cable networks operate at the limit of their capacity, which means operating with the maximum allowable core temperature limit. The problems of monitoring the temperature of cable insulation are an urgent problem in the electric power industry. One of the most promising areas of research is the development of methods for determining the residual lifetime of cable insulation, which can be calculated from monitoring temperature of insulation and other factors that significantly affect the insulation material.

Any rise of cable insulation temperature leads to boosting of stuff destruction, determined by the Arrhenius law, and, as a consequence, to reduce the cable lifetime. Therefore, monitoring the cable insulation temperature will allow to calculate its residual lifetime.

The heat balance equation for a cable line in the general case:

$$P_C \cdot S = T_C - T_A,$$

where P_C – cable core heat flux (power dissipation), W ; S – the thermal resistance of the cable construction elements and the environment, $^{\circ}C/W$; T_C – core temperature, $^{\circ}C$; T_A – ambient temperature, $^{\circ}C$.

In case the presence of harmonics, the heat balance equation takes the form:

$$(P_{C1} + P_{Ch}) \cdot S = T_{C1} + \Delta T_{Ch} - T_A,$$

where P_{C1} – cable core heat flux (power dissipation) producing by the main harmonic current, W ; P_{Ch} – cable core heat flux (power dissipation) generating by high harmonics currents, W ; T_{C1} – cable core temperature generating by the main harmonic current, $^{\circ}C$; ΔT_{Ch} – increment of cable core temperature due to the action of high

harmonics currents, °C; S – the thermal resistance of the cable construction elements and the environment, °C/W; T_A – ambient temperature, °C.

After load turning on, the cable core temperature rises for a long time. The law of variation of conductor temperature:

$$\theta = \theta_{SS} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\beta}}),$$

where θ – the current temperature difference of the cable core relative to the ambient temperature, °C; t – cable operating time under load, s; θ_{SS} – the steady-state temperature difference of the cable core at $t = \infty$, °C; β – heating time constant: the time during which the cable heats up to 2/3 of the maximum operating temperature, if there is no heat removal to the environment (does not depend on time).

After some mathematical modifications the curve of the additional temperature increment of the cable core generated by high harmonics currents is described by the following expression:

$$\Delta T_h = P_{Ch} \cdot S \cdot (1 - e^{-\frac{t_h}{\beta}}),$$

where t_h – operating time of the cable at the influence of high harmonics currents, °C; P_{Ch} – cable core heat flux (power dissipation) generating by high harmonics currents, W; S – the thermal resistance of the cable construction elements and the environment, °C/W.

Or through the energy of the harmonic components consumed by the cable:

$$\Delta T_h = W_{Ch} \cdot S \cdot (1 - e^{-\frac{t_h}{\beta}}) \cdot \frac{1}{t_h},$$

where $W_{Ch} = t_h \cdot P_{Ch}$.

The increment of the cable line temperature caused the influence of harmonics is a function of the consumed power of the harmonic components and the time the cable line was under the influence of nonlinear loads:

$$\Delta T_h = f(W_{Ch}, t_h).$$

Since the value of the reporting period is invariable, the temperature increment of the cable line is directly proportional to the energy of the harmonic components consumed by the cable line:

$$\Delta T_h = f(W_h).$$

With a known insulation lifetime τ_1 at temperature T_1 , it is possible to determine its lifetime τ_2 at temperature T_2 :

$$\tau_2 = T_1 \cdot e^{-B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}.$$

CONCLUSIONS

- cable line temperature increment is directly proportional to the harmonic component energy consumed by the cable line;

- the use of distributed measurements allows to control the additional heating of the cable line and, at a minimum, to correct the life of the cable and plan scheduled maintenance for its replacement.

Keywords: lifetime of cable insulation, insulation aging, predictive protection, heat balance equation.

References

- [1] A. V. Voloshko, D. V. Filyanin. “Detection and localization of power quality disturbances based on Fast Fourier Transform and Discrete Fourier Transform”, *POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology*, № 3, pp. 87–94, 2017.
- [2] D. Filyanin. “Detection and localization of power quality disturbances based on Fast Fourier Transform and Discrete Fourier Transform”, *POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology*, № 2, pp. 110–119, 2018.

УДК 621.311.001.57(063)

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ

Закладний О. О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: zakladniy@gmail.com

Дослідимо дві комп'ютерні моделі системи автоматичного керування (САК) вентильним двигуном (ВД), що побудовані у програмному застосунку MATLAB.

Керування ВД у першій запропонованій моделі засноване на принципі підлеглого регулювання. Однократно інтегруюча САК ВД має у своєму складі контури струму та швидкості. Кожен із зазначених контурів має свій регулятор (струму – пропорційно-інтегральний закон регулювання, швидкості – пропорційний) і негативний зв'язок за контрольованою змінною. Сигнал поступає на вхід системи із задатчика інтенсивності. На рис.1 наведено графіки зміни заданої та дійсної швидкостей, моменту обертання ВД: а) $\beta = 0^\circ$ при $M_C = 0$, б) $\beta = 30^\circ$ при $M_C = 0,5 M_H$, в) $\beta = 60^\circ$ при $M_C = M_H$ и $U_3 = 30\%$; г) $\beta = 60^\circ$ при $M_C = M_H$ и $U_3 = 50\%$, отримані за результатами комп'ютерного моделювання.

Результати симуляції роботи ВД у середовищі MATLAB показали достатню точність порівняно з даними, отриманими під час експериментального дослідження на лабораторному стенді. Дана модель з високою збіжністю відтворює електромеханічні перетворення енергії та електромагнітні процеси.

У другій комп'ютерній моделі застосовується ПІ-регулятор з нечіткою логікою (рис. 2). Параметри віртуальної моделі ВД наступні: напруга живлення 500 В, потужність 1 кВт, частотою обертання 3000 об/хв. Електричне живлення двигуна здійснюється за допомогою шестирівневого перетворювача напруги.

Відкривання діодів відбувається за командою, яка надходить у вигляді сигналів ефекту Холла, з датчиків положення ротору електродвигуна.

Механічне навантаження на валу двигуна на початку комп'ютерного відтворення процесу відповідає 0 Нм, а на 0,1 с відтворення відповідає номінальному значенню 11 Нм. Спостерігаємо різке збільшення швидкості (рис. 3а), стрибок струму статора для сприяння номінальним значенням швидкості та електромагнітного моменту ВД (рис. 3, б та рис. 3, в).

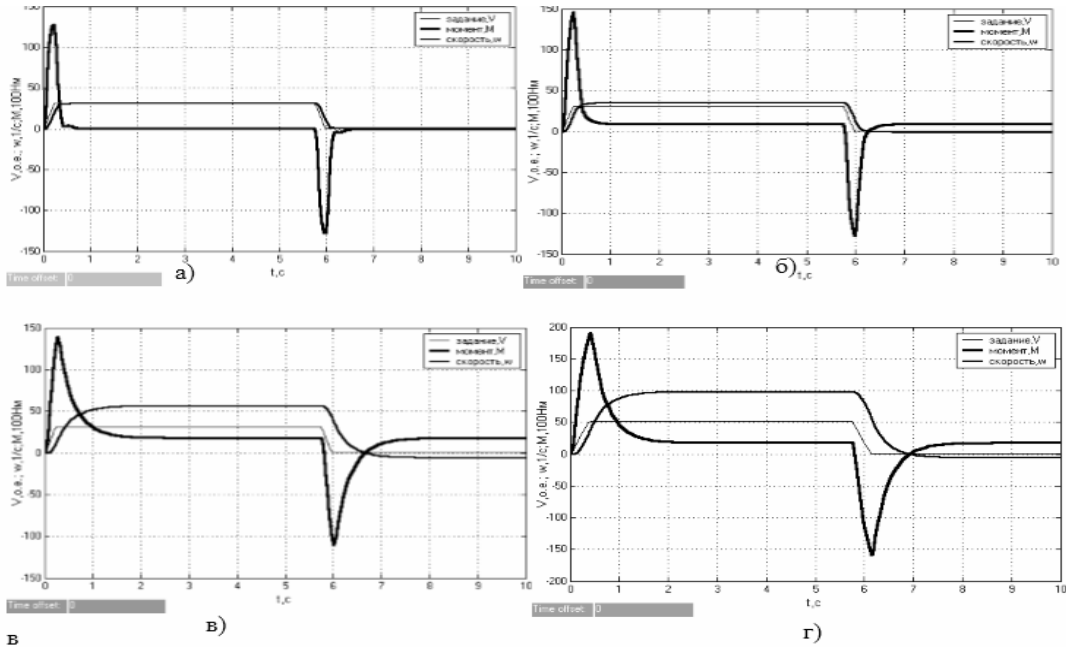


Рис. 1. Результати віртуального моделювання режимів пуску та гальмування

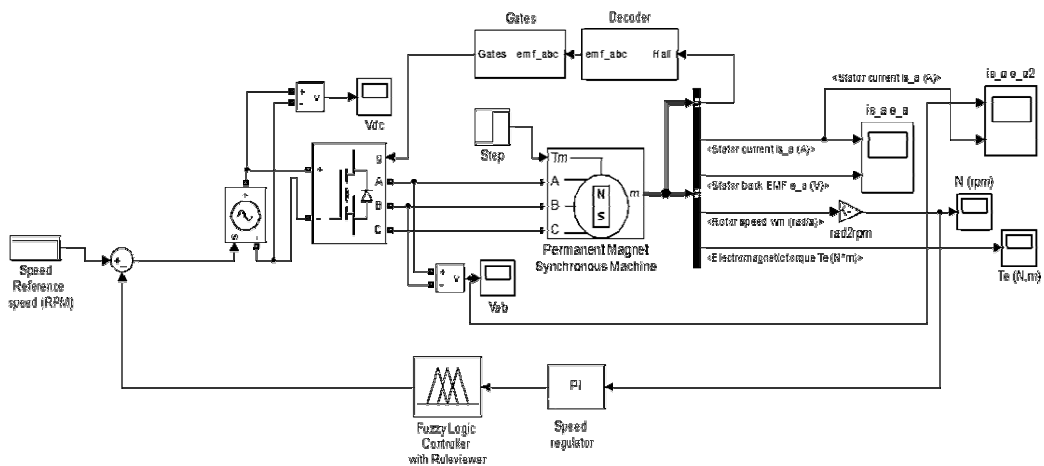


Рис. 2 Комп'ютерна модель електропривода з ВД з постійними магнітами та ПІ-регулятором з fuzzy-логікою

У наступній моделі застосовуються два кола керування: внутрішній керує роботою інвертора, а зовнішній – відповідає за швидкість електродвигуна шляхом зміни напруги живлення. Крива струму статора має пилоподібну форму (рис.4, а), фазна напруга – трапецієподібну форму зі сплесками, викликаними спрацюванням діодів (рис. 4, б) та крива фазної ЕРС має трапецієподібну форму (рис. 4, в).

ПІ-регулятор з fuzzy-логікою корегує регульовальні показники системи для підтримки сталого значення кута запасу δ на найменшому рівні, а отже це гарантує реалізацію третього способу керування ВД, що робить цю модель кращою за швидкодією та усіма динамічними показникам.

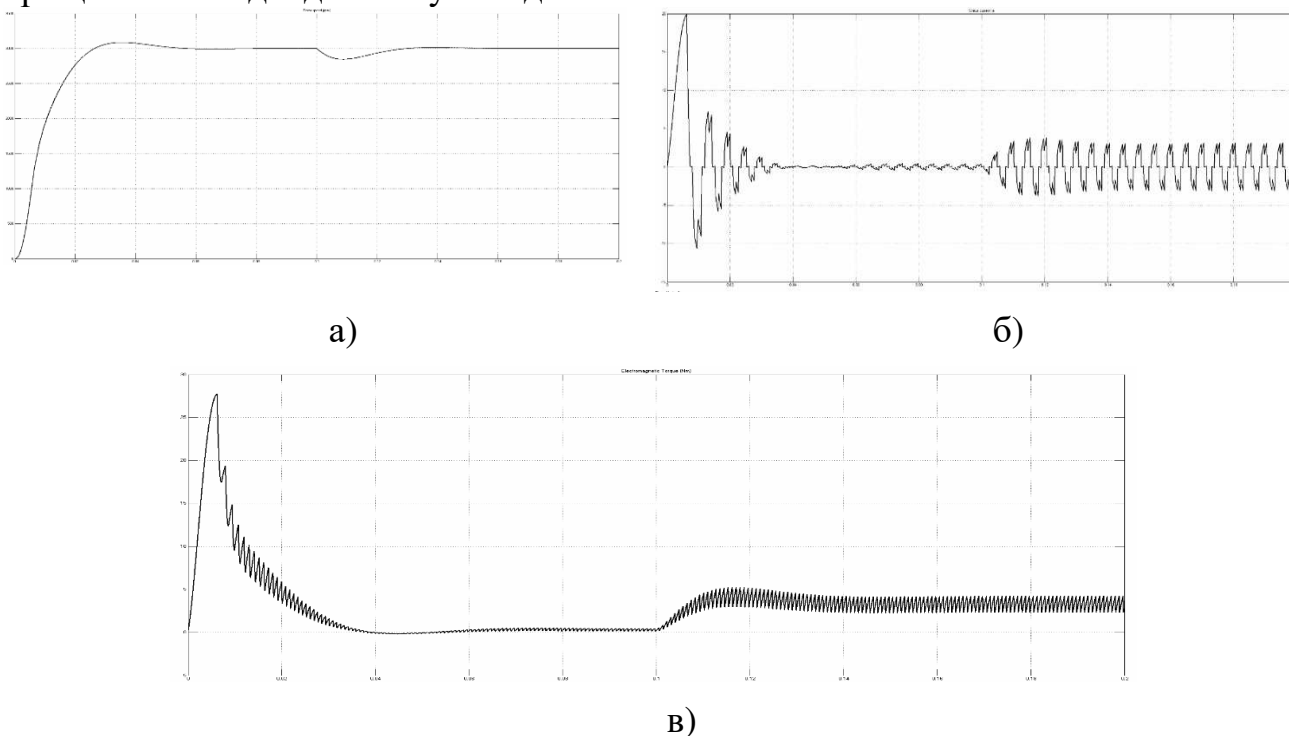


Рис. 3. Криві результатів симуляції ВД: а) швидкості, б) сили струму статора, в) електромагнітного моменту

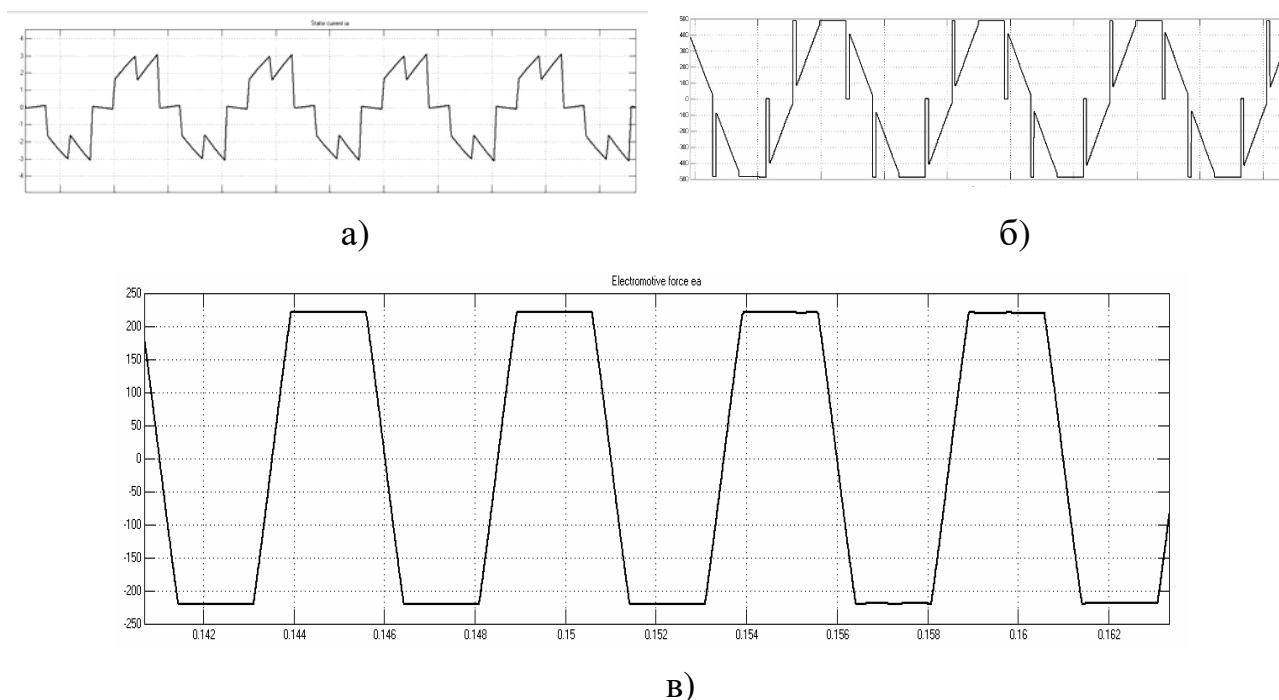


Рис. 4. Форми кривих струму (а), напруги (б), фазної ЕРС (в)

Висновок. Рекомендовані комп'ютерні моделі ВД з підпорядкованим керуванням та із застосуванням ПІ-регулятора з нечіткою логікою для впровадження третього закону керування ВД. З їх використанням вивчено електромагнітні та електромеханічні процеси ВД. З результатів симуляції можна зробити висновок, що модель з fuzzy-регулятором швидкості має кращі динамічні характеристики та вищу швидкодію, що засвідчує ефективність та доцільність застосування ВД з постійними магнітами.

Ключові слова: віртуальна модель електропривода, вентильний двигун, енергетична ефективність, fuzzy-логіка.

УДК 681.121

СЕНСОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВОДИ ТА ВОДЯНОЇ ПАРИ, ПОБУДОВАНИЙ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC18F452

Лесовой Л. В., Левицька Х. В.

Національний Університет «Львівська Політехніка», Львів, Україна

E-mail: techinfoflow@yahoo.co.uk, khrystyna.levytska.av.2021@lpnu.ua

При визначенні витрати, кількості та енерговмісту води та водяної пари за методом змінного перепаду тиску необхідно визначати їх динамічну в'язкість. Для визначення вищевказаних параметрів широко застосовують непрямий метод вимірювання, під час якого вимірюють прямим методом значення однієї або декількох величин, а потім за відомими залежностями та алгоритмами розраховують значення вихідної величини на мікропроцесорному засобі вимірювання.

Для обчислення динамічної в'язкості води і водяної пари застосовують міжнародні стандарти IAPWS R12-08 [1], які описують ці рівняння як

$$\mu = \mu^* \bar{\mu}, \quad (1)$$

де μ^* – довідкове значення води або водяної пари; $\bar{\mu}$ – безрозмірна динамічна в'язкість, яка визначається за рівнянням

$$\bar{\mu} = \bar{\mu}_0(\bar{T}) \bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho}), \quad (2)$$

у якому \bar{T} – безрозмірна температура води або водяної пари; $\bar{\rho}$ – безрозмірна густина води або водяної пари; $\bar{\mu}_0(\bar{T})$ – перший фактор, який представляє собою в'язкість у межі розрідженого газу; $\bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho})$ – другий фактор представляє собою в'язкість пари через кінцеву густина.

Значення безрозмірних фізичних величин обчислюють відповідно до [1] за рівняннями:

- безрозмірної температури води або водяної пари

$$\bar{T} = \frac{T}{T^*}; \quad (3)$$

- безрозмірної густини води або водяної пари

$$\bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho^*}; \tag{4}$$

- безрозмірного тиску води або водяної пари

$$\bar{p} = \frac{p}{p^*}; \tag{5}$$

де T^* , ρ^* , p^* – довідкові значення води або водяної пари відповідно для температури, густини та тиску, величини яких наведені у таблиці 1.

Перший фактор $\bar{\mu}_0(T)$ визначають за рівнянням

$$\bar{\mu}_0(T) = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{H_i}{T^i} \right), \tag{6}$$

у якому числові значення коефіцієнтів H_i наведені у таблиці 2.

Таблиця 1. Довідкові значення води або водяної пари

Параметр	Одиниця	Довідкове значення води або водяної пари
Температура	К	647.096
Густина	кг/м ³	322.0
Тиск	МПа	22.064
Динамічна в'язкість	Па*с	1.00·10 ⁻⁶

Таблиця 2. Числові значення коефіцієнтів H_i для першого фактора $\bar{\mu}_0(T)$

i	H_i	i	H_i
0	1,67752	2	0,6366564
1	2,20462	3	-0,241605

Другий фактор $\bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho})$ представляє в'язкість сухої насиченої пари через кінцеву густину

$$\bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho}) = \exp \left\{ \bar{\rho} \sum_{i=0}^5 \left\{ \left(\frac{1}{\bar{T}} - 1 \right)^i \sum_{j=0}^6 [H_{ij} (\bar{\rho} - 1)^j] \right\} \right\}, \tag{7}$$

де значення коефіцієнтів H_{ij} наведені у таблиці 3.

Автоматизація процесу вимірювання динамічної в'язкості води або водяної пари за допомогою мікроконтролера PIC18F452 здійснюється за розробленою нами електричною схемою, яка наведена на рис. 1.

Електрична схема вимірювання динамічної в'язкості води або водяної пари складається з таких блоків:

- мікроконтролера PIC18F452 (U1);
- генератора прямокутних імпульсів частотою 8 МГц (X1, C1, C2);
- сенсорів вимірюваних сигналів: температури (RV1, R6), густини (RV2, R7);

- LCD монітора (LCD1) та регулятора яскравості LCD монітора (RV3) для відображення вимірюваних величин, проміжних результатів розрахунку та динамічної в’язкості води або водяної пари;

Таблиця 3. Числові значення коефіцієнтів H_{ij} для другого фактору $\bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho})$

i	j	H_{ij}	i	j	H_{ij}
0	0	5.20094×10^{-1}	2	2	-7.72479×10^{-1}
1	0	8.50895×10^{-2}	3	2	-4.89837×10^{-1}
2	0	-1.08374×10^0	4	2	-2.57040×10^{-1}
3	0	-2.89555×10^{-1}	0	3	1.61913×10^{-1}
0	1	2.22531×10^{-1}	1	3	2.57399×10^{-1}
1	1	9.99115×10^{-1}	0	4	-3.25372×10^{-2}
2	1	1.88797×10^0	3	4	6.98452×10^{-2}
3	1	1.26613×10^0	4	5	8.72102×10^{-3}
5	1	1.20573×10^{-1}	3	6	-4.35673×10^{-3}
0	2	-2.81378×10^{-1}	5	6	-5.93264×10^{-4}
1	2	-9.06851×10^{-1}	-	-	-

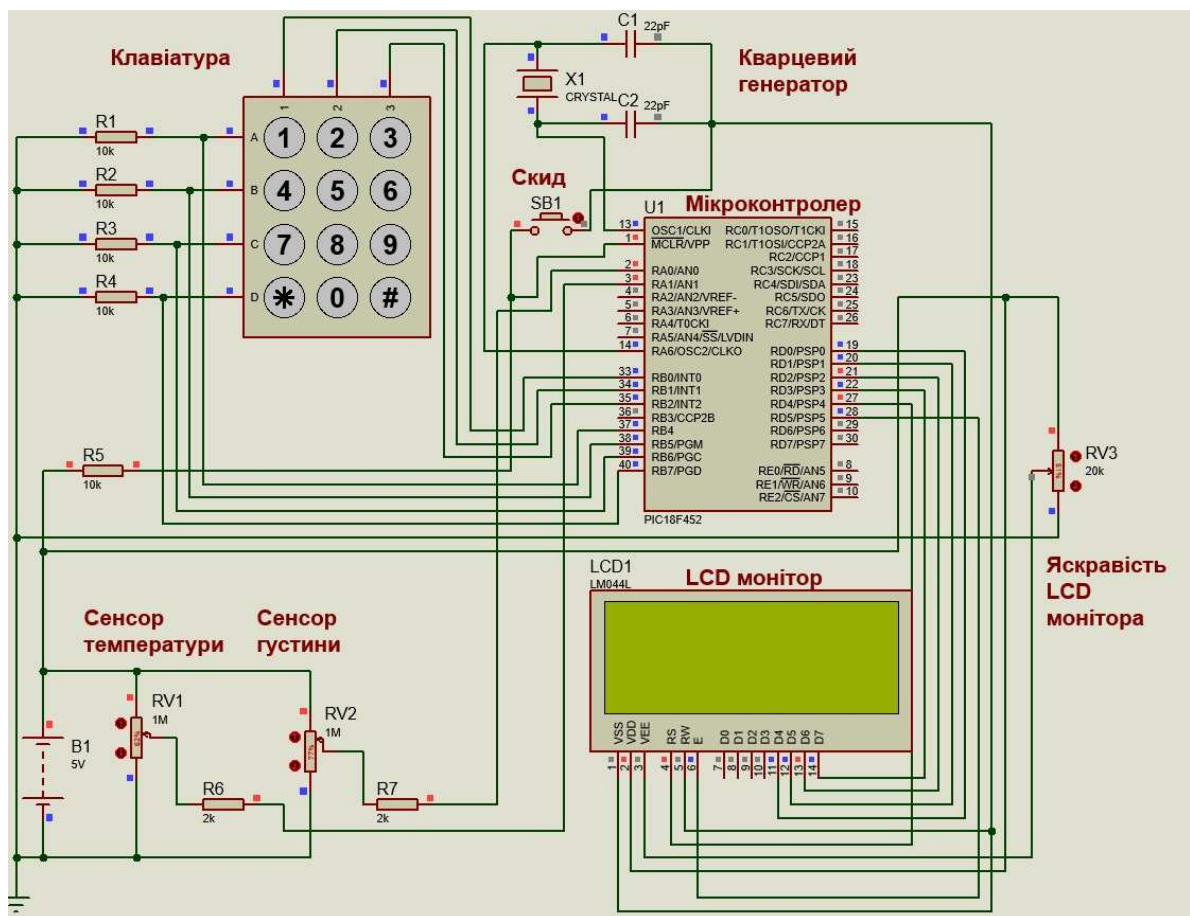


Рис. 1. Електрична схема процесу вимірювання динамічної в’язкості води та водяної пари

- клавіатури для введення вхідних даних та виведення проміжних результатів розрахунку і динамічної в'язкості води або водяної пари;
- системи скидання мікроконтролера на нульову адресу (кнопка, R6).

Ключові слова: вимірювання, динамічна в'язкість, мікроконтролер, вода.

Література

- [1] International Association for the Properties of Water and Steam, Release on the IAPWS Formulation 2008 for the Viscosity of Ordinary Water Substance, IAPWS R12-08 (2008). [Online]. Available: <http://www.iapws.org> (2008).

УДК 681.121: 681.324.06

ABOUT IMPROVING THE WATER METERING QUALITY

Anna Pysarets

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

E-mail: anna.v@ukr.net

Water metering quality is an important aspect which is ensured by the creation of automated systems for transmitting readings from metering units [1-6]. The development and implementation of such systems in our country is constrained by unresolved issues of metering organization.

During the last two decades the situation in the field of water metering in Ukraine has changed significantly. At the beginning of this period, most housing and communal facilities were not equipped with metering instruments. Very few end users installed individual metering instruments (apartment meters) only if they had economic expediency.

End points for general house water metering were created later. The presence of a house water meter contributed to the installation of individual metering units, but in economically justified cases. Installation of individual metering units was not mandatory. End users chose a more profitable payment mode for centralized water supply and sanitation.

Individual water metering units have a clear structure, which provides for the presence of a ball valve, a sediment filter, a meter and a check valve. Such a structure is formed in accordance with the requirements and rules that regulate the relative position of these elements among themselves and the distances between the elements (the length of the straight sections), and accordingly assumes the presence of installation space.

Each element of this structure has its own functions. The stop valves of the metering unit (ball valve) provide the possibility of mounting / dismantling the measuring instrument without disconnecting other users.

The sediment filter performs rough water purification from mechanical additives in order to prevent wear of pipelines, fittings and equipment elements.

Its presence presupposes the performance of routine maintenance (removal of accumulated sediments), the frequency of which depends on the contamination degree of the measured water.

The filter can be installed in a horizontal, vertical or inclined pipeline.

In this case two basic requirements must be performed: the direction of the liquid flow must coincide with the direction of the arrow on the filter's body; the protruding part of the filter must be oriented downwards to prevent the return of contaminants to the pipeline.

A separate requirement for the metering unit installation, which ensures its work quality, is the length of the straight sections before and after the measuring instrument. This parameter affects the metrological performances of the metering unit and ensures a uniform velocity distribution of the measured flow in the cross section.

Therefore, violation of these requirements makes it impossible to meter with the quality mentioned in the manual for the water meter.

During normal operation of pipelines, the medium flow is assumed to be in one direction. Therefore, to prevent a reverse flow, check valves are used that allow the flow to pass in one direction and act automatically.

As a rule, the flow direction is indicated on the check valve body, in accordance with which it must be installed. In this position, the valve passes the working medium in the indicated direction. So, the shutter is in the open position and does not block the flow area. In the event of a back flow direction, the shut-off element moves to the opposite position under its pressure and closes the through hole of the check valve.

Individual water metering units are installed either in systems that have been functioning for a long time (existing housing stock), or in systems that are at the of building stage (new buildings).

In the first case, problems arise that, on the one hand, are associated with limited space on the pipeline and in the installation area, and, on the other hand, with the qualifications of the personnel who perform the metering unit installation.

When installing a metering unit in a new system, technical and routine maintenance problems arise. The metering units can be hidden behind the decorative elements of the interior to preserve the room design. So it makes it impossible for any access to the measuring instrument, except for taking readings.

The individual metering instrument is usually the consumer own; therefore, the main criterion for choosing a measuring instrument is its cost until now.

When an apartment building is fully equipped with individual and domestic metering units, problems arise that are associated with the difference between the readings of a domestic metering instrument and water volume according to the readings of individual system units.

In this case, it's important which instrument readings are the basis for making payments. When making payments on a domestic meter, the question arises of monitoring the fulfillment of the deadlines for the verification interval for apartment metering units.

All of these problems interfere and sometimes make it impossible to create systems for automated transmission of readings from metering instruments, which allow accurately and timely record and transmit for further processing the meter readings.

A necessary condition for the water metering automation is to equip meters with a unified output interface, which will allow integrating it into any system.

All the considered problems arise due to the fact that metering units are the property of end users and are located in hard-to-reach places.

To improve the water metering quality it is necessary that metering units were:

- 1) outside residential premises (in common areas);
- 2) the property of the service provider.

These activities will:

- use the same type of instruments with the identical, or at least similar metrological performances;
- install metering units according to a typical spatial scheme, for example, only on a horizontal section of the pipeline;
- provide access for personal of the service provider at any time to simultaneously take readings from all metering units;
- carry out technical and metrological maintenance in a timely manner;
- promptly eliminate emergency situations;
- increase the metering reliability, in particular, by creating systems for automated collection and transmission of readings.

Keywords: water; meter; quality; readings; data system; automated system.

References

- [1] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 59(1), с. 95 – 101, 2020. DOI: 10.20535/1970.59(1).2020.210037
- [2] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 60(2), с. 79 – 86, 2020. DOI: 10.20535/1970.60(2).2020.221452
- [3] EN 13757-4:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 4. Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in the 868 MHz to 870MHz SRD band).
- [4] EN 13757-5:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 5. Wireless relaying.
- [5] LoRaWAN® Specification v1.1. [Online]. Available at: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/
- [6] Standardization of NB-IOT completed. [Online]. Available at: https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb_iot_complete

УДК 004.032.26

НЕЙРОМЕРЕЖНА ТЕХНІКА СЕГМЕНТАЦІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ

¹⁾Слюсар В. І., ²⁾Слюсарь І. І., ²⁾Христенко А. В., ²⁾Раскін О. М.

¹⁾ЦНДІ ОБТ ЗС України, Київ, Україна

²⁾Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

E-mail: swadim@ukr.net; islyusar2007@ukr.net

Вода є основним та незамінним ресурсом для підтримання життя на Землі. Зі зростанням глобального попиту на воду через збільшення чисельності населення, урбанізацію та зміну клімату, потреба в ефективному управлінні водними ресурсами стає все більш актуальною. За цих умов точний контроль та вимірювання водоспоживання відіграють важливу роль у забезпеченні сталого управління водними ресурсами. Водяні лічильники є невід'ємними інструментами в цьому процесі, надаючи цінні дані для відстеження використання води та сприяння заходам з її збереження.

Важливою передумовою для автоматичної обробки та аналізу даних про водоспоживання є точна сегментація зображень циферблатів водяних лічильників або відео. Однак відповідний процес обробки даних водяних лічильників стикається з викликами, такими як змінні умови освітлення, різноманітні конструкції водяних лічильників, наявність перешкод або відблисків, ефектів оклюзії чи відбиття. Ці фактори можуть значно перешкоджати ефективності традиційних методів обробки зображень та вимагають більш складних підходів для забезпечення точної та ефективної сегментації водяних лічильників.

У доповіді розглянуто техніки сегментації зображень циферблатів водяних лічильників, зокрема моделі глибокого навчання нейронних мереж, алгоритми комп'ютерного зору та гібридні підходи, які поєднують переваги обох напрямів. Оцінка ефективності цих методів враховує їх точність, стійкість та обчислювальну ефективність. Крім того, у доповіді визначено виклики та можливості для майбутніх досліджень у цій сфері, метою яких є прокладання шляху до розробки нового покоління інформаційно-вимірювальних технологій автоматизації обліку споживання води та енергоносіїв. В кінцевому рахунку це сприятиме запровадженню більш ефективних стратегій управління водними і енергетичними ресурсами.

Основний акцент в проведених дослідженнях, на відміну від [1, 2], було зроблено на розгляді найпростіших варіантів нейромереж, здатних вирішувати завдання сегментації графічних зображень. Зокрема, елементарна архітектура нейромережі, що здатна навчатися процесу сегментації, наведена на рис 1. Вона налічує послідовно з'єднані згортковий шар Conv2D з 32 фільтрами та ядром 3x3, яке ковзає по вхідному RGB-зображенню з кроком в один піксель, шар Dense з 64 фільтрами та вихідний згортковий шар Conv2D з двома

класифікаційними фільтрами для чорно-білої сегментації. Загальна кількість параметрів нейромережі становить 4162.

Для навчання усіх запропонованих варіантів нейронних структур в роботі використовувався загальнодоступний датасет Water Meters з сегментації зображень циферблатів лічильників, розміщений на веб-платформі Kaggle [3].

Особливістю набору даних Water Meters є розмір вихідних зображень 1000x1778 пікселів, що є надто великим форматом. Тому для мінімізації обчислень усі зображення датасету були стиснуті до розмірів, що діляться на 4. Зокрема, для нового формату було вибрано роздільну здатність 224x128 пікселів, оскільки він найбільш наближений до початкових пропорцій фотознімків.

Наведена на рис. 1 нейронна структура дозволила отримати точність сегментації лише 53.9 %, хоча вона давала значно кращий результат у випадку сегментації зображень літаків. Це пояснюється менш різноманітним небесним фоном порівняно з сегментацією зображень лічильників.

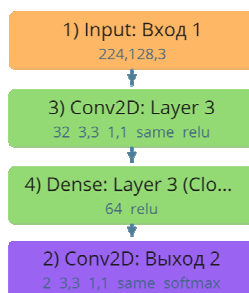


Рис. 1. Одна з найпростіших архітектур сегментації зображень

Для подальшого покращення точності сегментації архітектуру мережі було вдосконалено за рахунок підключення між її сегментами кодування та декодування даних механізму уваги (рис. 2).

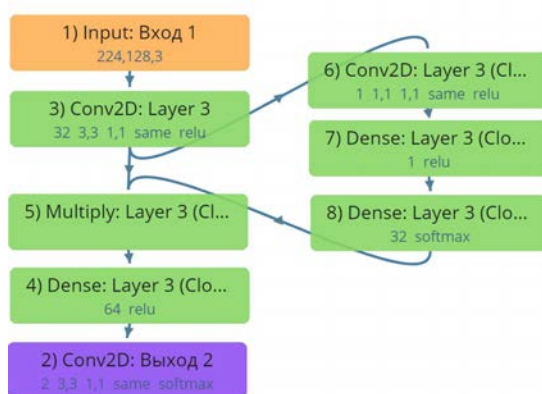


Рис. 2. Нейромережа рисунку 1 з механізмом уваги

Модуль уваги, як відомо, складається з механізму самоконтролю, який дозволяє моделі звертати увагу на певні регіони вхідного зображення, що є найбільш релевантними для завдання сегментації фото лічильника води. Сформована модулем уваги маска далі перемножується з транзитним масивом

даних згідно з правилом матричного добутку Адамара. Загальна кількість параметрів запропонованої нейромережі становить 4216. Навчання на тому ж датасеті засвідчило зростання точності сегментації до величини 56 %.

Подальше удосконалення розглянутої структури нейромережі з механізмом уваги було здійснене шляхом додавання шару BatchNormalization після шару Conv2D у сегменті кодування. В результаті реалізації 500 епох навчання з переходом від кроку навчання 0.001 до 0.0001 це дозволило досягти точності сегментації 58.5 %. Таким чином, загальне зростання показника точності за рахунок введення механізму уваги становить 4,6 %.

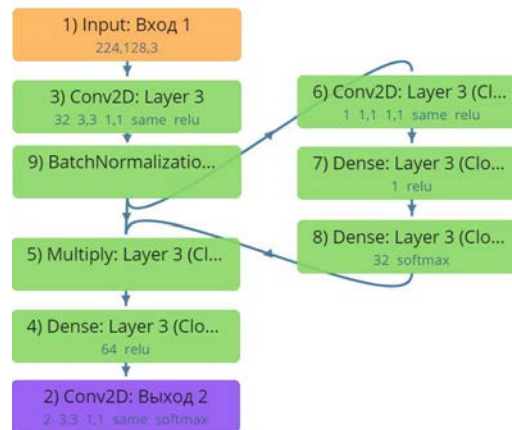


Рис. 3. Удосконалена архітектура нейромережі з механізмом уваги

Поліпшення показника точності до 60.1 % було отримане при збільшенні у нейромережі, наведеній на рис. 3, кількості фільтрів у шарі Conv2D до 64, а в Dense – до 128.

Отже, слід зробити висновок, що механізм привертання уваги, який призначений для зосередження на релевантних характеристиках у вхідному зображенні з одночасним пригніченням нерелевантних, покращує у випадку простих нейромереж їх здатність вивчати дискримінаційні ознаки для точної сегментації. Для максимізації точності сегментації зображень лічильників може бути рекомендоване використання процедур AutoML.

Ключові слова: сегментація, нейронна мережа, датасет, механізм уваги.

Література

- [1] Vadym Slyusar, Ihor Sliusar, Nataliia Bihun, and Volodymyr Piliuhin. Segmentation of analogue meter readings using neural networks. // 4th International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science MOMLET&DS2022, Leiden - Lviv, The Netherlands - Ukraine, 23 -25 Nov. 2022. – Pp. 165 - 175. [Online]. Available: <https://www.ceur-ws.org/Vol-3312/paper14.pdf>. [Accessed April 23, 2022].
- [2] В. И. Слюсар, И. И. Слюсарь, “Анализ эффективности механизмов внимания в задаче сегментации изображений циферблатов аналоговых счетчиков” на XXI-ї Міжнар. Наук. конф. Нейромережні технології та їх застосування НМТІЗ-2022, 7-8 грудня 2022 року, Краматорськ-Тернопіль, Україна. [Online]. Available: http://slyusar.kiev.ua/Slyusar_NNTA_2022_m.pdf. [Accessed April 23, 2022].
- [3] Water meters dataset [Online]. Available: www.kaggle.com/datasets/tapakah68/yandextoloka-water-meters-dataset. [Accessed: December 23, 2022].

УДК 681.121: 536.66:53.058

ОБґРУНТОВУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Коробко І. В., Місяць А. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: i.korobko@kpi.ua, andrii.misiats@gmail.com

На сьогодні, природний газ є одним із основних енергетичних носіїв для забезпечення населення України та ефективних виробничих процесів у промисловості. Використання природного газу у промислових процесах виробництва тепла та електроенергії вимагає калорійної стабільності даного виду палива. Калорійна стабільність необхідна для забезпечення стійкості процесів перетворення теплової енергії, які безпосередньо впливають на задані значення виробленої електроенергії за допомогою електричних машин [1]. Одним із способів визначення теплоти згоряння природного газу є вимірювання його теплотворної здатності. Існує кілька методів визначення теплотворної здатності природного газу.

Теплотворну здатність можна визначити на основі знання хімічного складу палива. Цей метод заснований на припущенні, що теплота згоряння палива дорівнює сумі добутку окремих компонентів у зведеній теплотворній здатності на їх процентний вміст. Цей метод дозволяє отримати приблизне значення, оскільки передбачається, що елементи з'являються як одиничні, і не враховується той факт, що вони зустрічаються в паливі у вигляді хімічних сполук, теплота створення яких впливає на значення калорійності.

Теплотворну здатність газу можна визначити за допомогою калориметра Юнкера [2]. Це проточний прилад, який в основному використовується для визначення теплоти згоряння газоподібного палива. Горіння відбувається при постійному тиску, що дорівнює атмосферному. Вимірювання здійснюється у стаціонарних умовах потоку газу згоряння, при цьому внутрішня енергія калориметра та температура в окремих його точках підтримується сталою. Спосіб полягає у визначенні теплоти, що виділяється при згорянні певної кількості газоподібного палива в калориметрі, яке збирається водою, що протікає через калориметр. Набір складається з двох основних вузлів: лабораторного лічильника газу з охолоджувачем води та регулятора тиску газу. Забезпечення точності вимірювання регламентує вимоги до приміщення. Воно має бути світлим, провітрюваним і опалюваним, об'ємом не менше 20 м³. Температура в приміщенні повинна бути в діапазоні 15-30 °С, а під час вимірювання встановлюватися з допустимим діапазоном коливань ± 1 °С. Воду, що подає калориметр, беруть із водопроводу, резервуар, розташований над калориметром.

В Україні найчастіше застосовують метод найвищої теплотворної здатності (НТЗ). Загальна методика визначення теплоти згоряння природного газу методом НТЗ полягає у послідовності виконання набору етапів:

1. *Збір проб*: збирається репрезентативна проба газу з потоку і відбирається в точці максимально наближеній до джерела.

2. *Аналіз зразку проби*: проводиться аналіз зразку на його хімічний склад. Цей аналіз зазвичай включає вимірювання вмісту метану, а також будь-яких інших вуглеводнів, таких як етан, пропан та бутан. Зразок також повинен бути перевірений на наявність домішок, таких як водяна пара та сполуки сірки.

3. *Визначення найвищої теплотворної здатності*: якщо відомий склад хімічного зразка, НТЗ можна розрахувати за формулою

$$HTZ = \sum_{i=1}^n [Tz_i \cdot \mu_i],$$

де Tz_i – теплотворна здатність кожного компонента;

μ_i – відсоток кожного компонента.

Теплотворною здатністю кожного компоненту є кількість теплоти, що виділяється за умови його повного згоряння. Відсотковий вміст кожного компоненту є процентним його вмісту у зразку природного газу.

4. *Формування результату*: результат НТЗ формується на основі розрахунку та зазвичай виражається в джоулях на кубічний метр (Дж/м³).

Важливо відзначити, що НТЗ може змінюватись залежно від джерела та складу природного газу, тому для отримання точних результатів важливо використовувати репрезентативні зразки та слідувати належним аналітичним процедурам.

Враховуючи стрімкий розвиток штучного інтелекту та поступову цифровізацію промисловості, на сьогодні, актуальним є впровадження глибокого навчання у визначення та прогнозування теплоти згоряння природного газу [3]. Даний підхід дозволить швидко прогнозувати динамічні зміни теплоти згоряння природного газу у мережі трубопроводів на основі оперативних даних (тиск, витрата, якість) в режимі реального часу.

Ключові слова: природний газ, теплота згоряння, компонент, теплотворна здатність, репрезентативна проба, хімічний склад, методологія.

Література

- [1] Jaroslaw Markowski, Pawel Imilkowski, Marcin Nowacki, Damian Olejniczak, Jacek Madry, Krzysztof Netter, Krzysztof Jesionek, and Grzegorz Wiczorkiewicz, “The concept of measurement of calorific value of gaseous fuels”, *E3S Web of Conferences*, vol. 207, 01025, 2020. 25th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM’2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202020701025.
- [2] М. В. Кузь, Л. М. Заміховський, В. А. Шульга, Г. М. Кузь, *Якість природного газу*. Монографія. Академія технічних наук України, Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г. М., 2023. Т1. 124 с.
- [3] Jingjing Hu, Zhaoming Yang, Huai Su, *Dynamic Prediction of Natural Gas Calorific Value Based on Deep Learning*. Energies, 2023. DOI: 10.3390/en16020799.

УДК 681.121

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИЛАДОВОГО ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Горжий І. В., Писарець А. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: igor.vnz2016@gmail.com

Суттєвою складовою енергетичного забезпечення країни є газопостачання, оскільки природний газ є одним з найбільш ефективних видів палива та широко застосовується у промисловості, транспортній галузі та побуті. Невід’ємною частиною газопостачання є облік газу, який допомагає забезпечити ефективне використання ресурсу та контролювати його рух від джерела до кінцевого споживача. Проте, у процесі обліку природного газу часто виникають різні проблеми. Вони можуть мати різний характер, від технічних до правових.

Одна з основних проблем обліку природного газу полягає в недостатній точності визначення об’ємів спожитого газу. Наявні методи обліку не завжди дозволяють відслідковувати реальний об’єм спожитого газу, що пов’язано з недостатньою точністю вимірювання об’єму газу, застосуванням застарілих або технічно несправних засобів вимірювальної техніки, невідповідністю умов експлуатаційного використання зазначеним у документації, а також відсутністю достатньої кількості автоматизованих систем збору та обробки інформації від вузлів обліку. Це значно ускладнює моніторинг та контроль за реальним споживанням газу.

Найвідповідальнішою і найскладнішою задачею в організації обліку є багатокритеріальний вибір вимірювального приладу, придатного для індивідуальних умов експлуатації та забезпечення необхідної точності вимірювання.

Умови експлуатації вузла обліку газу окреслюються сукупністю факторів, що впливають на якість вимірювань.

При виборі класу приладу необхідно враховувати наступні фактори:

- обумовлені технологічними причинами та пов’язані зі структурою, а також властивостями потоку контрольованого середовища (внутрішні технологічні);
- зовнішні механічні;
- конструктивні.

До першої групи відносяться:

1) Спотворення кінематичної структури потоку.

Встановлення приладу обліку передбачає наявність перед ним прямої ділянки трубопроводу, що відокремлює прилад від найближчого місцевого опору; протяжність таких ділянок залежить від принципу дії вимірювача і регламентується виробником. У випадку недотримання вимог до довжини прямої ділянки з’являється додаткова похибка вимірювання, значення якої

залежить від методу вимірювання та його чутливості до спотворення кінематичної структури потоку. Довжину зазначених ділянок можна зменшити застосуванням пристроїв підготовки потоку, конструкції та місце встановлення яких регламентуються технічною документацією на прилади.

2) Механічні домішки.

Наявність механічних домішок (пилу, піску, смолистих речовин, іржі тощо) в потоці газу сприяє механічному зносу чутливих елементів вимірювальних приладів, накопиченню осаджених частинок на внутрішніх поверхнях приладів та вимірювального трубопроводу, засміченню з'єднувальних трубок і може призвести до суттєвого зростання похибки та виходу вимірювальних приладів з ладу в процесі експлуатації.

3) Наявність рідини у вимірюваному середовищі.

За великого вмісту рідини в потоці газу, результати вимірювань за допомогою приладів обліку, які застосовуються для вимірювань сухого газу, непередбачувані. Причому при підвищенні тиску і зниженні температури газу з високим вмістом вологи у вимірювальному трубопроводі можуть утворюватися гідрати, що осідають у вигляді твердих кристалів. Для попередження подібних ситуацій використовують підігрів або осушування газу, спеціальні інгібітори, конденсатозбірники та відстійні камери на вимірювальному трубопроводі.

4) Пульсації потоку.

Найбільш чутливими до пульсацій потоку є витратоміри зі звужувальними пристроями, а також турбінні та вихрові вимірювачі витрати та кількості. Застосування вихрових витратомірів за періодичних пульсацій потоку небажане через значне зростання похибки вимірів, яка може досягати 10 % і більше. За наявності нестандартності робочого середовища, зумовленої перервами у його подачі (робота котлів з періодичним включенням та відключенням) рекомендується використовувати мембранні або роторні лічильники.

5) Шорсткість внутрішньої стінки вимірювального трубопроводу.

Зміна шорсткості призводить до зміни розподілу швидкостей потоку та, відповідно, до підвищення похибки витратомірів або лічильників деяких класів. Тому монтаж та експлуатація вимірювальних приладів повинні здійснюватися на вимірювальному трубопроводі, шорсткості внутрішньої поверхні яких не перевищують допустиму межу, встановлену для застосовуваного класу приладу обліку.

6) Нестабільність компонентного складу.

За суттєвої нестабільності компонентного складу та густини газу або низької частоти його вимірювань виникає додаткова похибка визначення коефіцієнта стисливості газу, що спричиняє додаткову похибку вимірювання витрати та об'єму газу, приведеного до стандартних умов. Величина похибки вимірювання об'ємної витрати та об'єму газу, приведених до стандартних умов, що виникає через нестабільність компонентного складу залежить від обраного методу вимірювання.

Додаткова похибка вимірювання витрати, обумовлена цим фактором, може бути знижена шляхом збільшення частоти вимірювань компонентного складу та/або густини вимірюваного середовища.

Серед зовнішніх механічних факторів особливу увагу слід приділити акустичним шумам.

Наявність акустичних шумів суттєво впливає на точність вимірів при застосуванні вимірювальних приладів ультразвукового класу.

До конструктивних факторів слід віднести:

1) *Притуплення вхідної кромки стандартної діафрагми.*

Це спричиняє зміну коефіцієнта протікання діафрагми та відповідне збільшення похибки вимірювання.

2) *Якість отворів для відбору тиску.*

Статичний тиск у вимірювальному трубопроводі вимірюють через отвори у стінці трубопроводу або в корпусі приладу, якщо це передбачено його конструкцією. Похибка від некоректно виконаних отворів (задирки, недотримання необхідного співвідношення глибини отвору та діаметра, неперпендикулярність осей отворів і стінки вимірювального трубопроводу) може коливатися в межах $\pm 2\%$.

3) *Місце встановлення перетворювача температури.*

Наявність теплообміну в зоні встановлення перетворювача температури у вимірювальному трубопроводі впливає на точність вимірювання температури.

Для виключення впливу цього фактору перетворювач температури розташовують у безпосередній близькості від чутливого елемента приладу обліку, забезпечують необхідну теплоізоляцію трубопроводу і застосовують спеціально виготовлені гільзи для перетворювача температури, заповнені теплопровідною речовиною (мастило, термопаста).

Для зменшення похибок при вимірюванні витрати та об'єму газу, необхідно враховувати індивідуальні особливості методів вимірювання, їх експлуатаційні обмеження, систематично проводити перевірку метрологічних характеристик та калібрування вимірювальних приладів, а також впроваджувати сучасні технології вимірювання.

Одним із можливих рішень частини проблем є розробка та впровадження автоматизованих систем збору та обробки інформації, систем моніторингу та контролю, які дозволяють збирати та аналізувати дані в режимі реального часу, що допомогло б відслідковувати реальний об'єм спожитого газу, прогнозувати витрати газу, зменшувати втрати та попереджувати можливі аварійні ситуації.

Ключові слова: природний газ, облік, умови експлуатації, якість вимірювань.

ВИТРАТОМЕТРІЯ В ІНДУСТРІЇ 4.0

Гришанова І. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: irgryshanova@gmail.com

Проблеми, з якими стикається сучасне виробництво, де мова йде про застосування витратомірів, можна окреслити, як збільшення складності технологічних процесів, широкий вибір запропонованих вимірювальних пристроїв, підтримання точності задіяних витратомірів протягом усього життєвого циклу, фільтрування важливої інформативної складової на виході приладів і датчиків від шуму, створюваного зовнішніми завадами, та контроль за величезною кількістю вимірювальних пристроїв в рамках різноманітних процесів на виробництві.

Багато із зазначених проблем можна подолати за допомогою інтелектуальних витратомірів, які можуть бути плавно інтегровані в середовище керування виробничими процесами.

Поки на підприємстві не вирішать, що можна зробити, щоб мінімізувати до прийняттого рівня ризику, пов'язані з «Індустрією 4.0», менеджери повинні розглянути пристрої, які можна застосувати сьогодні, і в той же час бути готовими законсервувати певні з них для використання у майбутньому. Оскільки інновації стимулюють випуск нових продуктів, складність виробничого процесу зростає з додаванням нових виробничих ліній, тому що використовується більше компонентів, і, у свою чергу, усі вони потребують точного вимірювання. Завдання полягає не лише в тому, щоб забезпечити точність задіяних приладів, але і досягти необхідної якості вироблюваної продукції. Сучасні підприємства більше не будуються для створення одного продукту. Їм потрібна гнучкість, щоб відповідати вимогам ринку, які швидко змінюються. Для цього зокрема потрібні витратоміри, які можна швидко переконфігурувати або оновити сучасними функціями за потреби з мінімальним часом простою.

Зі збільшенням складності процесу зростає кількість задіяних витратомірів і вимірювачів рівня, що вимагає суттєвого інженерного досвіду для здійснення вибору правильного пристрою, щоб забезпечити потрібну продуктивність. Різні типи лічильників і різні профілі продуктивності означають, що інженери більше не можуть вибрати потрібний продукт просто з таблиць даних. Їм слід враховувати багато параметрів, таких як методика вимірювання, вимірювана величина (маса чи об'єм), пропускна здатність, температура, втрати тиску та розмір лінії. У багатьох випадках необхідна стороння допомога для надання консультативної підтримки інженерам під час процесу підбору.

Планового технічного обслуговування та калібрування витратомірів уже недостатньо. Витратоміри повинні мати можливість попередити персонал, коли

вони стикаються з проблемами, які впливають на процес вимірювання, перш ніж це спричинить проблему, пов'язану з якістю продукту або призведе до зупинки процесу. Це вимагає вбудованої діагностики, здатної здійснювати постійний моніторинг витратомірного процесу без втручання в нього.

Впровадження інтелекту в витратоміри дає можливість отримати доступ до даних про продуктивність. Однак погано налаштовані прилади збільшують кількість сповіщень про помилки в роботі, які повинні бути оброблені або доведені до відповідного персоналу підприємства. Щоб подолати це, сучасні витратоміри також повинні мати можливість налаштовувати типи та кількість сигналів тривоги і попереджень в будь-який час, надавати дані як до, так і після події, показувати наявність корозії, в'язкість у певному діапазоні, швидкість потоку та багато іншого. Ці дані мають бути доступними та реєструватися в режимі реального часу, щоб створити повне уявлення про хід подій.

При серійному виробництві ймовірно, що процес потрібно буде регулярно змінювати. Традиційно це означало значний час простою та налаштування для перемикання між процесами. Витратоміри тепер повинні мати можливість зберігати багато наборів параметрів процесу та наборів опцій в одному блоці, що забезпечує пряме перемикання. Такі витратоміри вже є. Вони пропонують ширшу інтеграцію з ініціативами індустрії 4.0, що сприяє суттєвому прогресу виробництва.

Ключові слова: індустрія 4.0, витратомір.

УДК 621.3:006.91

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

*Гачок В. М., Куліш Ю. М., Малес С. І.
ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», Київ, Україна
E-mail: ermatec@ukrcsm.kiev.ua*

Метрологічне забезпечення вимірювань електричної потужності в Україні базується на вимогах національних та міжнародних стандартів, які визначають точність вимірювань та необхідність калібрування лічильників електричної потужності.

Україна має державну систему метрологічного забезпечення, яка забезпечує виконання вимог міжнародних та національних стандартів в галузі вимірювань електричної потужності. Система метрологічного забезпечення включає в себе державні метрологічні служби, спеціалізовані лабораторії, а також акредитовані вимірювальні лабораторії, які здійснюють калібрування лічильників електричної потужності.

Вимірювання електричної потужності та енергії є одними із основних одиниць вимірювань у електроенергетичній галузі у нашій державі. Для забезпечення діяльності торговельно-комерційних операцій та розрахунків між

покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником) під час надання послуг щодо постачання та споживання електричної енергії здійснюється державне регулювання електроенергетичної сфери [1]. Згідно Постанови КМУ № 374 від 04.06.2015 засоби вимірювання (лічильники активної електричної енергії класів точності від 0,5 до 2,0) підлягають періодичній повірці як законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки, та згідно Наказу Мінекономрозвитку України № 1518 від 10.08.2020 робочі еталони (лічильники електричної енергії класів точності від 0,02 до 0,2) необхідно калібрувати щорічно.

Єдність вимірювань електричної потужності в Україні забезпечується калібруванням робочих еталонів електричної потужності та енергії на Вторинному еталоні одиниці електричної потужності на промисловому діапазоні частот ВЕТУ 08-08-02-08 і Національному державному первинному еталоні одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності НДЕТУ ЕМ-08-2023 [2]. Щорічно із застосуванням Національного державного еталону одиниці електричної потужності калібрується близько 100 робочих еталонів високих класів точності.

Національний державний первинний еталон одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності НДЕТУ ЕМ-08-2023 складається з комплексу прецизійних засобів вимірювань:

- компаратор трифазний еталонний СОМ 3003;
- високостабільне трифазне джерело змінного струму та напруги МТ 3000 з прецизійним підсилювачем струму до 120 А МТ 3000 Booster;
- комплект еталонних мір електричної потужності та коефіцієнта потужності RM-15 (3 шт.);
- установка для відтворення та зберігання одиниці коефіцієнта потужності та передачі її розміру.

Діапазон значень електричної потужності, в якому НДЕТУ ЕМ-08-2023 відтворює, зберігає та передає одиницю вимірювань, становить: від 0,1 Вт до 60000 Вт (однофазний режим) та від 0,3 Вт до 180000 Вт (трифазний режим) при силі струму від 0,01 А до 120 А, напрузі від 10 В до 600 В, коефіцієнті потужності від мінус 1 до 1, в діапазоні частот від 40 Гц до 70 Гц. Розширена невизначеність – U складає від $3 \cdot 10^{-5}$ Вт/ВА до $5 \cdot 10^{-5}$ Вт/ВА, з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ та довірчою ймовірністю $P=0,95$. Нестабільність НДЕТУ ЕМ-08-2023 за рік складає не більше $2 \cdot 10^{-5}$ при коефіцієнті потужності 1.

Простежуваність НДЕТУ ЕМ-08-2023 забезпечується участю у міжнародних звіреннях за проектами EURAMET.EM-K5.1, GULFMET.EM-S5 та COOMET.EM-S2 [3, 4, 5]. За отриманими позитивними результатами міжнародних звірень НДЕТУ ЕМ-08-2023 опубліковано на сайті ВІРМ в базі даних KCDP-CIPM MRA DATABASE 10 CMC (calibration and measurement capabilities) рядків (калібрувальних та вимірювальних можливостей).

Окрім міжнародних звірень простежуваність НДЕТУ ЕМ-08-2023 можна представити у вигляді неперервного ланцюга калібрувань до первинних

еталонів інших держав, що відтворюють основні одиниці СІ, зокрема змінного струму і напруги.

У визначені Ампера А та Вольт V існують методи для їх практичної реалізації (брошура СІ, 9-й випуск 2019).

Основні складові схеми відтворення одиниці електричної потужності НДЕТУ ЕМ-08-2023 мають сертифікати калібрування в РТВ (Німеччина). Що дозволяє з впевненістю казати про простежуваність національного державного еталону одиниці електричної потужності до первинних еталонів, що відтворюють основні одиниці СІ.

Під час підбору еталонних лічильників електричної потужності та енергії відповідно до своїх потреб, підприємства звертають увагу на основні фактори: клас точності, надійність і стабільність роботи лічильника.

За своїм призначенням еталонні лічильники електричної потужності та енергії поділяються на стаціонарні та переносні. Стаціонарні постійно знаходяться в приміщенні і для них можна створити необхідні для нормальної роботи умови. Відповідно, чинників, що впливатимуть на стабільність роботи і похибку, в таких лічильниках значно менше. Прикладами таких лічильників є: EPZ 303-5 (ZERA, Німеччина), SRS 121.3 (МТЕ ЕМН, Німеччина), НС 3100 (Китай) та інші. Переносні лічильники застосовують в умовах поза приміщенням, тому температура повітря, вологість, забрудненість, обмеженість доступу до об'єкту вимірювання та інші фактори вносять значний вплив на результати. Зазвичай, такі лічильники є менш точними, ніж стаціонарні, з класом точності 0,1 або 0,2.

Якщо для визначення класу точності еталонного лічильника достатньо провести калібрування «тут і зараз» на більш точному еталоні (при умові відношення розширеної невизначеності значення, яку відтворює еталон, до максимально допустимої похибки ЗВТ не більше ніж один до трьох), чого буде достатньо, то щоб визначити надійний лічильник і чи стабільно він виконує свої функції необхідно проводити довготривалі спостереження. Ці спостереження проводяться на підставі результатів калібрування за декілька років.

Згідно ДСТУ ІЛАС-G 24/OIML D 10:2013 початкове рішення щодо визначення міжкалібрувального інтервалу базується на таких чинниках:

- рекомендації виробника ЗВТ;
- очікувана тривалість і жорсткість умов експлуатування;
- вплив навколишнього середовища;
- вимоги до невизначеності вимірювань;
- границя допустимої похибки;
- регулювання (або зміни) в конкретному ЗВТ;
- вплив вимірюваної величини (наприклад вплив високої температури на термопару);
- загальні чи опубліковані дані про такі самі або аналогічні ЗВТ.

Ключові слова: потужність, енергія, еталон, лічильник, простежуваність.

Література

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» зі змінами від 5 червня 2014 року № 1314-VII.
- [2] Oleh Velychko, Stanislav Karpenko, “Traceability Features of the Electric Power Unit in Ukraine”, in *19th International Congress of Metrology (CIM2019)*. DOI: 10.1051/metrology/201911005.
- [3] О. Величко, С. Карпенко, В.Гачок, «Міжнародні звірення в рамках КООМЕТ національних еталонів одиниці електричної потужності на промисловій частоті», *Метрологія та прилади*, с. 6-12, 2015.
- [4] Oleh Velychko, Stanislav Karpenko, Linking results of key and supplementary comparisons of regional metrology organization for electrical power, *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 301p1-301p7, 2016. DOI: 10.1051/ijmqe/2016014.
- [5] Oleh Velychko, S Karpenko, H Çaycı, J Bartholomew, “Main Results of GULFMET Supplementary Comparison for AC Active and Reactive Energy”, in *Conference: NCSL International /Conference on Precision and Electromagnetic Measurements (CPEM 2020) Virtual, At: Denver, Colorado, USA*. DOI: 10.1109/CPEM49742.2020.9191733.

УДК 519.87:620.9

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ОСНОВІ УМОВНИХ ЛІНІЙНИХ ВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

¹⁾Фриз М. Є., ²⁾Щербак Л. М.

¹⁾Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Тернопіль, Україна

²⁾Інститут загальної енергетики НАН України, Київ, Україна

E-mail: mykh.fryz@gmail.com, prof_scherbak@ukr.net

Концепція «умовно лінійного випадкового процесу» була запропонована Percy A. Pierre [1] у контексті його досліджень проблеми математичного моделювання та аналізу радіолокаційних сигналів та перешкод. Умовний лінійний випадковий процес (УЛВП) із неперервним часом [2], [3] означено у формі стохастичного інтеграла з випадковим ядром за процесом із незалежними приростами. У роботах [2], [3] та ін. метод характеристичних функцій було застосовано до аналізу УЛВП із неперервним часом для дослідження властивостей розподілу ймовірностей випадкового процесу, включаючи умови, за яких він буде циклостаціонарним (тобто, зі скінченновимірними функціями розподілу, характеристичними функціями чи моментними функціями, які є періодичними за сукупністю своїх часових аргументів), що, очевидно, є важливою властивістю в контексті енергетичної інформатики [4] через циклічний характер споживання енергоресурсів [5], [6]. У даній доповіді вивчаються такі ж властивості, але для випадку дискретного часу. Отримані результати проаналізовано з метою їх застосування в задачах математичного моделювання споживання енергоресурсів та інших важливих задач енергетичної інформатики.

Умовний лінійний випадковий процес з дискретним часом можна зобразити у вигляді такої стохастичної суми:

$$\xi_t(\omega) = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \varphi_{\tau,t}(\omega) \zeta_{\tau}(\omega), \quad (1)$$

де $\varphi_{\tau,t}(\omega)$, $\tau, t \in \mathbf{Z}$ – випадкова функція (ядро), яку можна трактувати також як випадкове двовимірне поле, що задане на \mathbf{Z}^2 ;

$\zeta_{\tau}(\omega)$, $\tau \in \mathbf{Z}$ – послідовність незалежних безмежно подільних випадкових величин (безмежно подільний породжуючий білий шум);

випадкова матриця $\varphi_{\tau,t}(\omega)$ та білий шум $\zeta_{\tau}(\omega)$ є стохастично незалежними.

Наведений вище ряд слід розуміти в сенсі збіжності у середньоквадратичному. Відповідні умови, яким повинні задовольняти при цьому ядро і породжуючий білий шум наведені у доповіді.

На основі аналізу властивостей математичного сподівання та кореляційної функції досліджуваного процесу показано, що він буде періодично корельованим, якщо ядро зображення (1) є періодично корельованим випадковим полем, а породжуючий білий шум є періодично корельованою випадковою послідовністю.

Використовуючи метод характеристичних функцій встановлено, що УЛВП з дискретним часом буде циклостаціонарним випадковим процесом, якщо ядро його зображення є циклостаціонарним випадковим полем, а породжуючий білий шум є циклостаціонарною випадковою послідовністю. Ймовірнісний розподіл послідовності (1) належить до класу сумішей безмежно подільних розподілів.

Розглянуто також частинні випадки отриманих результатів.

Ключові слова: умовний лінійний випадковий процес, модель, циклостаціонарний процес, безмежно подільний білий шум.

Література

- [1] P. A. Pierre, “Central Limit Theorems for Conditionally Linear Random Processes,” *SIAM J. Appl. Math.*, vol. 20, no. 3, pp. 449–461, 1971, doi: 10.1137/0120048.
- [2] M. Fryz and B. Mlynko, “Properties of Stationarity and Cyclostationarity of Conditional Linear Random Processes,” in *Proceedings - 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2020, pp. 166–170. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235415.
- [3] M. Fryz, L. Scherbak, M. Karpinski, and B. Mlynko, “Characteristic Function of Conditional Linear Random Process,” in *The 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2021*, 2021, pp. 129–135. [Online]. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3039/short40.pdf>
- [4] V. Babak, L. Scherbak, Y. Kuts, and A. Zaporozhets, “Information and measurement technologies for solving problems of energy informatics,” in *Proceedings of the 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2021*, 2021, vol. 3039, pp. 24–31. [Online]. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3039/short20.pdf>
- [5] Б. Г. Марченко, Н. В. Мулик, та М. Є. Фриз, “Обґрунтування математичної моделі газонавантажень,” *Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І. Пулюя*, vol. 10, no. 2, pp. 138–142, 2005.
- [6] М. Є. Фриз and Т. В. Михайлович, “Обґрунтування математичної моделі водоспоживання у вигляді умовного лінійного випадкового процесу,” *Електроніка та системи управління*, no. 3(25), pp. 137–142, 2010.