

Володимир Ванько, Олександр Приходько

## УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні машинобудівні підприємства орієнтуються на випуск висококонкурентної продукції, яка повинна відповідати всім вимогам якості. Одним із таких видів продукції вважається гільза циліндра двигуна внутрішнього згорання тракторів і комбайнів. Така аграрна техніка мала широкий вжиток ще від часів СРСР.

**Постановка проблеми.** Основними складовими частинами двигуна є: блок циліндрів із гільзою; головка газорозподільного механізму; картер двигуна; впускний та впускний колектори; електрообладнання; система охолодження. Гільза циліндра, незважаючи на просту геометричну форму, є одним з найбільш відповідальних елементів двигуна внутрішнього згорання. Проблема полягає в забезпеченні якості виготовлення гільзи та в гарантуванні якості під час експлуатації у споживача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведено хімічний склад матеріалу гільзи, її механічні властивості, а також конструктивні складові та умови її експлуатації. Нині відсутні відомі вітчизняні методики – певною мірою це пов'язано із захистом інтелектуальної власності виробників.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Наголошено на недоліках чинної нормативної бази стосовно проблематики оцінювання якості гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання.

**Постановка завдання.** Наголошено на доцільності застосування матричного методу оцінювання якості продукції і послуг та FMEA-аналіз ризиків під час виконання виробничих процесів виготовлення гільзи циліндра, щоб гарантувати її високу якість. Проблема дослідження полягає в підвищенні якості зазначених гільз завдяки мінімізації ризиків, які виникають під час виконання всіх технологічних операцій їх виготовлення.

**Виклад основного матеріалу.** На основі запропонованого підходу для дослідження гільз циліндра описана розроблена методика оцінювання якості даних виробів. Вона містить наступні розділи: призначення методики, вибір методу оцінювання якості гільзи циліндра, вимоги до точності оцінювання якості гільзи, вимоги до безпечності виконуваних робіт, вимоги до кваліфікації спеціалістів, підготування та виконання операцій методики, оформлення результатів проведення методики оцінювання якості гільзи циліндра. Детально наведено зміст кожного розділу розробленої методики. Представлено алгоритми математичної логіки для оцінювання якості гільз циліндра, пошуку причин погіршення якості та шляхів їхнього подолання.

**Висновки відповідно до статті.** Наведено приклад опитувальної анкети стосовно процесів лиття заготовок гільзи циліндра.

Рис.: 1. Табл. 2. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** Сьогодні багато вітчизняних машинобудівних підприємств намагаються не лише забезпечити власні потреби в якісній продукції, але й вийти на міжнародні ринки різноманітної технічної продукції. Насамперед це стосується великогабаритної сільськогосподарської техніки – тракторів і комбайнів, які широко застосовуються для виконання багатьох технологічних процесів.

Одним із головних вузлів цієї техніки вважається гільза циліндра АЛ 0908.3012.2017, яка входить до складу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) СМД-14. Першим цей двигун почали використовувати на Волгоградському тракторному заводі – його встановлювали трактор ДТ-75 [1]. Свого часу цей трактор на гусеничному ході був наймасовішим трактором за випуском у СРСР. Цей трактор випускається й понині. На сьогодні таких агрегатів випущено близько 2,7 млн одиниць.

**Постановка проблеми.** Основними складовими частинами ДВЗ є: блок циліндрів із гільзою; головка газорозподільного механізму; картер двигуна; впускний та впускний колектори; електрообладнання; система охолодження [2]. Блок циліндра являє собою основну деталь ДВЗ, яка є суцільнолитотою деталлю, що об'єднує в собі циліндри двигуна. Відливається зазвичай із чавуну, рідше – алюмінію. На блоці циліндрів містяться опорні поверхні для встановлення колінчастого вала, до верхньої частини блока, якого кріпиться головка блока циліндрів, а нижня частина є частиною картера. Таким чином, блок циліндрів є основою ДВЗ, на яку встановлюються інші деталі.

Блок циліндра призначений для перетворення енергії поступального руху поршня, який розміщується всередині гільзи, в обертальний рух колінчастого вала.

Гільза циліндра належить до довгих циліндричних деталей. Вона має просту геометричну форму і є найбільш відповідальним елементом корпусу ДВЗ.

У гільзі циліндру розміщується поршень, разом із кришкою вона утворює камеру згорання. При згоранні палива поршень починає рухатись, і відбувається перетворення енергії палива в механічну.

Ця гільза належить до так званих мокрих гільз. У мокрій гільзі зовнішня поверхня – сорочка має безпосередній контакт з охолоджувальною рідиною. Мокрі гільзи гарантують ефективнішу теплопередачу й легкозамінні в разі зношування. Гільза циліндра має порожнину охолодження – сорочку. З метою правильної установки в блоці й збереження форми, гільзу центрують по двох напрямних поясках. Діаметр верхнього пояска трохи більший від нижнього, в якому для забезпечення подовження втулки при роботі передбачається проміжок 0,05-0,13 мм. Порожнини охолодження ущільнюють спеціальними гумовими кільцями, які встановлюються в канавки блока циліндрів або в канавки гільзи на нижньому напрямному поясочку та верхньому. Внутрішня поверхня втулки або гільзи циліндра є робочою й називається дзеркалом циліндра. Для зменшення тертя й оптимального забезпечення мастилом гільза має головну особливість – це дуже точна макро- і мікрогеометрія поверхні отвору зі спеціальним мікроскопічним рельєфом, який складається із відносно глибоких западин (масляних карманів) і плоских виступів (плато).

**Аналіз останніх досліджень.** Основою матеріалу гільзи є чавун спеціальний, отриманий на основі сірого чавуну [4]. Вміст його складових наведено в табл. 1.

Таблиця 1

*Хімічний склад чавуну спеціального гільзи (вміст у %)*

Чавун	С	Мо	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
					Не більше			
СЧ24	3,1- 3,5	2,0 - 2,4	0,7 - 1,0	0,3 - 0,5	0,15	0,45 – 0,7	0,3	0,3

Хімічний склад, структура матеріалу, точність виготовлення гільзи, мікрорельєф робочої поверхні визначають загальну надійність ДВЗ, показники пари тертя поршневе кільце-гільза також дозволяють створити умови для повного згорання палива, підвищення ефективності теплових циклів і збільшення коефіцієнта корисної дії ДВЗ.

Такі високоякісні та дорогі легуючі метали, як нікель, хром і молібден підвищують міцність, зносостійкість і корозійну стійкість гільз циліндрів, що передусім позитивно позначається на тривалості й надійності роботи машини.

Наведений матеріал (чавун), з якого виготовляється гільза циліндра, характеризується такими механічними властивостями:

- мінімальна межа міцності при розтягуванні – 263 МПа;
- твердість металевої основи на робочому діаметрі гільзи 229–277 НВ;
- мінімальний модуль пружності 117 000 МПа.

Ця деталь є тілом обертання і має такі конструктивні елементи: зовнішні циліндричні поверхні, внутрішню циліндричну поверхню, три торця, зовнішні і внутрішні фаски, конусну поверхню та дві галтелі.

Гільза циліндра ДВЗ працює в жорстких умовах високих температур та тиску, тому до якості їх обробки висуваються високі вимоги. Особливу увагу приділяють обробці внутрішньої поверхні гільзи, концентричності внутрішніх та зовнішніх поверхонь, перпендикулярності торців до осі.

Таким чином, до якості цього вузла ДВЗ висуваються достатньо жорсткі вимоги.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Як відомо, вимоги до гільзи циліндра, як і до будь-якого іншого вузла чи блока, формуються відповідними нормативними документами. Це стосується і проблеми оцінювання якості зазначеного вузла.

Варто зазначити, що чинні нині методики для виготовлення гільз циліндра ДВЗ, наприклад такі як у [3], не завжди дозволяють виготовляти їх із високою якістю.

**Постановка завдання.** Відповідно до [4] запропоновано застосування матричного методу оцінювання якості продукції і послуг та FMEA-аналіз ризиків під час виконання виробничих процесів стосовно цієї гільзи циліндра ДВЗ, щоб гарантувати її високу якість у вигляді готового продукту та під час експлуатації. Для реалізації цих процесів розробимо покращену методику оцінювання якості (МОЯ) зазначених вузлів.

**Виклад основного матеріалу.** Пропонуємо цей нормативний документ будувати аналогічно до методики виконання вимірювань на основі вимог, викладених у [5]. З огляду на ці вимоги, структура методики оцінювання якості гільзи циліндра ДВЗ матиме вигляд, показаний на рисунку.

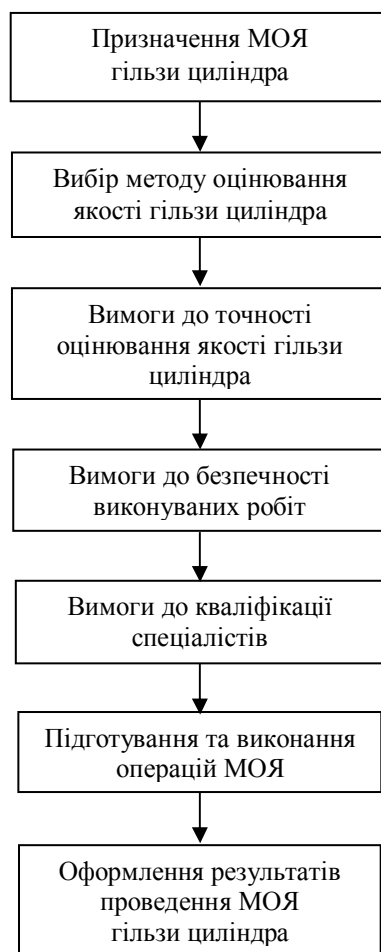


Рис. 1. Структура методики оцінювання якості гільзи циліндра ДВЗ

Спочатку наводяться галузь застосування об'єкта дослідження – гільзи циліндра ДВЗ та її показники якості (ПЯ) з наведеними діапазонами їхньої зміни.

Надалі зосереджуються на методі оцінювання якості об'єкта – тут йдеться про обраний вище підхід [4].

У переважній більшості випадків не ставляться особливо жорсткі вимоги стосовно точності оцінювання якості об'єкта. Щодо якості гільзи циліндра ДВЗ можна стверджувати, що сумарна похибка результатів оцінювання не повинна бути меншою  $\pm 1,0\%$ .

Небезпека під час виконуваних робіт може виникати лише при виконанні технологічних операцій, пов'язаних із виготовленням гільзи.

Оскільки для формування часткових матриць якості  $|Q_{OP}|$  та їхнього оцінювання потрібні провідні фахівці з різних операцій і процесів, то залучають кадри найвищої кваліфікації, а також формують деякий перелік опитувальних анкет для збору інформації. Також застосовують експертні методи опрацювання отриманих даних, за допомогою яких складають часткові еталонні матриці  $|Q_{OP\_et}|$  для досліджуваних операцій і процесів.

Власне процедура оцінювання якості відбувається з використанням операцій математичної логіки [6] у вигляді перевірки умов.

$$|Q_{OP}| - |Q_{OP\_et}| = \left. \begin{array}{l} \text{якщо отримують матрицю} \\ \text{з від'ємних елементів} \quad \Rightarrow \quad \text{вища якість;} \\ \text{якщо отримують матрицю} \\ \text{з додатними елементами} \quad \Rightarrow \quad \text{низька якість} \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Коли має місце погіршення якості операції або процесу, то щодо виявлених незадовільних ПЯ – пріоритетних чисел ризику (ПЧР)  $n_p$  – проводять наступну перевірку

$$|n_p| - |n_{p\_et}| = \left. \begin{array}{l} \text{якщо } S_B - S_{B\_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } S_B - S_{B\_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція;} \\ \text{якщо } O_{ii} - O_{ii\_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } O_{ii} - O_{ii\_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція;} \\ \text{якщо } D_{вд} - D_{вд\_et} < 0 \rightarrow \text{жодних корекцій;} \\ \text{якщо } D_{вд} - D_{вд\_et} > 0 \rightarrow \text{аналіз і корекція.} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де  $S_B$  – ступінь вагомості наслідків ризику,  $O_{ii}$  – ймовірність виникнення дефекту,  $D_{вд}$  – ймовірність виявлення дефекту.

При цьому метою аналізу кожного ПЯ під час знайденого порушення є встановлення рівня оптимальних корегувальних дій, залежно від виявленого відхилення.

На завершальній стадії фіксуються результати проведення МОЯ гільзи циліндра ДВЗ та перелік необхідних корегувальних дій стосовно знайдених порушень технології, що призвели до погіршення якості виробів.

У табл. 2 наведено приклад заповненої опитувальної анкети стосовно процесів плавлення чавуну в печах ІЧТ. Згідно з вимогами чинних нормативних документів [7; 8] вибрано  $n_{p\_et} = 100$ . Враховуючи вимогу (1), можна стверджувати, що процеси, де  $n_p$  перевищувало граничне значення, потребують корегувальних дій для уникнення погіршення якості досліджуваного виробу – гільзи циліндра АЛ 0908.3012.2017 ДВЗ.

Таблиця 2

Приклад проведення FMEA-аналізу для плавлення чавуну в печах ІЧТ

Процес/ функція	Вимоги	Вид потенційної відмови	Потенційний наслідок відмови	Вагомість «S»	Потенційні причини відмови	Виникнення «O»	Поточне проектування		Виявлення «D»	ІРП
							діючі заходи щодо запобігання	діючі заходи щодо виявлення		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Підготовча Провести футерування, сушку, спікання та вивести на режим експлуатації печі ІЧТ. Провести футерування та сушку барабанних ковшів	Наявність готової до експлуатації індукційної печі	Піч неготова до експлуатації по причині не відповідності якості футерувальних матеріалів	Затримка в роботі ливарного цеху	7	Футерувальні матеріали не відповідають вимогам переліку вхідних матеріалів	3 3	Мати запас футерувальних матеріалів (не менше 10 т)	До початку та періодично під час зміни роботи обстеження вузлів і механізмів засобу транспортування	4	84
		Піч не готова до експлуатації з технічних причин			Несвоєчасна підготовка печі технічними службами цеху		3	Своєчасно виконувати ремонтні роботи		
	Наявність готового барабанного ковша		Збій в технологічному процесі виготовлення відливок	7	Несвоєчасна підготовка розливних ковшів до роботи	4	Провести додатковий інструктаж з бригадою футерувальників про необхідність своєчасної підготовки до роботи розливних ковшів	Проводити щомісячний контроль стану розливних ковшів. Мати в наявності резервний розливний ковш, підготовлений до роботи	5	140
2. Завантаження. Витягнути сертифікат з «карману» короба, порівняти його дані з розрахунками шихти. Провести візуальне обстеження на відсутність вибухонебезпечних предметів, завантажити шихту в тігель печі	Відсутність вибухо-небезпечних предметів в отриманих шихтових матеріалах	Наявність в отриманих плавильною дільницею шихтових матеріалах вибухонебезпечних предметів	Призупинення завантаження шихти до печі та повернення коробу з вибухонебезпечним предметом на шихтовий двір	7	Неуважність шихтувальників при підготовці металевої шихти для подачі на плавильну дільницю	2	Провести додатковий інструктаж про необхідність ретельної перевірки шихти	Плавильнику проводити ретельне обстеження кожного коробу з шихтою перед завантаженням до печі	5	70

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Наявність на плавильній дільниці розрахунків шихти та змінного завдання	Відсутність на плавильній дільниці розрахунків шихти та змінного завдання	Затримка процесу плавлення	4	Несвоєчасне забезпечення плавильної дільниці розрахунком шихти	2	Забезпечити плавильну дільницю розрахунками шихти в відповідності до змінного завдання	Візуально на початку зміни	3	36
3. Плавка. Плавити шихту (завантажити до печі шихтові матеріали відповідно до вимог розрахунку шихти). Видалити шлак із поверхні	Феродомішки відповідають вимогам розрахунку шихти	Сплутані введені феродомішки	Невідповідність хімічного складу рідкого металу	7	Неуважність плавильника при додаванні феродомішок до печі	3	Провести додатковий інструктаж плавильників	Проводити аналіз вихідного рідкого металу	4	84
	Вага введених феродомішок відповідає вимогам розрахунку шихти	Вага введених феродомішок не відповідає вимогам розрахунку шихти	Невідповідність хімічного складу рідкого металу	7	Збій у роботі ваг	3	Своєчасно проводити перевірку ваг відповідно до встановленого графіку	Щозмінно контролювати працездатність ваг	4	84

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Висновки відповідно до статті.** Запропонована методика для оцінювання якості машинобудівних виробів є новим нормативним документом, завдяки якому підприємство зможе зменшувати кількість браку, виявляти слабкі в технологічному плані ділянки свого виробництва та підвищувати конкурентоспроможність своєї продукції з метою успішного функціонування на внутрішньому та міжнародному ринках.

**Список використаних джерел**

1. *Трактор ДТ-75* / М. А. Шаров, А. А. Дивинский, Н. П. Харченко и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1970. – 256 с.
2. *Техническое описание и инструкция по эксплуатации трактора ДТ-75, составлены группой инженеров Головного специализированного конструкторского бюро (ГСКБ) по гусеничным пахотным тракторам Волгоградского тракторного завода и Головного специализированного конструкторского бюро по двигателям средней мощности (ГСКБД) г. Харькова.* – 277 с.
3. *Технология изготовления гильз цилиндров. Мотордеталь* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.motordetal.ru/news/tehnologiya\\_izgotovleniya\\_gilz\\_tsilindrov](https://www.motordetal.ru/news/tehnologiya_izgotovleniya_gilz_tsilindrov).
4. Ванько В. М. Матричний метод проведення FMEA-аналізу як інструмент прогнозування якості продукції / В. М. Ванько, О. М. Приходько // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – № 78. – С. 80–84.
5. *ГОСТ 8.010-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения* [Электронный ресурс] // ГП «Укрметртестстандарт». – Режим доступа : <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
6. Манин Ю. И. Лекции по математической логике. Части 1 и 2 / Ю. И. Манин. – М.-Л. : Сов. уч. лит-ра для ВУЗ, 1974. – 204 с.
7. *FMEA-анализ видов и последствий потенциальных отказов* / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. Руководство – 4-е издание, 2008 г.
8. *IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*

**References**

1. Sharov, M. A., Divinski, A. A., Kharchenko, N. P. et al. (1970). *Traktor DT-75 [Tractor DT-75]*. Moscow: Kolos [in Russian].
2. *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiia po ekspluatatsii traktora DT-75, sostavleny gruppoy inzhenerov Golovnoho spetsializirovannogo konstruktorskogo biuro (HSKB) po gusenichnym pakhotnym traktoram Volgogradskogo traktornogo zavoda i Golovnoho spetsializirovannogo konstruktorskogo biuro po dvygateliam srednei moshchnosti (HSKBD) g. Kharkova* [Technical description and operating manual for DT-75 tractor, compiled by a group of engineers of the Head Specialized Design Bureau (GSKB) for tracked arable tractors of the Volgograd Tractor Plant and the Head Specialized Design Bureau for engines of average power]. Kharkiv [in Ukrainian].
3. *Tekhnologiya izgotovleniya gilz tsilindrov. Motordetal* [Manufacturing technology cylinder liners]. Retrieved from [https://www.motordetal.ru/news/tehnologiya\\_izgotovleniya\\_gilz\\_tsilindrov](https://www.motordetal.ru/news/tehnologiya_izgotovleniya_gilz_tsilindrov).
4. Vanko, V. M., Prikhodko, O. M. (2017). *Matrychnyi metod provedennia FMEA-analizu yak instrument prohnozuvannia yakosti produktsii* [The matrix method of conducting FMEA-analizu yak the instrument of prediction of the product]. *Measurement Technology and Metrology – Vymiriuvalna tekhnika ta metrologiia*, 78, 80-84 [in Ukrainian].
5. *GOST 8.010-99 Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii. Metodiki vypolneniia izmerenii. Osnovnye polozheniia* [GOST 8.010-99. State system for ensuring uniformity of measurements. Measurement techniques. Main provisions]. Retrieved from <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
6. Manin, Yu. I. (1974). *Lektsii po matematicheskoi logike. Chasti 1 i 2* [Lectures on mathematical logic. Part 1,2]. Moscow – Leningrad: Sov. uch. lit. [in Russian].
7. *FMEA-analysis of the types and consequences of potential failures*, Chrysler Corp., Ford Motor Company, General Motors Corp. Guide 4th edition (2008).
8. *IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*

UDC 658.562:621.983.073

*Volodymyr Vanko, Oleksandr Prykhodko***IMPROVED METHOD OF EVALUATION OF THE QUALITY OF THE CYLINDER MILL FOR THE INTERNAL SEMICONDUCTOR ENGINE IN AGRICULTURAL EQUIPMENT**

**Urgency of the research.** Modern machine-building enterprises are guided by the production of highly competitive products, which must meet all the requirements of quality. One of these types of products is the cylinder sleeve of the internal combustion engine of tractors and combines. Such agrarian technology was widely used since the times of the USSR.

**Target setting.** The main components of the engine are: a cylinder block with a sleeve; head of gas distributing mechanism; engine crankcase; intake and exhaust manifolds; electrical equipment; cooling system. Cylinder sleeve has a simple geometric shape, but she is the most responsible element of the internal combustion engine. The problem is to ensure the quality of production of the cylinder sleeve and to guarantee quality during operation at the consumer.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The chemical composition of the sleeve material, its mechanical properties, as well as the constructive components and conditions of its exploitation are given. At present, there are no known domestic methods. It possibly because producers are protect their intellectual property.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The shortcomings of the current normative base with regard to the problems of assessing the quality of the cylinder sleeve of the internal combustion engine are highlighted.

**The research objective.** The expediency of using the matrix method for assessing the quality of products and services and FMEA-analysis of risks during the process of manufacturing a cylinder sleeve to ensure its high quality are noted. The problem of the study is to improve the quality of these sleeves by minimizing the risks that arise when performing all technological operations of their manufacture.

**The statement of basic materials.** Based on the proposed approach for studying cylinder casings, a developed method for evaluating the quality of these products is described. It contains the following sections: the designation of the method, the choice of method for assessing the quality of the sleeve cylinder, the requirements for the accuracy of the quality of the sleeves, the requirements for the safety of work, requirements for the qualification of specialists, the preparation and implementation of operations of the method, the design results of the method of the cylinder sleeve. Details of each section of the developed method are given in detail. The algorithms of mathematical logic for estimating the quality of cylinder sleeves, the search for causes of deterioration of quality and ways of their overcoming are presented.

**Conclusions.** An example of a questionnaire regarding the processes of casting of cylinder sleeve castings is given.

**Keywords:** system; quality; Quality Score; cylinder sleeve; FMEA-analysis; matrix of quality; reference matrix; quality management.

Fig.: 1. Table: 2. References: 8.

**Ванько Володимир Михайлович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Комп'ютеризовані системи автоматики», Національний університет «Львівська політехніка» (вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна), дійсний член Академії метрології України.

**Vanko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computerized Systems of Automation, Lviv Polytechnic National University (12 Stepan Bandera Str., 79000 Lviv, Ukraine), Full Member of the Academy of Metrology of Ukraine.

**E-mail:** vvm@lp.edu.ua; vvm510@ukr.net

**Приходько Олександр Миколайович** – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна).

**Prykhodko Oleksandr** – PhD student, Lviv Polytechnic National University (12 Stepan Bandera Str., 79000 Lviv, Ukraine).

**E-mail:** a.prihodko1@gmail.com