

УДК 681.518.3:621.771

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-12>

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІЗ ЦИФРОВОЮ ФІЛЬТРАЦІЄЮ ОПТИЧНОГО КОДОІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ

**Суботін Олег Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0002-6095-5840

**Петрухін Ярослав Ігорович,**

аспірант

Донбаської державної машинобудівної академії

ORCID ID: 0009-0002-8208-6225

**Сімкін Олександр Ісакович,**

кандидат технічних наук,

професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0002-9939-7866

Scopus ID: 7006970867

Специфіка металургійного виробництва передбачає значні матеріальні й енергетичні втрати. Встановлено, що основні втрати металу на прокатному стані виникають через високу інерційність фотоелектричних інформаційних каналів виявлення металу, які знижують загальну швидкість інформаційно-вимірної системи прокатного стану. Робота первинних засобів контролю відбувається в умовах сильних оптичних та електромагнітних перешкод, що різко знижує достовірність первинної інформації про стан контролюваного об'єкта. Це призводить до аварійних ситуацій у роботі прокатного стану і, як наслідок, до значних матеріальних збитків через поломку обладнання та втрати металу. Отже, підвищення швидкодії фотоелектричних вимірних перетворювачів і достовірності отримуваної первинної інформації є актуальним завданням. Застосування аналогових інформаційних сигналів у вимірних перетворювачах утруднено наявністю переважно безперервних дестабілізуючих впливів, що обумовлено специфікою теплотехнічного виробництва. Найбільшу перешкодозахищеність дає застосування дискретних сигналів. При цьому кодування інформаційного сигналу дає змогу позбутися випадкових аналогових і частини імпульсних перешкод, що не потрапляють у частотне вікно пропускання, – значно знизити загальну накопичену помилку під час прийому та досягти реальної високої стійкості перешкод розробленого перетворювача. На підставі прийнятого критерію оптимальності структури перетворювача – високої завадостійкості, що забезпечує достовірність і точність контролю в екстремальних умовах (критерій мінімуму помилки), розроблена структура приймача оптичного сигналу, оптимального за запропонованим критерієм. Для реалізації розроблених принципів, методів і засобів підвищення достовірності та швидкодії контролю складено алгоритм роботи дискретного фотоелектричного вимірної перетворювача із цифровою фільтрацією кодоімпульсного оптичного сигналу як елемента інформаційної системи, а також розроблена апаратна реалізація пристрою з дотриманням запропонованих принципів.

**Ключові слова:** контроль, параметр, структура, алгоритм, фотоелектричний вимірний перетворювач, оптичний сигнал, перешкода, оцінка ймовірності, цифровий фільтр, інформаційно-вимірний на система.

**Subotin Oleg, Petrukhin Yaroslav, Simkin Oleksandr. Development and research of a photoelectric measuring converter with digital filtering of optical pulse-code signal**

The specific nature of metallurgical production involves significant material and energy losses. It has been established that the main metal losses at the rolling mill occur due to the high inertia of photoelectric information channels for metal detection, which reduce the overall response time of the information and measuring system of the rolling mill. The operation of primary control means occurs under conditions of strong optical and electromagnetic interference, which sharply reduces the reliability of the primary information on the state of the controlled object. This leads to emergency situations in the operation of the rolling mill and, as a consequence, to significant material losses due to equipment failure and metal losses. Consequently, increasing the response time of photoelectric measuring

*transducers and the reliability of the primary information obtained is an urgent task. The use of analog information signals in measuring transducers is complicated by the presence of predominantly continuous disturbing effects, which is due to the specific nature of heat engineering production. The greatest noise immunity is provided by the use of discrete signals. In this case, encoding of the information signal allows to get rid of random analog and part of the impulse interference that do not fall into the frequency bandwidth window – to significantly reduce the total accumulated error during reception and to achieve real high noise immunity of the developed converter. Based on the adopted criterion of the optimality of the converter structure – high noise immunity, ensuring the reliability and accuracy of control in extreme conditions (criterion of the minimum error), the structure of the optical signal receiver, optimal according to the proposed criterion, was developed. To implement the developed principles, methods and means of increasing the reliability and speed of control, an algorithm for the operation of a discrete photoelectric measuring converter with digital filtration of a code-pulse optical signal as an element of the information system was compiled, and a hardware implementation of the device based on the proposed principles was developed.*

**Key words:** control, parameter, structure, algorithm, photoelectric measuring converter, optical signal, interference, probabilistic estimate, digital filter, information and measuring system.

**Вступ.** Достовірність та оперативність контролю ходу технологічного процесу не тільки прямо впливає на якість продукції, а й забезпечує мінімізацію витрат матеріалів, енергоресурсів і часу. Тому розробка засобів контролю з високою завадостійкістю та швидкодією для систем контролю технологічних параметрів процесу є актуальним завданням з економічної та науково-технічної позицій [1].

Аналіз показує, що втрати металу, наприклад, під час різання прокату становлять 4...5 % від загальної кількості прокатаного металу, що обумовлено інерційністю фотоелектричних вимірювальних каналів виявлення, швидкодія яких дорівнює 0,01...0,05 с. Це дає змогу робити різання з точністю  $\pm 10$  мм тільки за швидкості до 2 м/с. Відповідно до сучасних вимог до інформаційного забезпечення систем контролю технологічних параметрів прокатних станів, обумовлених значним збільшенням швидкостей прокатування (понад 20 м/с) і різки (понад 2,8 м/с), швидкодія засобів первинного контролю повинна бути збільшена до 0,001 с (більш ніж у 10 разів). При цьому точність різки збільшиться до  $\pm 5$  мм, що дасть економію 25...40 тисяч тонн металу на рік на кожному стані за умов номінального завантаження обладнання [2].

До того ж існуючі фотоелектричні вимірювальні перетворювачі аналогового й імпульсного типу в разі роботи в умовах інтенсивних оптичних і електромагнітних завад не відповідають повною мірою вимогам високої перешкодозахищеності та достовірності контрольованої інформації [3]. Це найчастіше призводить до аварійних ситуацій у роботі прокатного стану (забурення, заклинання слябів у виконавчих пристроях, пошкодження устаткування) і, як наслідок, до значних матеріальних втрат.

У більшості випадків підвищення достовірності контролю здійснюється шляхом підвищення потужності сигналу або збільшення довжини імпульсної послідовності, що збільшує енерговитрати і знижує швидкодію контролю [4].

Тому рішення задач підвищення достовірності вимірювальної інформації і швидкодії інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) контролю технологічних параметрів процесів металургійного виробництва шляхом удосконалення та дослідження їх каналів передачі й обробки інформації з метою підвищення ефективності систем контролю і продуктивності процесів виробництва (наприклад, прокатки) є актуальною задачею.

Метою роботи є підвищення ефективності інформаційних систем шляхом розробки, удосконалення та дослідження структурно-алгоритмічних і апаратних засобів контролю й обробки інформації, а також підвищення достовірності та швидкодії їх вимірювальних каналів.

Залучення цифрових методів обробки оптичних інформаційних сигналів для підвищення достовірності контролю технологічних параметрів прокатування і збільшення швидкодії фотоелектричних вимірювальних перетворювачів (ФЕВП) підвищить ефективність інформаційних систем, дасть економію ресурсів і матеріальних коштів, наприклад, завдяки зменшенню відходів металу під час різання прокату [5; 6].

Основна ідея роботи полягає в тому, що для досягнення мети дослідження треба вирішити задачу з розробки структури фотоелектричного вимірювального перетворювача для виявлення об'єкта будь-якого теплового стану в екстремальних умовах прокатного виробництва з високою достовірністю і швидкодією для автоматичного одержання вимірювальної інформації для ІВС.

**Методи та методики дослідження.** Відомо, що обсяг необхідної виробничої інформації визначається технічними задачами контролю об'єктів: наявності, положення, геометричних і габаритних параметрів, швидкості, температури, якості гідрозбивання, реалізація яких здійснюється за допомогою спеціалізованих первинних перетворювачів, заснованих на різноманітних фізичних принципах роботи, що зумовлює їх велику кількість і різноманітність

на технологічній лінії прокатного стана [1; 2]. Застосування аналогових інформаційних сигналів у вимірювальних перетворювачах ускладнено наявністю переважно завад безперервного типу, що обумовлено специфікою теплотехнічного виробництва. У разі застосування одиночних імпульсів енергія переданих сигналів еквівалентна, а в деяких випадках значно менше енергетичних характеристик середі їх розповсюдження [3; 4].

Інформаційна задача виявлення об'єкта контролю вирішується за допомогою теорії статистичних рішень (метод перевірки статистичних гіпотез  $\Gamma$ ) [2]. Приймний пристрій на основі прийнятої реалізації  $y(t)$  визначає, який саме із сигналів у ній міститься ( $S_{a1}$  або  $S_2$ ), а отже, який елемент цифрової послідовності був переданий ( $X_1$  або  $X_2$ ) – двоальтернативне рішення. Для каналу з постійними параметрами й адитивною перешкодою  $n(t)$  в реалізації

$$y(t) = S_i(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq \tau_0 \quad (1)$$

перевіряють статистичні гіпотези  $\Gamma_i$

$$\Gamma_1: X_1(t) = 1, \quad \text{якщо } y(t) > X\eta - \text{«так»},$$

$$\Gamma_2: X_2(t) = 0, \quad \text{якщо } y(t) < X\eta - \text{«ні»}. \quad (2)$$

Через наявність перешкод  $S_i(t)$  може приймати або значення сигналу  $S_1(t)$  з імовірністю  $p(S_1)$ , або значення  $S_2(t)$  з імовірністю  $p(S_2)$ . Вибір гіпотези здійснюється на основі величини  $\Delta$ , що характеризує правдоподібність тієї або іншої гіпотези – відношенні правдоподібності:

$$\Delta = \frac{p(S_1)}{p(S_2)} \exp \left\{ \frac{1}{N_0} \int_0^{\tau_0} [y(t) - S_2(t)]^2 dt - \frac{1}{N_0} \int_0^{\tau_0} [y(t) - S_1(t)]^2 dt \right\}. \quad (3)$$

Вираз  $\Delta$  принципово вирішує задачу оптимального розрізнення двох сигналів за критерієм мінімальної імовірності появи помилки, тому що в цьому виразі функціонально пов'язані всі відомі й невідомі величини:

$$\Delta > 1 - \text{прийнятий сигнал } S_1(t);$$

$$\Delta < 1 - \text{прийнятий сигнал } S_2(t). \quad (4)$$

У практичній реалізації за когерентного оптимального прийому на виході приймача утвориться напруга  $U_x$ , що залежить від енергії прийнятого сигналу  $E$  та спектральної щільності білого шуму  $N_0$ . Ця напруга зрівнюється з граничним  $U_e$ , що визначає мінімальну напругу прийнятого сигналу, і, відповідно до

результату порівняння, автоматично приймається рішення:

$$U_x > U_e - \text{прийнятий сигнал } S_1(t);$$

$$U_x < U_e - \text{прийнятий сигнал } S_2(t). \quad (5)$$

Таким чином, прийнятий критерій оптимальності структури перетворювача – висока перешкодозахищеність, що забезпечує потрібну достовірність контролю в екстремальних умовах (критерій мінімуму помилки).

Отже, треба розробити структуру приймача оптичного сигналу, оптимального за запропонованим критерієм.

**Результати та дискусії.** Комплексний аналіз перетворювачів оптичного типу дав змогу розробити математичну модель дискретного ФЕВП, яка розкриває суть процесів перетворення інформаційного сигналу під час його проходження в електронному тракті перетворювача [7].

На основі моделі дискретного інформаційного каналу розроблено структуру оптимального фотоелектричного вимірювального перетворювача із цифровою фільтрацією кодоімпульсного оптичного сигналу за вказаним критерієм, яка наведена на рис. 1.

На рис. 1 прийняті позначення: ГГІ – генератор тактових імпульсів; ФДК – формувач довжини коду; КС – ключова схема; Ш – шифратор; ПІ – підсилювач імпульсів; В – випромінювач; КО – контрольований об'єкт; ФП – фотоприймач; КПП – компенсаційний граничний пристрій; ПП – проміжний підсилювач; УФ – узгоджений фільтр; КК – компаратор коду; ЦЕГ – цифровий еталонний генератор; ГП – граничний пристрій; РП – рішальний пристрій;  $\{S_{np}\}$  – сигнал, що випромінюється;  $\{S_{bid}\}$  – відбитий сигнал;  $\xi$  – зовнішня перешкода;  $\{S_{bux}\}$  – вихідний сигнал;  $V_0$  – швидкість об'єкта; КРОС – канал розповсюдження оптичних сигналів; ФПП – фотоприймальний пристрій.

Також зроблена апаратна реалізація вимірювального пристрою, відповідні елементи якого вказані в блоках структури на рис. 1.

Діаграми, що пояснюють алгоритм роботи приймача кодоімпульсних сигналів, наведені на рис. 2.

На рис. 2 прийняті позначення:  $U_x(nT)$  – створення кодової послідовності  $\{x\}$ ;  $\xi$  – діюча перешкода в КРОС;  $U_e(nT)$  – напруга на вході ФПП;  $U_{bux}(nT)$  – напруга на виході випромінювача;  $H(nT)$  – імпульсна характеристика фільтра;  $O(nT)$  – формування повідомлення для вихідного пристрою (дисплея);  $U_e$  – граничний сигнал;  $T_0$  – період дискретності.

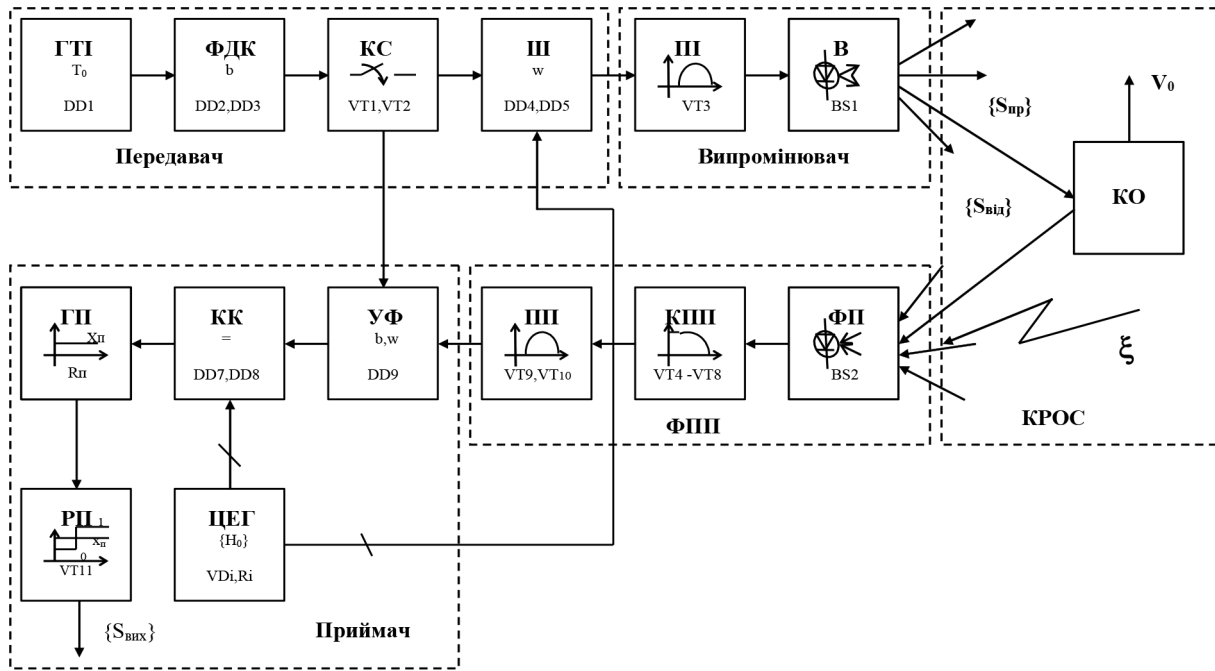


Рис. 1. Структура ФЕВП для виявлення об'єктів з використанням кодоімпульсного оптичного сигналу

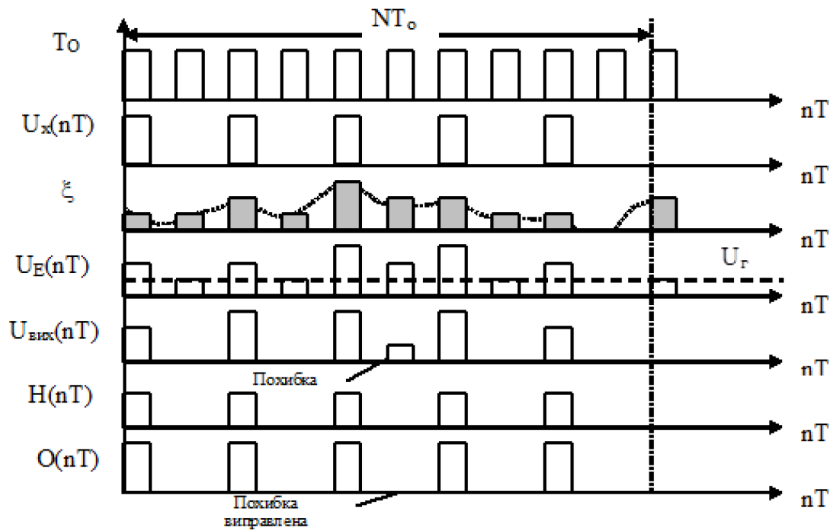


Рис. 2. Діаграма сигналів приймача кодоімпульсних сигналів

Дослідження моделей вимірювальних перетворювачів та інформаційно-вимірювальних систем на їх основі для формування виробничої інформації з контролю об'єктів праці дають змогу побудувати алгоритм роботи кодоімпульсних фотоелектричних вимірювальних перетворювачів [8].

В алгоритмі, який наведений далі, прийняті вже використані в дослідженнях вище позначення.

1. Створення кодової послідовності:

$$U(nT) = \sum_{n=0}^{\infty} X(nT), \quad (6)$$

із середньою потужністю

$$Pu(nT) = \sum_{n=0}^{\infty} U(nT). \quad (7)$$

2. Спотворення сигналу в середі розповсюдження через дію дестабілізуючих чинників різного походження

$$U\xi = \sum_{i=0}^{\infty} \xi_i, \quad (8)$$

із середньою потужністю  $P_{\xi} = \xi_i^2$ .

3. Прийом кодоімпульсної послідовності сигналів:

$$U(nT) = \sum_{n=0}^{\infty} h(nT) + \sum \xi_i(nT) = w + \sum_{i=1}^n \xi_i(nT). \quad (9)$$

4. Обробка прийнятої послідовності:

а) визначення кореляційного інтеграла

$$\eta(x) = \sum_{n=0}^{\infty} U(nT)X(nT); \quad (10)$$

б) визначення питомої енергії послідовності

$$P_E = \sum_{n=0}^{\infty} h^2(nT); \quad (11)$$

в) визначення граничного значення напруги

$$U_e(nT) = 1/2 \cdot \sum h^2(nT) = 1/2 \cdot \sum U(nT), \quad (12)$$

з енергією граничного сигналу  $P_e = 1/2 \cdot P_E$ .

5. Формування повідомлення про результат контролю кодоімпульсного оптичного сигналу:

а) корегування прийнятого повідомлення за заданої імпульсної характеристики приймача

$$H(nT) = \sum_{n=0}^{\infty} h(nT); \quad (13)$$

б) оцінка прийнятого повідомлення

$$U_{\text{вих}}(nT) = \begin{cases} w, & \text{якщо } U > U_e \\ 0, & \text{якщо } U < U_e \end{cases}; \quad (14)$$

в) формування повідомлення для вихідного пристрою (дисплея)

$$O(nT) = \sum U_{\text{вих}}(nT) \cdot K(nT). \quad (15)$$

Отже, завдяки вдосконаленню каналу передачі й обробки інформації вирішується задача підвищення достовірності вимірювальної інформації і швидкодії ІВС контролю технологічних параметрів процесів металургійного виробництва, що має підвищувати ефективність систем контролю та продуктивність технологічних процесів взагалі [9].

**Висновки.** Проведені дослідження мають певне практичне значення, що складається з розробки фотоелектричного вимірювального перетворювача із цифровою фільтрацією оптичного кодоімпульсного сигналу, що дає змогу підвищити якісні показники та реальну перешкодостійкість перетворювача під час роботи в екстремальних умовах прокатного виробництва, а також макета цифрового фотоелектричного перетворювача як первинного елемента ІВС для проведення експериментальних досліджень.

Для реалізації розроблених принципів, методів і засобів підвищення достовірності та швидкодії контролю складено алгоритм роботи дискретного ФЕВП із цифровою фільтрацією кодоімпульсного оптичного сигналу, а також запропонована апаратна реалізація перетворювача, яка заснована на зазначених принципах.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Суботін О. В. Інформаційне забезпечення систем управління прокатних станів. International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. Vol. 2. P. 68–71. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-102>
2. Суботін О. В. Підвищення достовірності контролю технологічних параметрів і швидкодії інформаційно-вимірювальних систем прокатних станів : дис. ... на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : 05.11.16. Донецьк, 2000. 216 с.
3. Суботін О. В., Петрухін Я. І., Сергієнко В. Ю. Особливості керування промисловим обладнанням бездротовим способом на фоні виробничих заводів. International scientific conference "MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. Vol. 2. P. 92–95. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-146>
4. Сус С. П., Суботін О. В. Підвищення надійності роботи оптичних датчиків в умовах інтенсивних оптичних перешкод. Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електроприлад : матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції, 17–19 квітня 2025 року. За заг. ред. О. Ф. Тарасова. Краматорськ – Тернопіль : ДДМА, 2025. С. 226–229. ISBN 978-617-7893-00-3. URL: <http://cit.dgma.dnetsk.ua/materials.html>. paper\_citae\_2025.pdf
5. Суботін О. В., Мінаєнко О. Г., Штода М. М. Інформаційно-вимірювальна система правильної машини для контролю зазора робочих роликів. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2024. № 2. С. 86–91. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-13>
6. Суботін О. В., Петрухін Я. І., Сус С. П. Система центрування смуги на правильно-натяжній машині. Global Trends in the Development of Information Technology and Science: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. June 25–27, 2025. Stockholm, Sweden. С. 43–46. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-25.06.2025>
7. Subotin O. Photoelectric measuring transducers in environmental and objects monitoring systems. In book: Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-

project. O. Subotin, V. Rudenko, A. Cherniavskyi, A. Kovalenko, S. Dobriak. Leuven, 2021. P. 64–85. ISBN 978-94-641-4245-7. URL: <http://dspace.dgma.donetsk.ua:8080/jspui/handle/DSEA/821>

8. Суботін О. В. Розробка ряду модульних структур вимірювальних перетворювачів фотоелектричного типу. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. *Збірник наукових праць*. Вип. № 42. Краматорськ : ДДМА, 2018. С. 80–86.

9. Суботін О. В., Петрухін Я. І. Просектування модулю отримання первинної інформації для систем контролю технологічних параметрів. Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизація та робототехніка 2025: матеріали II Всеукраїнської конференції, Харків, 16–17 травня 2025 р.: тези доповідей. За заг. ред. І. Ш. Невлюдова. Харків : ХНУРЕ, 2025. С. 110–114. URL: <https://tapr.nure.ua/dijalnist-kafedri/naukova-robota/computer-integrated-technologies-automation-and-robotics>

#### REFERENCES:

1. Subotin, O. V. (2023). Informatsiyne zabezpechennya system upravlinnya prokatnykh staniv [Information security of rental management systems]. International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvija: Baltija Publishing. Vol. 2. P. 68–71 [in Ukrainian].

2. Subotin, O. V. (2000). Pidvyshchennya dostovirnosti kontrolyu tekhnolo-hichnykh parametriv i shvydkodiyi informatsiyno-vymiryuvalnykh system pro-katnykh staniv: dys. na здобуття наукового ступеня канд. tekhn. nauk: 05.11.16 [Increasing the reliability of control of technological parameters and the speed of information and measuring systems of rolling mills: dissertation for the degree of candidate of technical sciences: 05.11.16]. Donetsk. 216 p. [in Ukrainian].

3. Subotin, O. V., Petrukhin, Ya. I., & Sergienko, V. Yu. (2024). Osoblyvosti keruvannya promyslovym obladnanyam bezdrotovym sposobom na foni vyrobnychyykh zavad [Features of wireless control of industrial equipment against the background of production interference]. International scientific conference "MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvija : Baltija Publishing. Vol. 2. P. 92–95 [in Ukrainian].

4. Sus, S. P., & Subotin, O. V. (2025). Pidvyshchennya nadiynosti roboty optychnykh datchykyv v umovakh intensyvnykh optychnykh pere-shkod [Increasing the reliability of optical sensors in conditions of intense optical interference]. Modern information technologies, automation equipment and electric drive: materials of the IX All-Ukrainian scientific and practical conference, April 17–19, 2025. Kramatorsk – Ternopil: DSEA. P. 226–229 [in Ukrainian].

5. Subotin, O. V. Minaenko, O. G., & Shtoda, M. M. (2024). Informatsiyno-vymiryuvalna systema pravylnoyi mashyny dlya kontrolyu zazora robochyykh rolykiv [Information and measuring system of a correct machine for controlling the clearance of working rollers]. *Naukovyy Zhurnal Metinvest Politekhniky. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific Journal of Metinvest Polytechnics. Series: Technical Sciences*, 2, 86–91 [in Ukrainian].

6. Subotin, O. V., Petrukhin, Ya. I., & Sus, S. P. (2025). Systema tsentruvannya smuhy na pravylno-natyazhniy mashyni [The system of centering the strip on the correct tensioning machine]. Global Trends in the Development of Information Technology and Science: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. (June 25–27, 2025). Stockholm, Sweden. P. 43–46 [in Ukrainian].

7. Subotin, O., Rudenko, V., Cherniavskyi, A., Kovalenko, A., & Dobriak, S. (2021). [Photoelectric measuring transducers in environmental and objects monitoring systems]. In book: Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-project. P. 64–85.

8. Subotin, O. V. (2018). Rozrobka ryadu modulnykh struktur vymiryuvalnykh peretvoryuvachiv fotoelektrychnoho typu [Development of a number of modular structures of photoelectric measuring converters]. *Nadiynist instrumentu ta optymizatsiya tekhnologichnykh system. Zbirnyk naukovykh prats*, 42, 80–86. Kramatorsk : DDMA [in Ukrainian].

9. Subotin, O. V., & Petrukhin, Y. I. (2025). Proyektuvannya modulyu otrymannya pervynnoyi informatsiyi dlya system kontrolyu tekhnologichnykh parametriv [Designing a module for obtaining primary information for control systems of technological parameters]. Computer-integrated technologies, automation and robotics 2025: materials of the II All-Ukrainian conference. May 16–17, 2025. Kharkiv : NURE. P. 110–114 [in Ukrainian].

Стаття надійшла: 20.08.2025

Стаття прийнята: 15.09.2025

Опублікована: 10.11.2025

