

УДК 681.586

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-13>

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАЗОРА РОБОЧИХ РОЛИКІВ

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

Мінаєнко Олександр Григорович,

магістр кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»
ORCID ID: 0009-0000-4478-7819

Штода Максим Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри металургії, матеріалознавства та організації виробництва
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-3918-2492

У статті з'ясовано, що виправлення смуги з більш товстими центральними ділянками на робочих роликах призводить до збільшення тиску на метал у центрі та подовження центральної частини смуги, утворюються центральні хвилі. Натомість, коли надлишковий тиск докладається до країв смуги, утворюються так звані крайові хвилі. Смуги з таким браком не продаються. Аналіз показав, що в автоматичному режимі контроль та виправлення дефектів смуги не здійснювалися, бо правильна машина (вирівнювач роликів) перебуває у стані динамічної зміни під час операції вирівнювання, протягом якого всі її частини піддаються напругам і деформаціям невизначеної величини та тривалості, вони неконтрольовані та постійно змінюються. Також відсутня можливість організації зворотного зв'язку щодо положення опорного ролика для реалізації системи автоматичного регулювання зазора за довжиною робочого ролика. Немає інформації про стан та індикацію реального положення конкретного опорного ролика, що, з урахуванням людського чинника, може призвести до помилок рахунку або неправильної інтерпретації отриманої інформації та небажаного втручання в технологічний процес. Тому розроблення інформаційно-виміральної системи контролю та вимірювання відхилення опорного ролика з метою стеження оператором за станом зазора по довжині робочого ролика й оперативного втручання в перебіг технологічного процесу для виправлення відхилення залежно від ступеня прогину робочого ролика є актуальним завданням. Основною метою роботи є проектування модуля засобів отримання первинної інформації для інформаційно-виміральної системи правильної машини. Відповідно до мети розроблено модуль засобів одержання виміральної інформації з однотипних (однорідних) первинних перетворювачів для інформаційно-виміральної системи правильної машини. Установлено, що швидкодія та достовірність первинних перетворювачів впливають на ефективність інформаційно-виміральної системи правильної машини та визначають якість листового металу після виправлення. Також розроблено структуру інформаційно-виміральної системи правильної машини для контролю зазора робочих роликів, яка може бути адаптована під конструктивні особливості конкретної правильної машини.

Ключові слова: правильна машина, автоматизація, інформаційно-виміральною системою, швидкодія, достовірність інформації.

Subotin Oleh, Minayenko Oleksandr, Shtoda Maksym. Information and Measuring System of the Straightening Machine for Monitoring the Gap of Work Rolls

The article found that straightening a strip with thicker central sections on work rollers leads to an increase in pressure on the metal in the center and leads to an elongation of the central part of the strip and the formation of central waves. In another case, when excess pressure is applied to the edges of the strip, so-called edge waves are formed. Strips with such defects are not sold. The analysis showed that in the automatic mode, the control and correction of strip defects was not carried out, since the correct machine (roller leveler) is in a state of dynamic change during the leveling operation, during which almost all its parts are subjected to stresses and deformations

of undetermined magnitude and duration, they are not - controlled and constantly changing. There is also no possibility of organizing feedback regarding the position of the support roller for the implementation of the system of automatic adjustment of the gap along the length of the working roller. There is no information about the state and indication of the real position of a specific support roller, which, taking into account the human factor, can lead to calculation errors or misinterpretation of the received information and further unwanted interference in the technological process. Therefore, the development of an information and measurement system for control and measurement of the deflection of the support roller in order to monitor the state of the gap along the length of the working roller and operative intervention in the course of the technological process to correct the deviation depending on the degree of deflection of the working roller is an urgent task. The main goal of the work is to design a module for obtaining primary information for the information and measurement system of the correct machine. Accordingly, a module of means of obtaining measurement information from the same type (homogeneous) primary converters for the information and measurement system of the correct machine was developed. It was established that the speed and reliability of the primary converters affect the efficiency of the information and measurement system of the straightening machine and determine the quality of sheet metal after straightening. The structure of the information-measuring system of the correct machine for controlling the clearance of the working rollers has also been developed, which can be adapted to the design features of a specific correct machine.

Key words: correct machine, automation, information and measurement system, speed, reliability of information.

Автоматичне управління технологічними процесами прокатного виробництва передбачає обов'язкове використання інформації про стан металу. Наявність великої кількості заготовель на об'єктах контролю, необхідність їх ідентифікації, підвищені вимоги до достовірності інформації, складність її отримання та відновлення в разі спотворення становлять специфіку завдання інформаційного забезпечення технологічного процесу. Характерною особливістю тут є не лише необхідність ідентифікації стану об'єкта контролю, а й факт переходу його з одного стану в інший. Також постає необхідність обліку роботи локальних систем управління з ініціативними джерелами інформації, для яких неприпустима затримка або втрата інформації, оскільки це призводить до відмов у роботі системи управління, що веде до значних матеріальних втрат через аварійні ситуації або виникнення браку [1].

Наприклад, основною проблемою виправлення смугового (листового) металу на правильній машині (роликовому вирівнювачі) є кривизна металу, яка є по всій довжині смуги і може мати різне значення в різних точках. Це призводить до появи браку під час виправлення та знижує якість смуги. Максимальне значення кривизна може мати на початку та в кінці смуги, які зазвичай відрізаються. Щоб видалити кривизну по довжині смуги таких дій не досить, уводять компенсуювальні вигини по довжині робочих роликів під час виправлення шляхом зміни положення відповідних опорних роликів, розподілених по довжині робочого ролика. Такі компенсуювальні впливи можуть призвести до збільшення або зменшення тиску на смугу на конкретній ділянці валка.

Відомо, що виправлення смуги з більш товстими центральними ділянками на робочих

роликах призводить до збільшення тиску на метал у центрі та подовження центральної частини смуги. Подовжена центральна частина смуги компенсує це подовження, вигинаючись вгору або вниз. Утворюються центральні хвилі. Коли ж надлишковий тиск докладається до країв смуги, утворюються так звані крайові хвилі. Смуги з таким браком не продаються.

Роликовий вирівнювач може бути забезпечений механізмами для безперервного визначення та вимірювання відхилення робочого ролика для виправлення цього відхилення залежно від ступеня прогину. Сенсорні механізми зазвичай встановлені на конструкції, яка ізольована від сил відхилення, що діють на роликах, і може містити механічні, електромеханічні, електричні або лазерні пристрої [2]. Для виправлення прогину конструкції також передбачені опорні (підтримувальні) ролики.

Функціональна схема установки для виправлення листового металу наведена на рис. 1. На рисунку позначені: 1 – карданна передача від електроприводу машини до робочих валків; 2 – опорні валки; 3 – робочі валки; 4 – робочі гідроциліндри.

Однак не поодинокі випадки, коли смуга після виправлення має більше дефектів, ніж до того. Саме тому оператор має постійно контролювати технологічний процес і коригувати роботу роликів вирівнювача під час усього проходу смуги через нього. Це робиться шляхом маніпулювання положенням опорних роликів залежно від ступеня прогину робочого ролика.

Отже, маніпуляцією опорними роликами за допомогою гвинтових механічних домкратів, гідравлічних циліндрів, клинів і багатьох інших механічних пристроїв відносно положення вильотів опорних роликів може бути скориговано в межах робочого ролика. Досвідчений

оператор за видом дефекту може маніпулюванням положенням опорних роликів, зміщенням їх вгору або вниз, зігнути робочі ролики так, щоб видалити центральну або крайову хвилю. Від оператора, його досвіду залежить точність налаштування, отже, якість готового продукту.

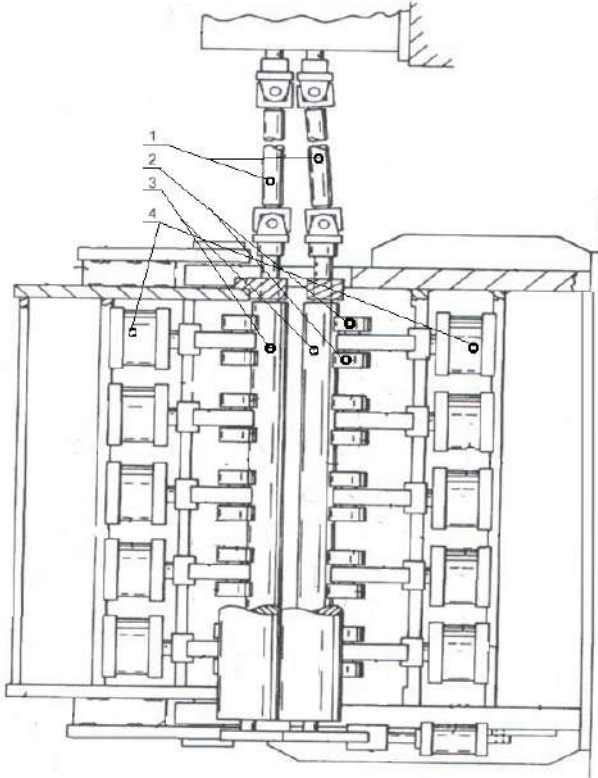


Рис. 1. Функціональна схема машини для виправлення листового металу

Аналіз показав, що в автоматичному режимі контроль та виправлення дефектів смуги не здійснювалися, бо правильна машина (вирівнювач роликів) перебуває у стані динамічної зміни під час операції вирівнювання, протягом якого практично всі її частини піддаються напругам та деформаціям невизначеної величини та тривалості, вони неконтрольовані та постійно змінюються. Також відсутня можливість організації зворотного зв'язку щодо положення опорного ролика для реалізації системи автоматичного регулювання зазора по довжині робочого ролика. Немає інформації про стан та індикацію реального положення конкретного опорного ролика, що, з урахуванням людського чинника, може призвести до помилок рахунку або неправильної інтерпретації отриманої інформації та небажаного втручання в технологічний процес.

Єдиний спосіб отримати якісний кінцевий продукт – ручне коригування положення опорних роликів оператором суто на підставі показань

індикаторів відхилення ролика залежно від ступеня прогину. Тому до якості та достовірності такої первинної інформації висуваються високі вимоги.

Відомо, що керований зазор може підтримуватись декількома різними способами. Найбільш актуальним є застосування регулювальних пристроїв, наприклад гідравлічних циліндрів для кожного опорного (резервного) ролика. Це дозволить окремо регулювати кожну точку контакту на робочому ролику. Також кожне із цих налаштувань може бути відкаліброване та запрограмоване на підтримку ролика в будь-якому бажаному положенні.

Схема налаштування зазора робочих роликів правильної машини за допомогою гідравлічних циліндрів наведена на рис. 2. На рисунку позначені: 1 – опорні валки; 2 – робочі валки; 3 – гідроциліндр; 4 – схема регулювання.

Наприклад, коли смуга обробляється із крайовими хвилями, центри верхнього та нижнього робочих роликів можуть бути зрушені всередину гідравлічними циліндрами за сигналом керівника від системи управління. Це збільшить напругу та розтягне центр смуги, коли вона проходить через вирівнювач. Як тільки цей необхідний зазор буде визначено та встановлено, система автоматично підтримуватиме його до втручання оператора. Аналогічним чином, коли смуга має більш тонкий центр, центри верхнього та нижнього робочих валків можуть бути зсунуті назовні гідравлічними циліндрами. Це зменшить напругу в центрі та розтягне краї смуги.

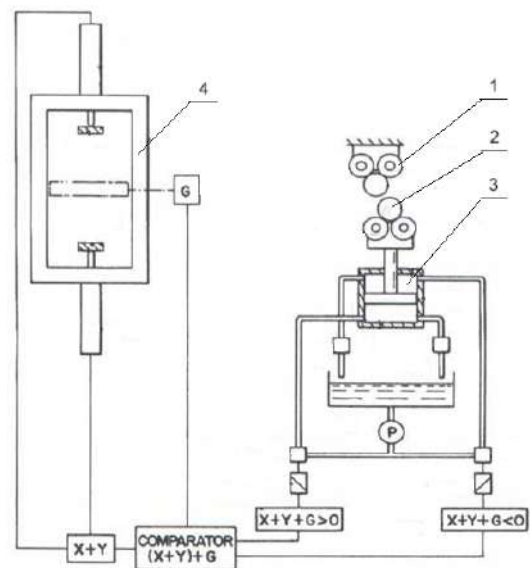


Рис. 2. Схема налаштування зазора робочих роликів правильної машини за допомогою гідравлічних циліндрів

Водночас відсутні датчики положення опорних роликів, існує можливість встановлення положення (висоти) опорних роликів тільки у визначеній послідовності та з постійним кроком, ускладнюється процес за роздільного налаштування висоти роликів. Оскільки кількість таких налаштувань дорівнюватиме кількості регульовальних пристроїв (або опорних роликів), то контроль та індикація їх в автоматичному режимі просто необхідні [1; 2].

Однією з функцій системи керування правильною машиною (роликовим вирівнювачем) є автоматичне завдання проміжків шляхом управління гідравлічними циліндрами відповідно до фактичного (виміряного) значення прогину робочого ролика.

Тому розроблення інформаційно-вимірювальної системи (далі – ІВС) контролю та вимірювання відхилення опорного ролика з метою стеження оператором за станом зазора по довжині робочого ролика й оперативного втручання в перебіг технологічного процесу для виправлення відхилення залежно від ступеня прогину робочого ролика є актуальним завданням.

Основною метою роботи є проектування модуля засобів отримання первинної інформації для інформаційно-вимірювальної системи правильної машини [3].

Розглянемо можливу структуру інформаційно-вимірювальної системи правильної машини контролю зазора робочих роликів, що показана на рис. 3. На рисунку позначені: СУ ПМ – система управління правильною машиною; ГЦ – гідравлічний циліндр; СС – схема сполучення; ОП – обчислювальний пристрій; ОДО – оперативне диспетчерське обладнання; ЦАП, АЦП – перетворювачі цифро-аналогові й аналого-цифрові; ОУ – об’єкт управління. Така структура може бути легко налаштована під конструктивні особливості конкретної правильної машини (роликового вирівнювача) [4].

Первинна інформація про величину зазорів і положення опорних роликів надходить від існуючих у системі датчиків, а їх зміна фіксується інформаційною системою побічно, за сигналами управління гідравлічними циліндрами X_i , що надходять від системи управління на кожну пару відповідних опорних роликів. Кожен сигнал керування циліндром відповідає переміщенню ролика на фіксовану величину вгору або вниз, що інтерпретується системою автоматично.

Первинна інформація про величину зазорів і положення опорних роликів надходить від наявних у системі датчиків, а їх зміна фіксується інформаційною системою побічно, за сигналами управління гідравлічними циліндрами X_i ,

що надходять від системи управління на кожну пару відповідних опорних роликів. Кожен сигнал керування циліндром відповідає переміщенню ролика на фіксовану величину вгору або вниз, що інтерпретується системою автоматично.

Ядром системи є обчислювальний пристрій (далі – ОП) (мікропроцесорний блок), де зберігається інформація про марки сталі кожної смуги та її товщину, про кінцеві розміри металу після правки, про початкове положення роликів та їхню кількість, про послідовність рахунку тощо. Інформація про величину зазора в кожній точці робочого ролика передається диспетчеру (далі – ОДО), на відповідні виконавчі механізми, об’єкти управління (далі – ОУ) або систему управління машиною (далі – СУПМ).

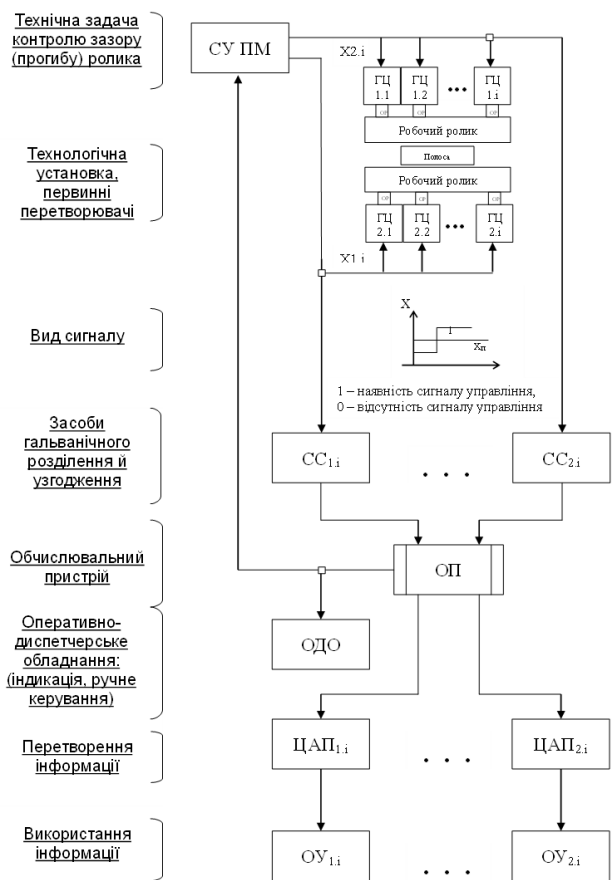


Рис. 3. Структура інформаційно-вимірювальної системи контролю зазора робочих роликів

Поряд з інформацією про зазори, встановлені за допомогою гідравлічних циліндрів (далі – ГЦ), кожній миті інформаційно-вимірювальна система має інформацію про фактичний стан прогину, положення смуги щодо роликів, тощо. Це дозволяє сформувати оператору уявлення про перебіг процесу правки металу й оцінити якість вихідної продукції.

Інформаційна частина системи забезпечує передачу з кожною новою смугою в систему управління правильної машини всієї вхідної інформації, необхідної для визначення початкових настанов для подальшого виправлення смуги.

У розробленні інформаційно-виміральної системи контролю технологічних параметрів правильної машини варто врахувати низку особливостей.

Головними специфічними особливостями ІВС правильної машини є те, що об'єкт розосереджений і технологічні параметри, що підлягають контролю, мають неелектричну природу. Обмін інформацією з об'єктом здійснюється через перетворювачі різного функціонального призначення та відповідне кабельне господарство. На такому об'єкті встановлюється велика кількість первинних перетворювачів фізичних величин на електричні сигнали. Тому до складу ІВС мають входити апаратні та програмні засоби перетворення інформації, що дозволяють отримувати її в заданих фізичних величинах. Точність, швидкість і достовірність одержуваної інформації визначаються переважно точністю цих перетворювачів [2]. Обсяги інформації, які підлягають первинній обробці, досить великі через велику кількість каналів і значну швидкість зміни значень контрольованих параметрів. До складу ІВС входить також обладнання для здійснення керівних впливів на об'єкт, як-от автоматичне підстроювання положення опорних роликів. Це обладнання керується електричними сигналами (аналоговими чи дискретними).

Оскільки збої в технологічному процесі прокатного виробництва пов'язані зі значними матеріальними витратами, до ІВС висуваються підвищені вимоги щодо її безвідмовності під час роботи правильної машини. Також треба унеможливити цілковиту втрату виміральної інформації в разі відмови складових частин ІВС. Щодо впливів, що видаються на об'єкт, передбачаються заходи для запобігання аваріям у разі відмови системи.

Отже, для організації контролю та керування правильною машиною потрібні значні обчислювальні засоби, пов'язані з отриманням, обробленням, зберіганням і передаванням виміральної інформації. Використання обчислювального пристрою (контролера) в управлінні технологічним процесом вирішує проблему [3].

Функції, що виконуються виміральною частиною ІВС контролю технологічних

параметрів правильної машини, полягають у збиранні та функціональному обробленні первинної інформації від однотипних і розділених на групи первинних вимірвальних перетворювачів (далі – ВП). Число каналів, яке може обслужити один вимірвальний модуль у складі ІВС, визначається можливостями сучасної елементної бази і зазвичай не перевищує ста. Наявність процесора у складі системи визначає програмне виконання функціональної обробки інформації – визначення розрахунковим чи табличним методом фізичних значень вимірюваних величин за отриманими кодованими значеннями електричних сигналів. Отже, завданням засобів отримання інформації в ІВС є забезпечення необхідної кількості таких значень із необхідною швидкістю та достовірністю.

Розглянемо варіант реалізації модуля засобів отримання первинної інформації [4].

Найбільш поширеним є прямий спосіб оброблення первинної інформації з датчиків. Варіант структури, що реалізує такий спосіб, представлений на рис. 4. Він призначений для оброблення первинної виміральної інформації з датчиків різного функціонального призначення, які контролюють неоднорідні технологічні операції. На рисунку позначені: ВП – вимірвальний перетворювач, К1 – первинний комутатор, К2 – вторинний комутатор, ДЗС – джерело зразкових сигналів, ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; СС – схема сполучення.

Прикладом може бути система контролю величини прогину робочого ролика правильної машини. Первинні перетворювачі можуть бути розосереджені об'єктом – розподілені по довжині робочого валка по 5–7 пар відповідно до кількості опорних роликів.

Очевидно, що структура є «лінійною» та визначає значні апаратні витрати на один вимірвальний канал. Це зумовлює зниження точності перетворення інформації у виміральному тракці, зменшення швидкодії через втрату часу на опитування різних за швидкістю вимірвальних перетворювачів (швидкість модуля визначається найповільнішим каналом).

Однак ця схема дуже доступна для аналізу, бо весь інформаційний канал окремого інформаційного пристрою досить легко виділити та протестувати без застосування обчислювальних засобів інформаційної системи. Навіть більше, дана схема дозволяє організувати опитування вимірвальних перетворювачів різного типу, з різним видом і рівнем вихідного

сигналу, бо на кожен перетворювач передбачається узгоджувальний пристрій (СС). Перший селективний комутатор (К1) дозволяє розділити аналогові та дискретні канали для подальшого (роздільного) перетворення та корекції вимірювального тракту у вторинному комутаторі (К2) завдяки підключенню джерела зразкових сигналів (ДЗС).

Установлено, що кваліфікація оператора визначає точність налаштування зазора робочих валків, отже, якість листового металу після редагування.

Розроблено модуль засобів одержання вимірювальної інформації з однотипних (однорідних) первинних перетворювачів для ІВС правильної машини.

Встановлено, що швидкодія та достовірність первинних перетворювачів впливають на ефективність ІВС правильної машини та визначають якість листового металу після виправлення.

Розроблено структуру інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) правильної машини для контролю зазора робочих роликів, яка може бути адаптована під конструктивні особливості конкретної правильної машини (роликівого вирівнювача).

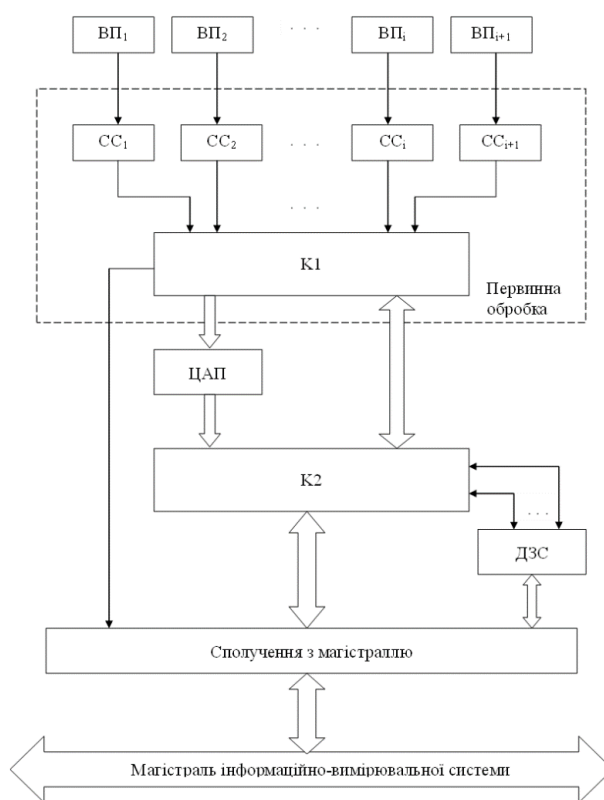


Рис. 4. Лінійна структура вимірювальної частини ІВС

ЛІТЕРАТУРА:

1. Subotin O.V. 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, Latvia : Baltija Publishing, 2023. Vol. 2. P. 68–71.
2. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах : підручник для студентів вузів, які навчаються за спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництва» / П.М. Таланчук та ін. Київ : Райдуга, 1994. 672 с.
3. Automated Melt Temperature Control System I–n Induction Furnace / Oleksii Razzhivin et al. 4th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine 20–22 October, 2022. P. 535–538.
4. Суботін О.В. Розробка ряду модульних структур вимірювальних перетворювачів фотоелектричного типу. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : збірник наукових праць. Краматорськ : ДДМА, 2018. № 42. С. 80–86.

REFERENCES:

1. Subotin, O.V. (2023). 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, Latvia : Baltija Publishing. Vol. 2. Pp. 68–71.
2. Talanchuk, P.M., Skripnik, Y.O., Dubrovny, V.O. (1994). *Zasoby vymiryuvannya v avtomatychnykh ta keruyuchykh systemakh.*: Pidruchn. dlya studentiv vuziv, yaki navchayutsya zi spets. "Avtomatyzatsiya tennolohichnykh protsesiv i vyrobnytstv" [Measuring instruments in automatic and control systems: A textbook for university students who are trained in the specialty "Automation of technological processes and production"]. K.: Raduha. 672 s. [in Ukrainian].
3. Razzhivin, Oleksii, Markov, Oleg, Subotin, Oleg (2022). Automated Melt Temperature Control System in Induction Furnace. 4th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine 20–22 October, 2022. Pp. 535–538.
4. Subotin, O.V. (2018). Rozrobka ryadu modulnykh struktur vymiryvalnykh peretvoryuvachiv fotoelektrychnoho typu [Development of a number of modular structures of photoelectric measuring converters]. *Nadiynist instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system*: zbirnyk naukovykh prats. Kramatorsk: DDMA. № 42. P. 80–86 [in Ukrainian].