

DOI: 10.34185/1991-7848.2023.01.04

УДК 681.532.1, 62-531.1

М.Д. Зінченко, О.Ю. Потап, В.І. Шибакінський

**ЗАСТОСУВАННЯ НЕПРЯМИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ  
ЗМІНЕННЯ ТОВЩИНИ ПРОКАТУ ВНАСЛІДОК  
ВПЛИВУ ЗНОШЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ**

*Анотація.* На розміри прокату впливають різні чинники, які призводять до коливань товщини і довжини прокату і появи штанг нормальної довжини при порізці на пилах, тому питання підвищення точності розмірів прокату є завжди актуальними. Пристрої вимірювання товщини фасонних профілів прокату складної форми поперечного перерізу є складні комп'ютерні комплекси, які мають високу вартість. Метою дослідження є вивчення можливості контролю розмірів прокату з застосуванням непрямих методів оцінки змінення товщини прокату. Для цього виконали дослідження вимірювання довжини розкатів з застосуванням вимірювача довжини прокату, в основі якого полягає принцип вимірювання довжини прокату по обертах валків. Дослідження роботи вимірювача показали, що застосування мікроконтролера для обробки результатів вимірювання дозволяє підвищити точність вимірювання довжини розкату. Це відбувається урахуванням пробуксування валків відносно прокату при захваті металу і усередненні кількості імпульсів, яка припадає на базову відстань фотодатчиків. Порівняння результатів вимірювання з фактичною довжиною прокату підтвердили можливість застосування цього приладу для вимірювання довжини прокату в потоці. При дослідженні процесу прокатки вимірювалась довжина розкатів після чистої кліти, температура розкатів перед чистою кліттю, струм двигуна головного привода чистої кліт, товщина прокату. Результати вимірювань показали наявність низькочастотної складової цих параметрів, яка пов'язана зі зношенням підшипників і калібрів валків, що призводить до збільшення товщини прокату. Зношення підшипників не є стаціонарним процесом, тому компенсація впливу зношення на розміри прокату повинна виконуватись за результатами вимірювання, а не випадково, або в функції часу. Обчислення середніх значень довжини прокату, струму двигуна і температури прокату дозволяє виконувати оцінку змінення товщини прокату внаслідок

---

© Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Шибакінський В.І., 2023

зношення підшипників і калібрів валків і своєчасно компенсувати його вплив на розміри прокату.

**Ключові слова:** товщина прокату, вимірювач довжини прокату, довжина прокату, температура, струм двигуна, зношення підшипників і калібрів валків.

### **Постановка проблеми і ціль дослідження**

Фасонні профілі мають складну форму поперечного перерізу, товщина різних елементів профілю відрізняється і вимірювання розмірів є складним завданням. Існують лазерні вимірювачі розмірів поперечного перерізу, але це складні комп'ютерні системи, яка мають високу вартість [1]. Проте дослідження показують, що для контролю змінення висотних розмірів прокату можна застосувати непрямі методи вимірювання, наприклад, оцінювати змінення висотних розмірів по зміненню довжини прокату, температури прокату і струму двигуна прокатної кліті. Ці параметри можна досить легко вимірювати теперішніми датчиками.

В цей час найбільш перспективними є лазерні вимірювачі швидкості руху розкату і, відповідно, довжини розкату, що забезпечують високу точність вимірювання [2]. Проте, їх основним недоліком є висока вартість і обмеження при роботі в умовах гарячої прокатки. В той самий час застосування мікропроцесорних контролерів, що забезпечують необхідні обчислювальні процедури, дозволяє створити задовільні за точністю та вартістю вимірювачі довжини розкату.

Метою роботи є дослідження процесу прокатки з застосуванням вимірювача довжини прокату, який реалізує принцип вимірювання довжини розкату по обертах валка [3], але виготовлений з застосуванням мікропроцесорної техніки.

### **Матеріали і результати досліджень**

Для контролю довжини розкату в потоці був розроблений, виготовлений і випробуваний на стані 550 ВАТ "ДМЗ ім.Петровського» вимірювач довжини розкатів, в основі якого положений спосіб вимірювання довжини розкату по обертах валків [3], число яких визначається кількістю імпульсів, які формуються генератором імпульсів при обертанні прокатних валків.

Довжина розкату, яка вимірюється даним вимірювачем, визначається за таким виразом:

$$L_1 = N_1 \frac{L_6}{N_6}, \quad (1)$$

де  $N_1$  - кількість імпульсів, що відповідає довжині розкату,  $L_6$  - базова відстань між фотодатчиками,  $N_6$  - кількість імпульсів, яка припадає на базову відстань.

Блок-схема пристрою вимірювача довжини розкату наведена на рис.1.

Такий вимірювач складається з фотодатчиків наявності розкату, які були встановлені за чистовою кліттю стана на базовій відстані 6,0 м один від одного. На вал двигуна чистової кліті був встановлений датчик імпульсів, які видавав 90 імпульсів на один оберт валка. Сигнали з фотодатчиків і датчика імпульсів були заведені на мікроконтролер, результати обчислень виводились на цифровий індикатор.

У момент виходу розкату з кліті з'являється сигнал на виході фотодатчика ФД0, який надходить на вхід мікроконтролера, перший лічильник якого здійснює підрахунок загальної кількості імпульсів  $N_1$ , що припадають на довжину всього розкату, другий лічильник здійснює підрахунок кількості імпульсів  $N_6$ , що припадають на базову довжину  $L_6$ . У момент приходу переднього кінця розкату в поле зору другого фотодатчика наявності металу ФД1 на його виході з'являється сигнал і запам'ятовується число імпульсів  $N_6$ , що рахує другий лічильник, і яке припадає на базову довжину  $L_6$ , в той час як перший лічильник продовжує рахунок імпульсів.

Після виходу розкату з кліті на виході фотодатчика ФД0 сигнал зникає і перший лічильник запам'ятовує число імпульсів  $N_1$ , що припадає на довжину готового розкату. Після чого мікроконтролер розраховує довжину розкату по виразу (1) і виводить її на цифровий індикатор або дисплей обслуговуючого персоналу.

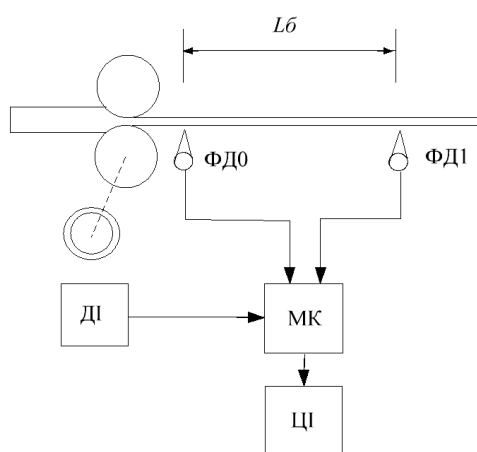


Рисунок 1 – Блок-схема пристрою вимірювання довжини розкату:  
 ДІ - датчик імпульсів, який вимірює оберти валків;  
 ФД0, ФД1 – фотодатчики наявності розкату; МК – мікроконтролер;  
 ЦІ – цифровий індикатор;  $L_b$  – базова відстань між фотодатчиками наявності металу

Були виконані експериментальні дослідження при прокатці швелера 12 на стані 550, за результатами яких отримані реалізації довжини розкату  $L$ , кількості імпульсів  $N_1$  та кількості імпульсів  $N_b$ , наведені на рис.2. Середні значення цих параметрів, дисперсії та середньоквадратичні відхилення наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень довжини прокату

Параметр	Матем. сподівання, м	Дисперсія, м <sup>2</sup>	Середнеквадр. відхилення, м
$L$ , м	48,186	24,009	4,899
$N_1$ , імп.	2599	69147	263
$N_b$ , імп.	324	3,488	1,867

Довжина розкату, згідно (1), визначається кількістю імпульсів  $N_1$  і  $N_b$ . Очевидно, що точність довжини розкату буде визначатися точністю вимірювання цих параметрів.

Вимірювання довжини прокату по обертах валків мають один недолік, який пов'язаний з пробуксовуванням валків відносно полоси при захваті розката валками. Це призведе до того, що розрахована довжина розкату

за вимірюваної кількості імпульсів  $N_1$  буде відрізнятися від фактичної і це особливо впливає на підрахунок імпульсів, які припадають на базову довжину  $N_0$ .

Коливання кількості імпульсів, яка припадає на всю довжину розкату, спричинені як коливаннями довжини розкату, яка поступає в чистову кліть, так і процесами деформації і прокатки в чистовий кліті і складають  $\pm 789$  імпульсів або 30,36%.

Коливання кількості імпульсів, яка припадає на базову довжину, складають  $\pm 5,6$  імпульсів або 1,73% і спричинені як коливаннями випередження, які незначні, так і пробуксовуваннями валка відносно прокату при захваті метала валками, які можуть приводити до випадкових змінень кількості імпульсів для базової довжини  $N_0$ .

Якщо відбудеться збій у визначенні кількості імпульсів, що припадають на базову довжину, наприклад, на 10 імпульсів, і кількість імпульсів  $N_0$  буде дорівнювати 334, то загальна кількість імпульсів, що припадають на всю довжину розкату, також збільшиться на 10 імпульсів і становитиме 2609 імпульсів. У відсотках це збільшення кількості імпульсів становитиме для базової довжини – 3,08 %, для всієї довжини розкату – 0,38 %.

Якщо розрахунок довжини розкату виконувати з отриманими значеннями  $N_0 = 334$  і  $N_1 = 2609$ , то похибка у визначенні довжини розкату складе 1,27 м або 2,62 %, а якщо при розрахунку довжини розкату залишити середнє значення  $N_0 = 324$ , то похибка складе 0,18 м або 0,38%, і буде визначатись тільки похибкою в визначенні загальної кількості імпульсів.

Для усунення цих збоїв щодо розрахунку довжини розкату використано поточне середнє базової кількості імпульсів і обмеження на величину максимально можливого відхилення цієї величини від середнього значення. Якщо воно перевищувало цей діапазон, воно не враховувалося щодо середнього значення.

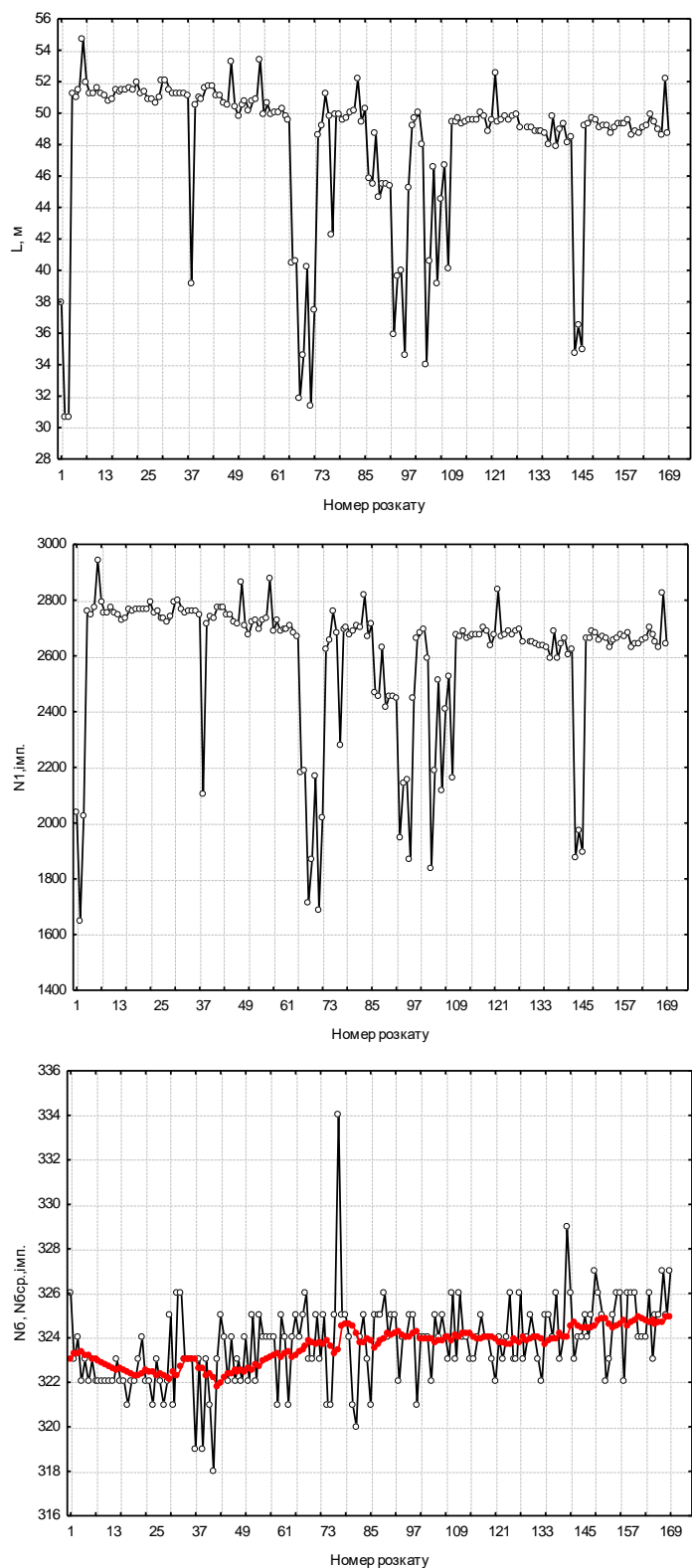


Рисунок 2 – Реалізації довжини розкату, кількості імпульсів з датчика довжини розкату

Для визначення правдивості вимірювань даним пристроєм були виконані експериментальні дослідження, в яких фактична довжина розкату порівнювалась з довжиною розкату по показаннях пристрою. Вимірювання фактичної довжини розката при прокатці здійснювалось наступним чином. Була виконана розмітка розкатного поля через кожні 100 мм починаючи від осі чистової кліті. При прокатці візуально фіксувалося положення переднього  $S_{нк}$  та заднього  $S_{зк}$  кінців розкату щодо нанесеної на розкатне поле розмітки після його виходу з чистової кліті і перед порізкою на пилах гарячого різання.

Далі визначалася довжина розкату за виразом:

$$L_p = S_{нк} - S_{зк} \quad (2)$$

Дана довжина є фактичною довжиною розкату. Одночасно зчитувалися показання з дисплея вимірювача довжини розкату.

На рис.3 наведена залежність довжини, виміряної цим пристроєм, від фактичної довжини, виміряної по розмітці на розкатному полі.

Рівняння регресії, що описує цю залежність, має вигляд

$$L_{изм} = 3,89 + 0,921L_{факт} \quad (3)$$

коефіцієнт кореляції складає 0,99, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, математичне сподівання довжини розкату наведені в таблиці 2.

Точність вимірювання визначається як  $\pm 3\sigma_{зал}$  і становить  $\pm 0,612$  м або  $\pm 1,23\%$ .

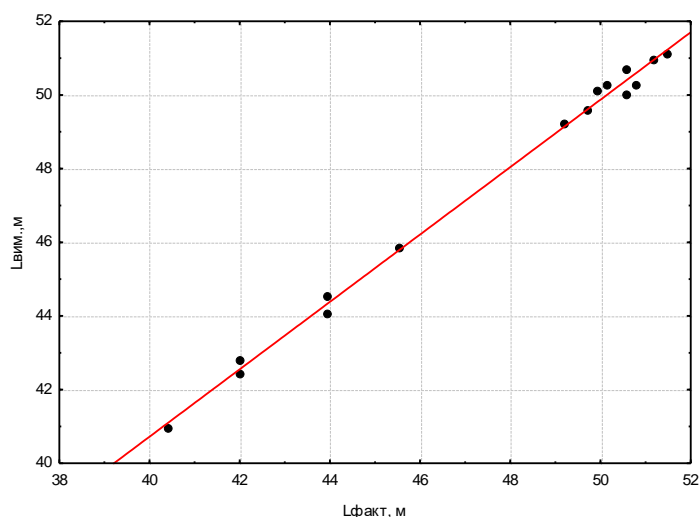


Рисунок 3 – Залежність показань вимірювача довжини розкату від фактичної довжини розкату

Таблиця 2

Порівняння показань довжини розкату, виміряної за допомогою вимірювача довжини, і виміряної вручну

Спосіб вимірювання	Матем. сподівання, м	Дисперсія, м <sup>2</sup>	Середньо-квадрат. відхилення, м	Залишкові		Коефіцієнт кореляції
				Дисперсія, м <sup>2</sup>	Середн.квад.відхилення $\sigma_{зал}$ , м	
Вимірювач довжини	48,86	10,66	3,26	0,0424	0,206	0,99
Фактична довжина	48,90	8,87	2,98			

Виконали експериментальні дослідження змінення довжини розкату в чистовій кліті стана 550 упродовж прокатки 169 розкатів, реалізація довжини розкату наведена на рис.2. Реалізація довжини прокату в залежності від кількості прокатаних розкатів показує на поступове зменшення довжини розкату. Це може бути викликане як змінням температури розкату, так і зношенням валків і підшипників, що призводить до збільшення міжвалкового зазору, збільшення товщини розкату і зменшення довжини розкату. Якщо швидкість прокатки складає приблизно 3 м/с, довжина розката 50 м, то час прокатки вказаної кількості розкатів складає десь 85-90 хвилин і за цей час текстолітові підшипники валків можуть бути зношені.

На рис. 4 наведені реалізації температури розкатів і струму двигуна головного привода чистової кліті. На реалізації температури можна виділити низькочастотну і високочастотну складові змінення температури. Низькочастотна складова обумовлена роботою нагрівальної печі, високочастотна складова змінення температури викликана затримками розкатів на розкатному полі. Якщо розглянути залежності довжини розкату від температури (рис.5), то вона описується лінійним рівнянням регресії і досить високим коефіцієнтом кореляції 0,8 (таблиця 3, рівняння 5). З підвищенням температури розката довжина розкатів збільшується і це обумовлено зниженням сили прокатки, пружної деформації чистової кліті і зменшенням товщини розката.



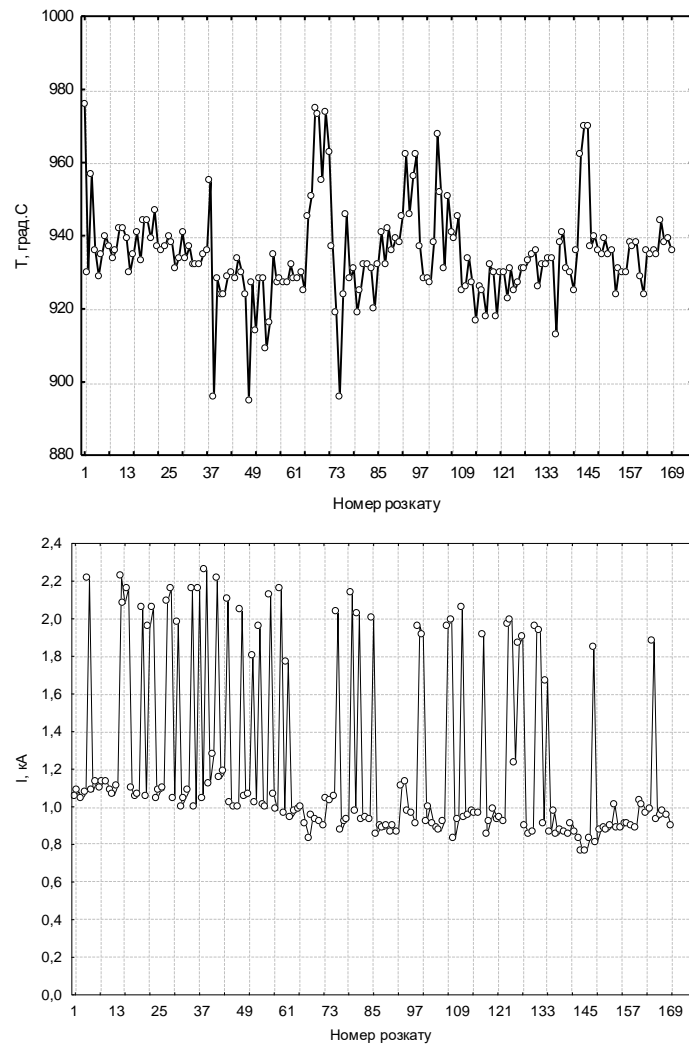


Рисунок 4 – Реалізації температури розкатів і струму двигуна головного привода чистовой кліті

На рис.6 наведено залежність довжини прокату від товщини розкату, яка показує, що зменшення товщини прокату призводить до збільшення довжини розкату, що цілком відповідає закону постійності об'єму при деформації (таблиця 3, рівняння 6).

Це підтверджується також реалізаціями струму двигуна головного привода, що характеризують навантаження на двигун та опосередковано силу прокатки, та пружну деформацію кліті. Залежність струму двигуна головного привода від температури наведена на рис. 7. рівняння регресії 7 в таблиці 3.

Таблиця 3

Рівняння регресії і коефіцієнти кореляції

№ рівняння	Рівняння	Коефіцієнт кореляції
5	$L = 1,88 + 0,052T$	$R = 0,8$
6	$L = 79,98 - 5,13H_1$	$R = -0,91$
7	$I = 4,33 - 0,0037T$	$R = -0,65$
8	$T = 1025 - 1,81L$	$R = -0,84$

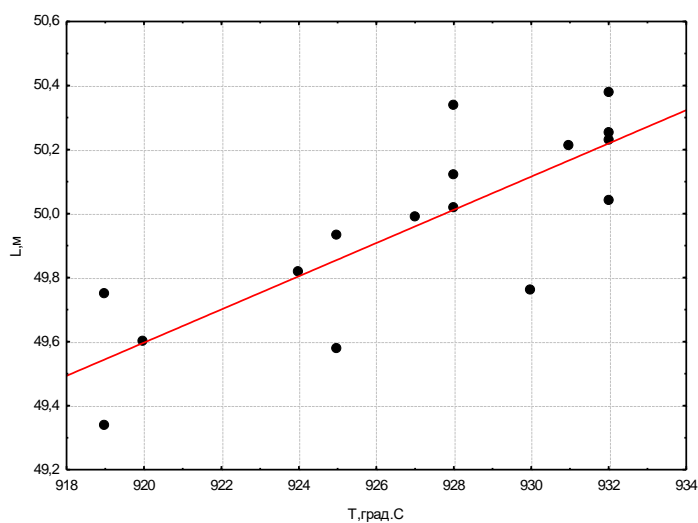


Рисунок 5 – Залежність довжини розката від температури розката

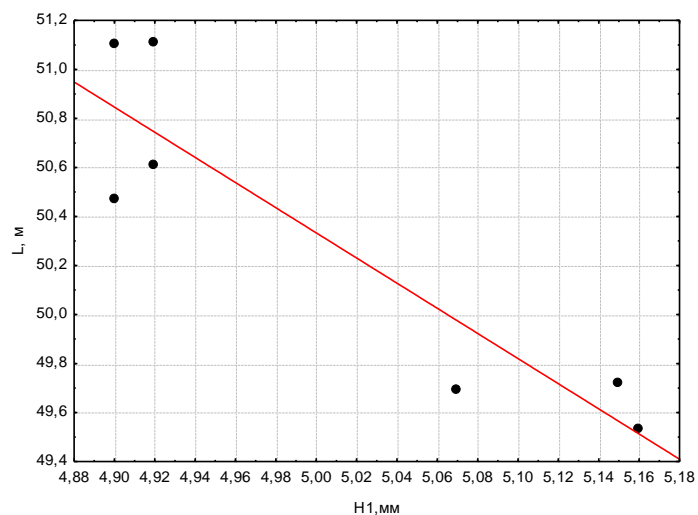


Рисунок 6 – Залежність довжини розката від товщини розката

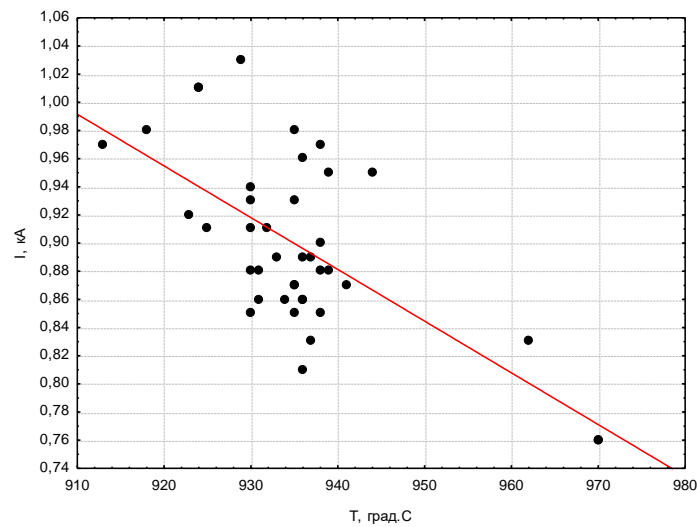


Рисунок 7 – Залежність струму від температури розкатів

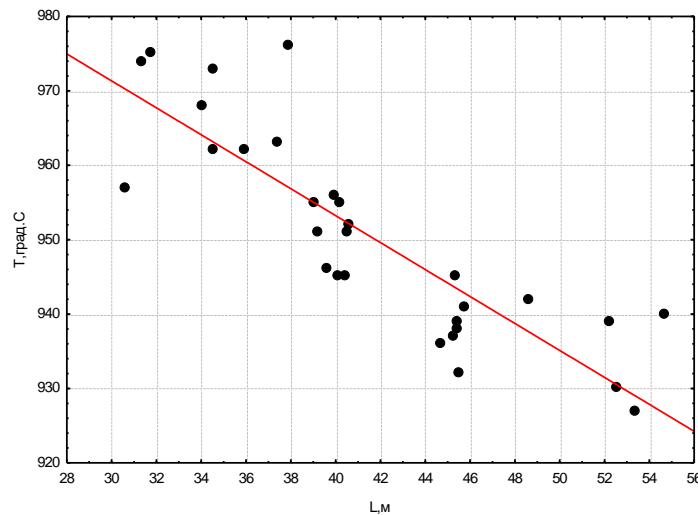


Рисунок 8 – Залежність температури розкатів від довжини розкатів

Наявність довгих і коротких розкату викликано коливаннями довжини заготовок, серед яких зустрічаються короткі і довгі заготовки, що виходять при різанні на пилах залишку через нестабільну довжину розкату після прокатки в заготівельній кліті. Слід зазначити підвищення температури коротких розкату, які інтенсивніше нагріваються в нагрівальній печі, і зниження температури довгих. На рис. 8 наведена залежність температури розкатів від довжини розкатів (таблиця 3, рівняння 8). Таким чином довжина заготовок є ще однією причиною коливань температури поряд з затримками прокатки в лінії стана.

Наведені реалізації довжини розкату свідчать, що середнє значення довжина розкату зменшується в залежності від часу прокатки, що може бути викликано зношенням підшипників і калібрів валків, яке впливає на товщину прокату. Збільшення товщини прокату від зносу буде призводити до зменшення довжини розкату. Наприклад, зменшення довжини розкату на 2,5 м призведе до збільшення товщини розкату на 0,5 мм, що при допуску на товщину прокату для швелера  $12 \pm 0,5$  мм буде призводити до виходу товщини прокату за межі допуску і до появи штанг нормальної довжини при порізці на пилах гарячої різки

Але товщина і довжина прокату залежать також і від температури прокату і її треба враховувати при оцінці збільшення товщини прокату від зносу обладнання.

### **Висновки**

Процес зношення в часі залежить від якості текстолітових вкладишів підшипників ковзання, які застосовуються на середньосортних і рейкобалочних станах і тому не можна передбачити, як швидко в часі буде змінюватися міжвалковий зазор в калібрах.

Проведені експериментальні дослідження показують, що вимірювання довжини прокату, температури прокату і струму двигуна головного привода кліті можна застосувати для непрямой оцінки змінення товщини прокату від повільно змінювальних в часі факторів, які впливають на товщину прокату, якими є зношення підшипників і калібрів.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. [https://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/hiprofile\\_26\\_98.htm](https://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/hiprofile_26_98.htm)
2. А.Аникин, А.Федосейский. Лазерные доплеровские измерители в системе учета горячего проката. СТА №1, 2007 г
3. Способ автоматического измерения длины раската после прокатного стана. Л.С.Трус, В.С.Калинин, В.А.Ковтуневич. А.С.627008/22, Мкл В21с51/00, Б.И.№22, 1959.

### **REFERENCES**

1. [https://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/hiprofile\\_26\\_98.htm](https://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/hiprofile_26_98.htm)
2. A. Anikin, A. Fedoseisky. Laser Doppler meters in the hot rolled stock accounting system. STA No. 1, 2007
3. A method for automatically measuring the length of the roll after the rolling mill. L.S. Trus, V.S. Kalinin, V.A. Kovtunevich. A.S. 627008/22, Mkl B21s51/00, B.I. No. 22, 1959.

UDC 681.532.1, 62-531.1

M. Zinchenko, O. Potap, V. Shibakinsky

**THE APPLICATION OF INDIRECT METHODS OF ASSESSMENT  
OF CHANGES IN THE THICKNESS OF THE ROLLED CAGE  
AS A CONSEQUENCE OF THE INFLUENCE  
OF THE WEAR OF THE ROLLED CAGE EQUIPMENT**

The dimensions of the rolled products are affected by various factors that lead to fluctuations in the thickness and length of the rolled products and the appearance of bars of normal length when cutting on saws, therefore the issue of increasing the accuracy of the dimensions of the rolled products is always relevant. Direct devices for measuring the thickness of rolled shaped profiles of a complex cross-sectional shape are complex computer complexes that have a high cost. The purpose of the study is to study the possibility of controlling the dimensions of rolled products using indirect methods of assessing changes in the thickness of rolled products. For this purpose, a study was carried out on the measurement of the length of rolled products using a length meter, which is based on the principle of measuring the length of rolled products by the rotation of the rolls. Studies of the meter's operation have shown that the use of a microcontroller for processing the measurement results allows to increase the accuracy of the roll length measurement. This happens by taking into account the slippage of the rolls relative to the rolling stock during metal capture and by averaging the number of pulses, which falls on the basic distance of the photosensors. Comparison of the measurement results with the actual length of the rolled product confirmed the possibility of using this device for measuring the length of the rolled product in the flow. When studying the rolling process, the length of the rolls after the finishing stand, the temperature of the rolls before the finishing stand, the thickness and the motor current of the main drive of the finishing stand were measured. The measured results showed the presence of a low-frequency component of these parameters, which is associated with the wear of bearings and roll gauges, which leads to an increase in the thickness of the rolled products. The wear of bearings is not a stationary process, so the compensation of the effect of wear on the dimensions of rolled steel should be performed according to the measurement results, and not randomly or as a function of time. Calculating the average values of rolled length, motor current, and rolled temperature makes it possible to evaluate the change in rolled thickness due to the wear of bearings and roll gauges and to compensate for its influence on the dimensions of rolled products in a timely manner.

**Keywords:** rolled thickness, rolled length gauge, rolled length, temperature, motor current, wear of bearings and roll gauges.

**Зінченко Михайло Дмитрович**, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

**Потап Олег Юхимович**, професор кафедри автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

**Шибакінський Володимир Іванович**, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

**Zinchenko Mykhailo**, Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

**Potap Oleh**, Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

**Shibakinsky Vladimir**, Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.