

М.Д. Зінченко, О.Ю. Потап, М.О. Рибальченко., І.О. Маначин
**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 150
ДЛЯ ФОРМУВАННЯ У СТУДЕНТІВ НАВИЧОК
ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Анотація. Дослідження роботи автоматизованих систем управління з застосуванням комп'ютерів в значній мірі дозволяє скоротити час, але не дає повного представлення роботи системи на реальному об'єкті. Тому застосування реальних об'єктів для дослідження систем управління в навчальному процесі є доцільним і корисним. Метою дослідження є модернізація лабораторного прокатного стану 150, призначеного для прокатки свинцю, олова та пластиліну, і оснащення його датчиками і виконавчими механізмами. В роботі виконано заміну ручного натискного пристрою прокатної кліті автоматизованим, для чого додатково встановлений черв'ячний редуктор, що дозволило збільшити загальне передатне число до 94,5. Переміщення натискних гвинтів здійснюється від двигуна змінного струму, який управляється за допомогою панелі оператора DOP-103BQ і частотного перетворювача MS-300 з вбудованим ПЛК. Як датчик переміщення застосували фотоімпульсний датчик ПДФ-3. Встановлене обладнання та розроблене програмне забезпечення для панелі оператора і ПЛК забезпечили високу точність встановлення натискних гвинтів в задане положення. Додаткове було розроблено програмне забезпечення для вимірювання енергосилових параметрів процесу прокатки: сили прокатки і електричних параметрів двигуна постійного струму привода прокатної кліті. Вимірювання енергосилових параметрів і розмірів прокату до і після прокатки дозволило визначити жорсткість кліті і прокату, що необхідно для розрахування коефіцієнтів передачі автоматизованої системи настрійки прокатної кліті.
Ключові слова: лабораторний прокатний стан 150, натискний пристрій, панель оператора, частотний перетворювач, програмований логічний контролер ПЛК, сила прокатки, енергосилові параметри.

Постановка проблеми і ціль дослідження. Останнім часом вивчення автоматизованих систем управління здійснюється моделюванням роботи систем на комп'ютерах, що не дозволяє в повній мірі зрозуміти роботу реальних систем управління і переваг застосування інформаційних технологій.

Основні системи управління прокатним станом це управління швидкістю обертання прокатних валків і зміненням міжвалкового зазору прокатної кліті.

Оснащення цими системами лабораторного прокатного стану 150 дозволить студентам більш ретельно вивчити роботу прокатного стану і систем управління.

Метою роботи є розробка і виготовлення автоматизованої системи управління лабораторним прокатним станом 150 і вимірювання енергосилових параметрів процесу прокатки із застосуванням інформаційних технологій.

Лабораторний стан 150 призначений для прокатки свинцю, олова, пластиліну і має наступні технічні характеристики: розміри заготовки: висота – 20 мм, ширина – 100 мм, максимальне обтиснення за прохід -2 мм, максимальний розхил валків – 25 мм, швидкість прокатки - 0,16 м/с, сила прокатки – 10000 кг, крутильний момент – 47 кг/м, число обертів валків за хвилину – 30 об/хв., діаметр валка – 100 мм, довжина бочки валка – 150 мм.

Привод прокатних валків здійснюється через понижуючий редуктор і шестеренну кліть від двигуна постійного струму, вал двигуна через ремінну передачу пов'язаний з тахогенератором для вимірювання швидкості обертання прокатних валків.

Управління швидкістю двигуна постійного струму і прокатних валків здійснюється комплектним тиристорним приводом типу ЕПУ-1 з регулятором швидкості. Комплектний тиристорний привод видає напругу якірного кола пропорційно сигналу управління, задає напругу збудження, контролює струм двигуна.

Завдання сигналу управління швидкістю здійснюється з пульта управління, відображення швидкості обертання валків виводиться на стрілочний прибор на пульті управління, але цього не достатньо для дослідження змінення швидкості обертання при прокатці.

Матеріали і результати досліджень. Було виконано реконструкцію натискного пристрою, тому що його конструкція передбачувала застосування ручного привода натискних гвинтів. Натискний пристрій мав наступні характеристики: передатне число одноступеневого редуктора - 3, крок натискного гвинта – 3 мм на 1 оберт гвинта. Таке низьке передатне число редуктора не забезпечувало необхідної точності переміщення верхнього валка і змінення розхилу валків.

При реконструкції був додатково встановлений черв'ячний редуктор типу 2Ч-40 з передатним числом 31,5 і загальне передатне число склало 94,5.

Для переміщення натискних гвинтів було застосовано двигун змінного струму типу 4А.А56.Р2.У3 з числом обертів за хвилину – 760 і потужністю –

200 Вт. Управління двигуном здійснювали від частотного перетворювача типу MS-300 (виробник - Delta Electronics), котрий в своєму складі містить програмований логічний контролер, і панелі оператора типу DOP-103BQ.

Для вимірювання переміщення натискних гвинтів був встановлений фотоімпульсний датчик ПДФ-3 з формуванням 600 імпульсів на 1 оберт, котрий був з'єднаний з натискним гвинтом через підвищувальну шестеренну передачу з передатним числом – 2,2. Таким чином точність вимірювання переміщення натискних гвинтів склала 1 імп. – 0,00227 мм.

Управління переміщенням натискних гвинтів здійснювалось програмами в ПЛК і панелі оператора, які формували сигнал управління на переміщення натискних гвинтів в мм, потім перераховували його в кількість імпульсів фотоімпульсного датчика переміщення натискних гвинтів, формували сигнал управління частотним перетворювачем і включенням двигуна, потім підраховували кількість імпульсів при переміщенні натискних гвинтів і порівнювали їх з заданою кількістю. При їх рівності формувалася сигнал на зупинку двигуна. Налаштування частотного перетворювача дозволили виконати зупинку двигуна практично без вибігу, що забезпечило високу точність встановлення натискних гвинтів в задане положення.



Рисунок 1 - Лабораторний прокатний стан 150

В процесі прокатки необхідно вимірювати енергосилові параметри прокатки і формувати інформацію оператору у вигляді, що є зручним для аналізу

процесу. До енергосилових параметрів відносяться сила прокатки, струм, напруга та кількість обертів за хвилину, напруга збудження двигуна головного привода валків стана.

Вимірювання сили прокатки виконується за допомогою месдоз. Лабораторний прокатний стан є нестандартним пристроєм, тому було неможливо підібрати стандартні вимірювальні прилади і тому були розроблені і виготовлені нестандартні месدوزи для вимірювання сили прокатки. Месدوزи були встановлені під натискні гвинти, вихідний сигнал з месدوزи поступає на вхід підсилювача.

Струм якірного кола вимірюється за допомогою шунта, котрий формує напругу 75 мВ на 15 А струму. Вихідний сигнал напруги з шунта подається на датчик струму типу S402A, який виконує гальванічне розв'язування кіл і підсилення сигналу до рівня 10 В.

Напруга якірного кола, напруга тахогенератора, який вимірює частоту обертання валків, і напруга збудження через дільники підключені до датчиків напруги типу ДН2БУ4, які виконують гальванічне розв'язування кіл і формування вихідних сигналів в діапазоні до 10 В.

Сигнали з датчиків надходять на плату клемників ADAM-3964, а далі через кабель - на входи плати PCI-1711. Характеристики вимірювальних каналів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики вимірювальних каналів

Параметр	Сила прокатки, месدوزи, Н/В	Струм, А/В	Частота обертання валків, об/хв/В	Напруга якірного кола, В/В	Напруга збудження, В/В
Коефіцієнт передачі	Ліва – 5149 Права -5456	1,846	2,43	9,58	11,64

Плата вимірювання аналогових сигналів PCI-1711 була встановлена персональний комп'ютер. Плата має можливість вимірювання 16 сигналів напруги з загальною точкою в діапазоні ± 10 В.

Для вимірювання і відображення сигналів було розроблено програмне забезпечення ¹, яке дозволяє налаштовувати плату, тобто обрати тип плати, ті канали, котрі застосовуються для вимірювання сигналів напруги, обрати діапазони вимірювання, колір сигналу на графіку, частоту опитування сигналів, кількість точок для виведення на графік, параметри осей координат графіка (рис.2). Після налаштування плати програма переходить в режим вимірювання.

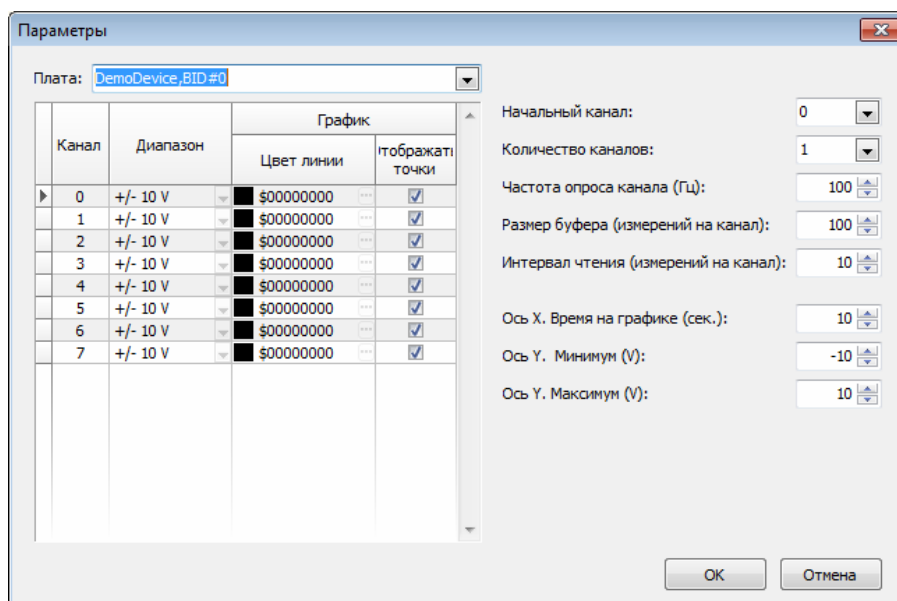


Рисунок 2 - Екранна форма вікна налаштування параметрів процесу

В процесі вимірювання одночасно виконується виведення сигналів на екран монітора. Перед прокаткою процес вимірювання запускається за допомогою клавіатури або миші і відбувається відображення зміни параметрів на екрані в реальному часі. По закінченні процесу прокатки вимірювання зупиняється, а графіки зміни параметрів у часі залишаються на екрані монітора, що дозволяє оперативно проаналізувати процес (рис.3).

Результати вимірювання можливо зберегти в файлі в форматі Excel і потім файл може бути переглянутий. В файлі зберігаються: час вимірювання параметрів і значення параметрів, що вимірювались (рис.4).

Були проведені експериментальні дослідження, котрі дозволили визначити основні залежності при прокатці. В першу чергу необхідно було визначити

¹ Програмне забезпечення розроблено Нечепоренко В.В. В дослідженнях приймав участь студент Войтенко Д.А.

жорсткість кліті і полоси, а потім основні залежності між параметрами прокатки.

При експериментальних дослідженнях катали свинцеву полосу шириною 20 мм, вимірювали розміри полоси на вході в кліть і після прокатки, силу прокатки.

Для визначення жорсткості кліті прокатали дві полоси різної товщини з постійним між валковим зазором. Розміри полос и готового прокату, сили прокатки наведені в таблиці 2. Графіки ліній пластичної деформації полоси і пружної деформації кліті, котрі являють собою залежності сили прокатки від товщини прокату, наведені на рис.5.

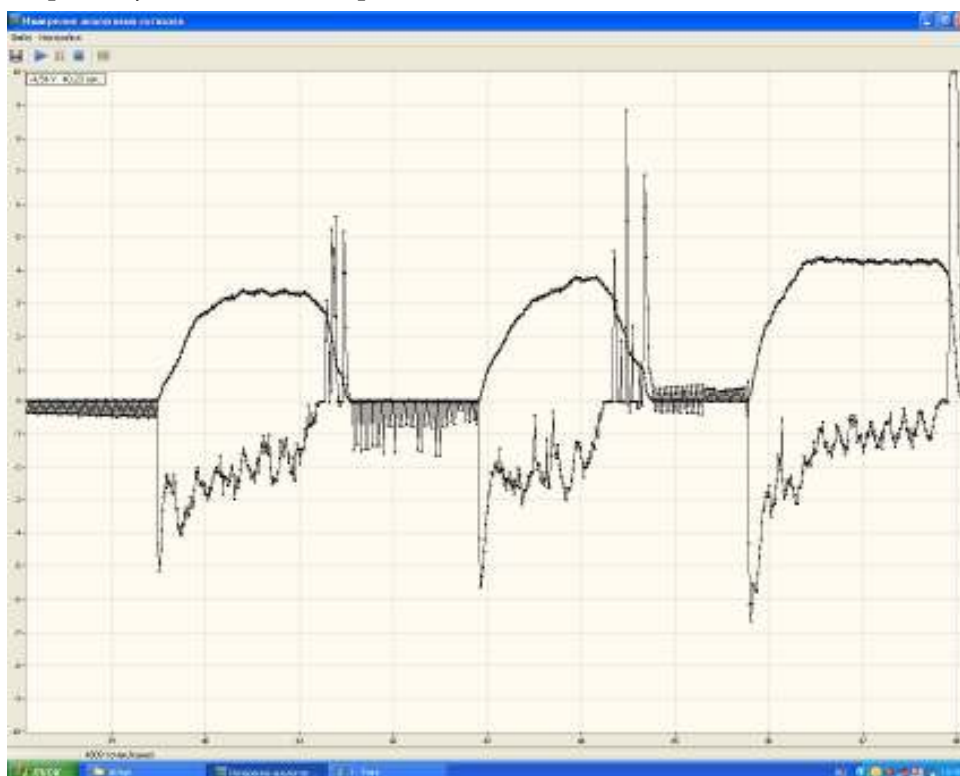


Рисунок 3 - Осцилограми частоти обертання та струму двигуна

A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,00000000	-1,35253906	4,25292969	-9,15527344	6,53808594	2,15332031	1,03027344
2	0,01000000	-1,36718750	4,22363281	-9,30175781	5,41503906	2,10937500	1,01074219
3	0,02000000	-1,25976563	4,30664063	-9,28222656	6,26464844	2,15820313	1,04492188
4	0,03000000	-1,39160156	4,22363281	-9,17480469	6,48437500	2,10449219	1,02539063
5	0,04000000	-1,53808594	4,16503906	-9,31152344	6,14257813	2,15332031	1,05957031
6	0,05000000	-1,66992188	4,20410156	-9,28710938	6,50390625	2,09960938	1,03515625
7	0,06000000	-1,73339844	4,18945313	-9,19921875	6,50878906	2,14843750	1,05468750
8	0,07000000	-1,44042969	4,22851563	-9,31640625	5,58105469	2,09472656	1,04980469
9	0,08000000	-1,35742188	4,27734375	-9,29199219	6,25000000	2,15332031	1,07910156

Рисунок 4 - Результати вимірювань в Excel

Дані лабораторного експерименту, що отримані при зміні товщини підкату

Параметр	h ₀ , мм	h ₁ , мм	P _л , Н	P _{пр} , Н	P, Н	Пружина кліті, мм	Жорсткість кліті, Н/мм	Міжвалковий зазор, мм	h ₀ -h ₁ , мм
1 смуга	5,6	2,46	1933	2815	4748	0,215		2,245	3,14
2 смуга	4	2.38	1285	1697	2982	0,135		2,245	1,62
Різниця	1,6	0.08			1766		22072		

Жорсткість кліті можна визначати як

$$M_{кл} = \frac{\Delta P}{\Delta h_1} = \frac{1765}{0,08} = 22072 \frac{Н}{мм}, \quad (1)$$

де ΔP - різниця сили прокатки, Н (т.Р1 і т.Р2 рис.5);

Δh_1 - різниця товщини готового прокату, мм (т.h11 і h12, рис.5).

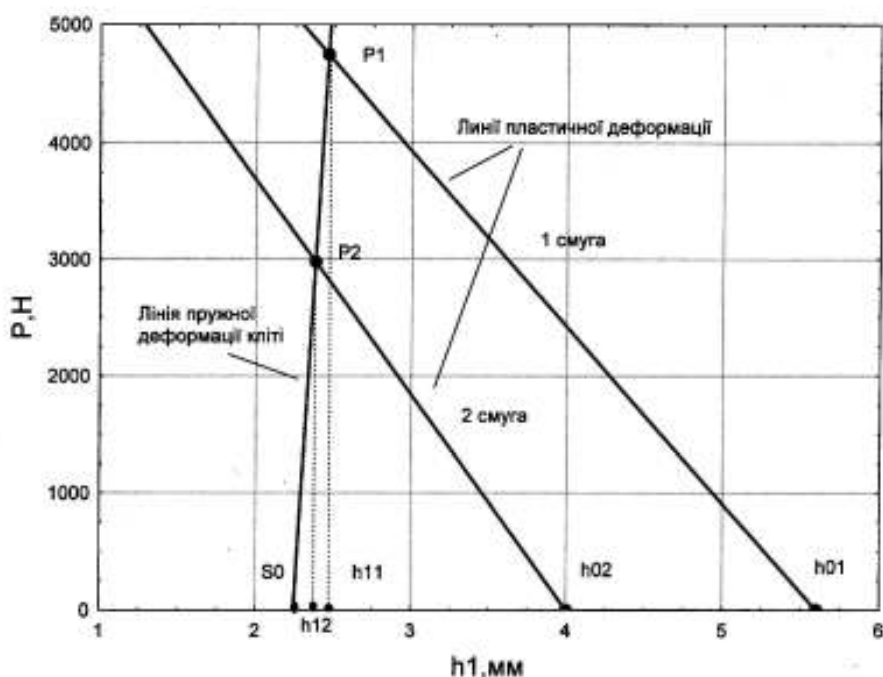


Рисунок 5 - Експериментальні лінії пластичної деформації прокату і пружної деформації кліті при зміні товщини підкату

Знаючи жорсткість кліті можна визначити міжвалковий зазор ненавантажених валків. Вихідна товщина визначається виразом

$$h_1 = S_0 + \frac{P}{M_{кл}} \quad (2)$$

де P - сила прокатки, Н;

S_0 - міжвалковий зазор ненавантажених валків, мм;

Звідси між валковий зазор визначається як

$$S_0 = h_1 - \frac{P}{M_{кл}} \quad (3)$$

Для першої смуги сила прокатки дорівнює 4748 Н, товщина готового прокату – 2,46 мм, пружина кліті – 0,215 мм, для другої смуги сила прокатки дорівнює 2982 Н, товщина готового прокату – 2,38 мм, пружина кліті – 0,135 мм. Тоді міжвалковий зазор для першої і другої смуги дорівнюватиме

$$S_0 = 2,46 - 0,215 = 2,245 ;$$

$$S_0 = 2,38 - 0,135 = 2,245$$

Тобто для першої та другої смуги величина міжвалкового зазору має одне й те ж значення, що підтверджує правильність виконаних розрахунків.

Для визначення жорсткості прокату прокатали дві полоси з постійною товщиною і зміненням міжвалкового зазору. Розміри полос и готового прокату, сили прокатки наведені в таблиці 3. Графік залежності сили прокатки від товщини прокату наведений на рис.6.

Таблиця 3

Дані лабораторного експерименту, що отримані при зміні міжвалкового зазору

Пара-метр	$S_0, м$ м	$h_0, м$ м	$h_1, м$ м	$P_л, Н$	$P_{пр}, Н$	$P, Н$	$h_0 - h_1, м$ м	$h_1 - S_0, м$ м	Жорсткість прокату Нмм
1 смуга	1,8	2,5	1,89	2109	1256	3365	0,61	0,09	
2 смуга	0,8	2,5	0,99	2560	2904	5464	1,51	,19	
Різниця	1		0,9			2099			2332

Жорсткість прокату можна визначати як

$$M_n = \frac{\Delta P}{\Delta h_1} = \frac{2099}{0,9} = 2332 \frac{Н}{мм}, \quad (4)$$

де ΔP - різниця сили прокатки, Н(т.Р1 та т.Р2 рис.6) Δh_1 - різниця товщини готового прокату, мм (т.h11 і h12, рис.6).

Лінія пластичної деформації є нелінійною і її можна розбити на два відрізки. Жорсткість прокату визначали для другого відрізка.

В таблиці 4 наведені рівняння регресії, отримані за даними табл. 2 та 3, які кількісно визначають залежність між технологічними параметрами і можуть

використовуватись для обчислення керуючого впливу (змінення міжвалкового зазору) при регулюванні товщини прокату.

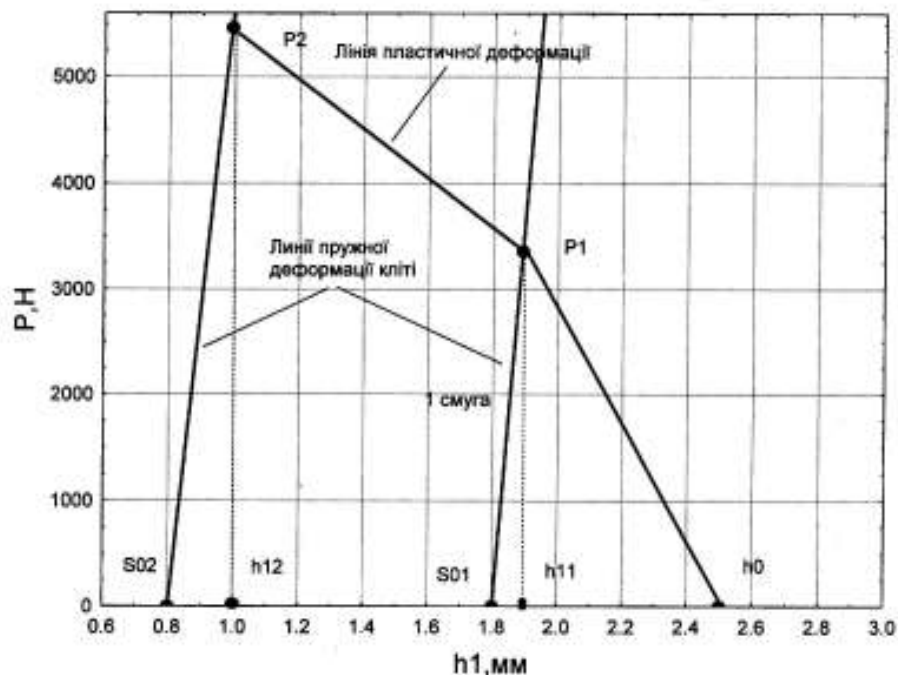


Рисунок 6 - Експериментальні лінії пластичної деформації прокату і пружної деформації кліті при зміні міжвалкового зазору

Таблиця 4

Рівняння регресії

№	Рівняння регресії	Примітка
1	$h_1 = 2.18 + 0.05 h_0$	
2	$h_1 = 0.27 + 0.9 S_0$	
3	$h_1 = 3.3325 - 0.0004 P$	$S_0 = \text{varia}, h_0 = \text{const}$
4	$P = 7774 - 2333 h_1$ $M_n = 2333 Н/мм$	$S_0 = \text{varia}, h_0 = \text{const}$
5	$h_1 = 2.245 + 0.000045 P$	$h_0 = \text{varia}, S_0 = \text{const}$
6	$P = 49556 + 22075 h_1$ $M_k = 22075 Н/мм$	$h_0 = \text{varia}, S_0 = \text{const}$
7	$P = 7144 + 2100 S_0$	
8	$P = -1433 + 1103 h_0$	
9	$S_0 = -0.3 + 1.11 h_1$	

Зв'язок між зміненням між валкового зазору і зміненням товщини прокату визначається наступним виразом

$$\Delta S_0 = \frac{M_{кл} + M_n}{M_{кл}} \Delta h_1 = \frac{22072 + 2332}{22072} \Delta h_1 = 1,105 \Delta h \quad (5)$$

Розраховане значення коефіцієнта передачі між зміненням між валкового зазору і зміненням товщини прокату співпадає із значенням коефіцієнта передачі в рівнянні 9 таблиці 4, що підтверджує правильність виконаних розрахунків.

Висновки. Модернізація обладнання прокатного стана і застосування для управління двигуном натискного пристрою частотного перетворювача дозволили забезпечити необхідну точність встановлення натискних гвинтів в задане положення. Точність встановлення $\pm 0,01$ мм.

Вбудований в частотний перетворювач програмований логічний контролер і панель оператора забезпечили можливість створення зручного програмного забезпечення і графічного інтерфейсу оператора для настройки міжвалкового зазору прокатного стана.

Розробка програмного забезпечення для вимірювання енергосилових параметрів прокатки і застосування інтегрованої плати вводу сигналів в комп'ютер дозволили контролювати процес прокатки на екрані монітору і зберігати дані в комп'ютері.

Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу прокатки показав, що отримані дані відповідають фізиці процесу прокатки і можуть бути застосовані при фізичному моделюванні роботи автоматизованої системи стабілізації товщини прокату.

Розроблений комплекс може бути застосований при вивченні інформаційних технологій при автоматизації виробничих процесів. Він дозволяє вивчити застосування інтегрованих плат збору даних, обробки та зберігання даних в комп'ютері, роботу частотних перетворювачів, програмованих логічних контролерів і панелей оператора.

ЛІТЕРАТУРИ / ЛИТЕРАТУРА

1. Действующая модель прокатного стана. Руководство по эксплуатации. 5Л.00.00.00.РЭ.-Днепропетровск: Облполиграфиздат, 1988 – 7 с.
2. Чекмарев А.П., Ольдзиевский С.А. Методы исследования процессов прокатки. М.:Металлургия, 1969 – 294 с.
3. Челюсткин А.Б. Автоматизация процессов прокатного производства. М.:Металлургия, 1971 – 294 с.

REFERENCES

1. The current model of the rolling mill. Operation manual. 5Л.00.00.00.РЭ.- Dnepropetrovsk: Oblpoligrafizdat, 1988 - 7 p.

2. Chekmarev A.P., Oldzievsky S.A. Methods of research of rolling processes. М .: Metallurgiya, 1969 - 294 p.
3. Chelyustkin A.B. Automation of rolling production processes. М .: Metallurgiya, 1971 - 294 p.

Received 16.03.2021.

Accepted 18.03.2021.

Модернизация лабораторного прокатного стана 150

для формирования у студентов навыков исследования объекта автоматизации

Выполнена модернизация лабораторного прокатного стана 150 для выполнения студентами исследований состояния как объекта автоматизации. Дополнительно на нажимное устройство были установлены редуктор с двигателем переменного тока, фотоимпульсный датчик положения нажимных винтов, месдозы. Для управления двигателем применили панель оператора НМІ DOP-103BQ, частотной преобразователь MS-300с встроенным ПЛК. Разработанное программное обеспечение для панели оператора и ПЛК обеспечило перемещения нажимных винтов в заданное положение с требуемой точностью. Для исследования процесса прокатки разработано программное обеспечение, которое осуществляет измерение силы прокатки, электрических параметров двигателя прокатной клетки и отображение on-line измеряемых параметров на экране монитора. Измеряемые параметры собираются и могут быть конвертированы в Excel-файлы.

Modernization of laboratory rolling mill 150

for the formation of students' studies of automation object research

Studying the operation of automated control systems using computers significantly reduces the time, but does not give a complete picture of the system on a real object. Therefore, the use of real objects for the study of control systems in the educational process is appropriate and useful. The purpose of the study is to modernize the laboratory rolling mill 150, designed for rolling lead, tin and plasticine, and equip it with sensors and actuators. The manual pressure device of the rolling stand was replaced by an automated one, for which an worm gearbox was additionally installed, which allowed to increase the total gear ratio to 94.5. The thrust screws are moved from the AC motor, which is controlled by the DOP-103BQ operator panel and the MS-300 frequency converter with built-in PLC. As a displacement sensor used photopulse sensor PDF-3. The installed equipment and the developed software for the operator panel and the PLC provided high accuracy of installation of pressure screws in the set position. Additionally, software was developed to measure the power parameters of the rolling process: the rolling force and the electrical parameters of the DC motor of the drive of the rolling stand. The software allows you to configure the board, ie select the type of board, the channels used to measure voltage signals, select measurement ranges, signal color on the graph, signal polling frequency, number of points to display on the graph, parameters of graph coordinate axes. In the process of measurement, the output of signals to the monitor screen is performed simultaneously. Before rolling, the measurement process is started using the keyboard or mouse and the change of parameters is displayed on the screen in real time. At the end of the rolling process, the measurement stops, and the graphs of parameter changes over time remain on the monitor screen, which allows you

to quickly analyze the process. The measurement results can be saved in an Excel file and then the file can be viewed. The file stores: the time of measurement of parameters and the values of parameters those were measured. Measurement of power parameters and sizes of rolled products before and after rolling allowed to determine the stiffness of the stand and rolled metal, which is necessary to calculate the transmission coefficients of the automated tuning system of the rolling stand.

Зінченко Михайло Дмитрович - доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Потап Олег Юхимович - професор кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Рибальченко Марія Олександрівна - завідувачка кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Маначин Іван Олександрович - доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Зинченко Михаил Дмитриевич - доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Потап Олег Ефимович - профессор кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Рыбальченко Мария Александровна - заведующая кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Маначин Иван Александрович - доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Zinchenko Mykhailo Dmytrovych - Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Potap Oleh Yukhymovich - Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Rybalchenko Maria Oleksandrivna - Head of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Manachyn Ivan Oleksandrovyh - Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.