

3. Трофимов Л.А. Проектирование радиоприёмных устройств СВЧ / Л.А.Трофимов. – Казань: КГТУ, 2005. – 74с.
4. Голубев В.И. Конструирование и расчет полосковых устройств / Голубев В.И., Ковалев В.И.; под ред. И.С.Ковалева. – М.: Сов. Радио, 1974. – 150с.
5. Тронин Ю.В. Синтез фильтров / Ю.В.Тронин, О.В.Гурский. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 75с.
6. HFSS – High Frequency Structure Simulator. – Ansoft Corporation, 2005. – 801p.

Надійшла до редколегії 19.10.2016.

УДК 621.771.04

МЕЩАНИНОВ С.К., д.т.н., професор  
НЕЛЬГА А.Т., ст. викладач  
ІТЯКІН О.С.\*, зав. відділення  
ВОЛОШИН Р.В., магістр  
ГУПАЛО Ю.Ю., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет  
\*Економічний коледж Дніпровського державного технічного університету

### **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОРИГУВАННЯ ОБТИСКІВ ТОЧНОЇ ПРОКАТКИ СМУГ ПРИ НЕСТАЛОМУ ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ СТАНІ ОПЕРАТОРА**

**Вступ.** Керування процесом гарячої прокатки сталевих смуг на реверсивному стані 1200 відзначається особливою складністю, що пов'язано: з малотонажністю прокатки значної кількості типорозмірів (більш 100 найменувань товщиною 7...50 мм і шириною від 300 до 1050 мм); з необхідністю частого переналагодження технологічного режиму при переході на прокатку нової партії, у середньому за зміну 5-7 разів, а також з прокаткою в умовах обмеженого часу і змінного темпу [1]. Процес прокатки смуг здійснюється в умовах інформаційної невизначеності, пов'язаної, в першу чергу, з недостатньою достовірністю оцінки основних збурень – змінювань температури і товщини підкату в двох останніх пропусках, в яких саме формується висотний розмір прокатної продукції. Звертає на себе увагу і те, що оператор прокатного стану не завжди в змозі чітко і однозначно інтерпретувати оперативну інформацію й ефективно її використовувати. Особливо це суттєво ускладнюється впродовж робочої зміни вже після три-, чотиригодинної професійної діяльності оператора. Операторові при відпрацюванні обтисків доводиться виконувати одночасно і за короткий час декілька технологічних операцій: встановлювати натискний механізм (НМ) у задане положення, здійснювати керування швидкістю обертання робочих валків, включати реверс на зміну напрямку переміщення заготовки. При цьому повинна забезпечуватися мінімальна тривалість пропусків, що у великій мірі залежить від вибору оператором моменту початку зниження швидкості переміщення розкату при закінченні пропуску і моменту включення електропривода на зворотний напрямок здійснення чергового пропуску прокату.

Оператор, здійснюючий керування процесом прокатки, зазнає великих психологічних і фізичних навантажень, що призводять до зниження його функціонального стану. Особливо великої гостроти набуває втома (психоемоційна напруженість) оператора, яка визначається як один з функціональних станів оператора, що проявляється у зміні параметрів організму оператора в процесі його діяльності. В організмі оператора відбу-

ваються значні зміни в м'язово-руховому апараті, погіршуються координації руху, знижується ефективність дій.

Експериментальні дослідження на реверсивному стані прокатки товстих смуг показали, що впродовж робочої зміни, з часом, через втому оператора якість керування процесом прокатки послідовно знижується. Експериментально встановлено, що похибки від неточності відпрацювання оператором завдання на реалізацію величини обтисків в останніх двох проходах (установлення натискного механізму в задану позицію) до кінця робочої зміни можуть зростати до 15...20%, а темп прокатки – знижуватися до 8...10%.

Передбачений умовами праці черговий по декілька хвилин відпочинок операторів бригади впродовж робочої зміни не вирішує цю проблему.

**Постановка задачі.** Виходячи з перелічених вище особливостей автоматизованого керування процесом точної прокатки товстих смуг і жорстких вимог щодо якості прокатої продукції, об'єктивно виникла необхідність оперативної оцінки зміни рівня функціонального робочого стану (ФРС) оператора і здійснення відповідного алгоритмічного коригування в настроюванні прокатної кліти у циклі точної прокатки смуг. Тому основною задачею, яка ставиться у даній статті, є визначення початку зниження рівня ФРС оператора, що могло б призводити до погіршення якості керування процесом прокатки, і знаходження закономірностей керування в цих умовах з метою підвищення точності прокатки.

**Результати роботи.** Співробітниками кафедри електроніки Дніпродзержинського державного технічного університету проводяться наукові роботи з підвищення точності гарячої реверсивної прокатки шляхом розробки і використання ефективних алгоритмів корекції обтисків у функції основних збурень з урахуванням у реальному часі ФРС оператора, який здійснює керування даним технологічним процесом.

На рис.1 зображено структурну схему автоматизованої системи коригування величини обтисків точної прокатки смуг з контуром оцінки ФРС оператора. Кількісний склад структурної схеми та назва складових блоків є достатньо зрозумілими із самого рисунка, тому обмежимося технологічними поясненнями.



Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої системи коригування величини обтисків точної прокатки смуг з контуром оцінки ФРС оператора

Основним вихідними параметрами товщини готових смуг є подовжня товщина і різнотовщинність, значення яких підпорядковані вимогам існуючих стандартів [2].

У склад системи введено додатковий контур, на який покладається функція контролю ФРС оператора. Персональний комп'ютер (ПК) здійснює відповідну обробку сигналів веб-камери, призначення якої – фіксувати параметри мікрорухів обличчя оператора.

«Блок допомоги прийняття рішення» містить базу індивідуальних статистичних характеристик операторів-прокатників, здійснює порівняння прогнозованого ФС і середнього фактичного і при виході розрахованих значень за діапазон середнього фактичного фіксує зниженням працездатності оператора. На основі логічного аналізу даної інформації «виробляються» відповідні технологічні рекомендації, які реалізуються у блоці «Мікро ЕОМ».

У «Мікро ЕОМ» обчислюється алгоритм, представлений рівнянням (1) або двома рівняннями (1) і (2), що дає змогу розраховувати величину обтисків в чистових пропусках у функції основних збурень. Вибір алгоритму здійснюється у залежності від рівня ФРС оператора.

Величина обтисків включає: сталу складову, яка визначається «жорсткою» програмою фіксованих значень положення НМ для різних типорозмірів на кожен пропуск, і змінну, яка направлена на компенсацію збурень. «Жорсткі» програми – це результат вирішення методом динамічного програмування завдання оптимізації режимів обтисків по пропусках в універсальній кліті, з урахуванням повного використання допустимого тиску металу на валки. У разі відхилення фактичних значень параметрів від розрахованих в алгоритм управління вводиться відповідне коригування, що вимагає переміщення верхнього валка (ВВ) НМ у задане положення. Обчислення величини коригування уставок переміщення ВВ на останній прохід у функції основних збурювальних параметрів – температури і товщини підкату, що побічно оцінюється за положенням верхнього валка, здійснюється у випадку «норми» ФРС оператора за алгоритмом [3]:

$$\Delta S_i^P = k_1 S_{i-1}^k - (k_1 + 1) S_{i-1}^P - k_2 (t_{i-1}^k - t_{i-1}^P) + S_i^k, \quad (1)$$

де  $k_1, k_2$  – коефіцієнти, що характеризують ступінь впливу положення верхнього валка і температури підкату відповідно на товщину готової смуги;  $t_{i-1}^k, S_{i-1}^k, S_{i-1}^P$  – контрольні значення температури і положення верхнього валка в проходах  $i$  і  $i-1$ ;  $t_{i-1}^P, S_{i-1}^P$  – поточні значення температури і положення верхнього валка;  $i, i-1$  – номери останнього і передостаннього проходів.

У випадку досягнення встановленого «порогового» погіршення ФРС алгоритм, який підлягає реалізації, буде визначатися як рівнянням (1), так і рівнянням (2):

$$\Delta S_{i-1}^P = k_3 S_{i-2}^k - (k_3 + 1) S_{i-2}^P - k_4 (t_{i-2}^k - t_{i-2}^P) + S_{i-1}^k, \quad (2)$$

де  $k_3, k_4$  – коефіцієнти, що характеризують ступінь впливу відповідно положення верхнього валка і температури підкату в  $i-2$  пропуску на товщину підкату в  $i-1$ ;  $t_{i-2}^k, S_{i-2}^k$  – контрольні значення температури і положення верхнього валка в  $i-2$  пропуску;  $t_{i-2}^P, S_{i-2}^P$  – фактичні значення температури і положення верхнього валка в  $i-2$  пропуску;  $i-2$  – номер до передостаннього пропуску.

«Контрольною» вибирається і фіксується на період прокатки поточної партії перша прокатана смуга, якість якої відповідає прийнятим нормам. Якість оцінюється за величиною відхилень ширини і товщини смуг від номінальних розмірів. Вимірювання геометричних розмірів смуг проводиться уручну вальцівником стану і вводиться в сис-

тому через пульт управління. Коефіцієнти  $k_1$ ,  $k_2$  розраховуються з урахуванням ширини, товщини і марки сталі і зберігаються в пам'яті системи. Відповідно до результатів вимірювань, які здійснюються вальцівником стану, товщини окремих (контрольних) готових смуг уточнюються.

У режимі повної компенсації контрольованих збурень здійснюється розрахунок різнотовщинності смуги  $dh$ , обумовленої впливом не контрольованих параметрів [1].

Закладені в пам'ять системи початкові коефіцієнти коригуються, причому результати для кожного сортаменту фіксуються і використовуються під час наступної прокатки, що підвищує точність настройки.

*Контроль ФРС оператора.* Вирішуючи задачу контролю ФРС оператора, логічно дотримуватися такого обмеження: застосування будь-яких контактних способів визначення поточного ФРС оператора прокатного стану (із закріпленими на тілі оператора датчиками) є неприйнятним, оскільки викликають фізіологічну і психологічну дію і фактично сприяють зниженню ефективності операторської діяльності. Вони не повинні викликати незручності в роботі.

Комфортну оперативну оцінку ФРС людини-оператора, що здійснює керування динамічним об'єктом, яким є прокатний стан, може забезпечити технологія контролю мікрорухів людини [4]. Ця технологія полягає в безпосередньому і безконтактному спостереженні за мікропереміщенням голови людини за допомогою веб-камери, перетворенні електронного сигналу в амплітудне і частотне віброзображення та визначенні функціонального стану за допомогою системи VibraImage [5] шляхом виміру середньої частоти амплітудного і частотного віброзображень, накопичених за певний період часу. Кожен з цих параметрів відображає міру емоційного напруження людини за певний час і може застосовуватися для аналізу реакції людини на конкретні професійні дії керування процесом прокатки.

Віброзображення – це інтегральне відображення психофізіологічних параметрів людини. Для реєстрації віброзображення використовується стандартна веб-камера AVerCam із датчиком зображення 1/3 дюйма КМОН розрядністю 8 біт (256 градацій сірого). Встановлена роздільна здатність камери складе 640x480. Використано стандартний ноутбук Samsung P40 TV001 з процесором Pentium M2000 і програмним забезпеченням VibraImage 6.1 від компанії Елсис [5]. Веб-камеру встановлено на відстані близько 1,5 метра навпроти досліджуваного обличчя (голови) оператора.

Отримання інформації про психофізіологічний стан оператора забезпечується вимірюванням сигналів про мікропереміщення його голови, обробкою вказаних сигналів.

Для визначення рівня ФРС оператора отримують амплітудне і/або частотне віброзображення голови живого об'єкта і вимірюють наступні його параметри.

Амплітудна складова кожної точки віброзображення визначається за формулою [5]:

$$A_{x,y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |U_{x,y,i} - U_{x,y,(i+1)}|, \quad (3)$$

де  $x, y$  – координати точки;

$U_{x,y,i}$  – величина сигналу в точці  $x, y$  в  $i$ -му кадрі;

$U_{x,y,(i+1)}$  – величина сигналу в точці  $x, y$  в  $(i+1)$  кадрі;

$N$  – число кадрів, по яких йде накопичення амплітудної складової віброзображення.

Відображення частоти переміщення в кожній точці об'єкта створює зображення, схоже на амплітудне, але таке, що дещо відрізняється від амплітудного при відобра-

женні єдиною псевдоколірною шкалою, оскільки фіксується зміна сигналу в точці незалежно від амплітуди, тільки 0 або 1.

Відносна частотна складова кожної точки віброзображення визначається за формулою [5]:

$$F_{x,y} = \frac{255}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\Delta_i \geq 0 : 1}{\text{або} : 0} \right\}, \quad (4)$$

де  $\Delta$  – міжкадрова різниця для  $i$ -ої точки зображення.

На відміну від амплітудного кожна точка частотного віброзображення має фізичну розмірність частоти (Гц), оскільки реально відображає частоту зміни сигналу в кожному елементі зображення.

Наведені формули підтверджують, що реальне амплітудне віброзображення відображає амплітуду зміни сигналу в кожній точці простору, а реальне частотне віброзображення відображає частоту зміни сигналу в точці простору.

Однохвилинний інформаційно-статистичний аналіз мікрорухів голови людини дозволяє визначати кількісні норми параметрів руху, властиві нормальному стану і будь-яким зміненим станам.

**Висновки.** Розроблено автоматизовану систему коригування величини обтисків реверсивного стана точної прокатки товстих смуг у функції основних збурень – змінювань температури і товщини підкату в передостанніх пропусках за алгоритмами, що визначається рівнем функціонального робочого стану оператора-прокатника.

Запропоновано методику контролю зміни рівня функціонального робочого стану за допомогою методу віброзображення обличчя оператора.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Нельга А.Т. Система автоматической коррекции установки нажимного механизма прокатного стана / Нельга А.Т. // Автоматика – 2002: міжнар. конф. з керування, 15-17 жовтня 2002 р.: матеріали. – Донецьк, 2002. – С.143-145.
2. Бойко В.І. Людино-машинна система управління процесом прокатки смуг / В.І.Бойко, А.Т.Нельга // Інтелектуальні системи та інформаційні технології: міжнар. наук.-техн. конф., 22-25 вересня 2004 р.: доповіді. – Чернівці, 2004. – С.98-99.
3. Нельга А.Т. Идентификация человеческого фактора в стратегии управления реверсивной прокатки / А.Т.Нельга, В.І.Бойко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: междунар. конф. по управлению, 6-10 сентября 2010 г.: материалы. – Севастополь, 2010. – С.58-59.
4. Минкин В.А. Применение технологии и системы виброизображения для анализа двигательной активности и исследования функционального состояния организма / В.А.Минкин, Н.Н.Николаенко // Медицинская техника. – 2008. – № 4. – С.30-34.
5. Минкин В.А. Виброизображение / Минкин В.А. – СПб.: Реноме, 2007. – 108с.

*Надійшла до редколегії 14.11.2016.*