

Series on Chemical Sensors and Biosensors/ Vol. Elit.: *Homola J.* Berlin- Heidelberg. V.4, 2006). – 252 p.

8. *Ghosh S.K., Pal T.* Interparticle Coupling Effect on the Surface Plasmon Resonance of Gold Nanoparticles: From Theory to Applications // *Chem. Rev.* – 2007. – V.107,  $N_0$  11. – P. 4797–4862.

9. *Homola J.* Surface Plasmon Resonance Sensors for Detection of Chemical and Biological Species // *Chem. Rev.* – 2008. – V.108,  $N_0$  2. – P. 462–493.

10. *Kretschmann E., Raether H.* Zur Plasmarezonanz-emission in festen Körper // *Z.Naturforsch.* – 1968. – Bd.23,  $N_0$  5. – P. 615–617.

11. *Добрецов Л.Н.* Эмиссионная электроника / *Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова.* – М.: Наука, 1966. – С. 218–252; 27–275; 306–314; 474–484.

12. *Borziak P.G., Katrich G.A., Naumovets A.G.* Physics of Low-Dimensional Structures.  $N_0$  1/2 (1999).

13. *Liedberg B., Nylander C., Lundstrom I.* Surface plasmon resonance for gas detection and biosensing // *Sensors and Actuators B.* – 1983. –  $N_0$  4 – P. 299–304.

14. Пат. №32512 Україна МПК G01N 21/55. Сенсорний пристрій. / *Войтович І.Д., Корсунський В.М., Яворський І.О.* Заявл. 19.12.2007; опубл. 26.05.2008, Бюл. №10.

15. Пат. №91404. Україна МПК G01N 21/55. Сенсорний

пристрій. / *Войтович І.Д., Яворський І.О.* Заявл. 9.09.2008; опубл. 26.07.2010, Бюл. №14.

16. *Овсянников В.* Тиражирование CD-DVD-дисков ([www.rostoc-cd.kiev.ua/ihowtirag.htm](http://www.rostoc-cd.kiev.ua/ihowtirag.htm))

17. *Войтович І.Д.* Кільцева фазова дифракційна структура для ППР-сенсора / *І.Д. Войтович, І.О. Яворський* // *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології.* – 2013. – Т.10. – №1. – С. 70–84.

18. *Броддай И.* Физические основы микротехнологии / *И. Броддай., Дж. Мерей.* – М.: Мир, 1985. – С. 139–140.

19. *Ланчук А.С.* Фізико-технічні основи надшільної рестрації інформації: дис. докт. фіз.-мат. наук: 01.03 / *Ланчук Анатолій Степанович.* – К., 2012. – 306 с.

20. *Rossi A.* Method and Apparatus for Carrying Out Nickel and Hydrogen Exothermal Reaction. U.S.Patent Application Publication (2011/0005506 A1, Jun. 13).

21. *Levi G., Foshi E. et al.* Indication of anomalous heat energy production in a reactor device containing hydrogen loaded nickel powder. P. 1–31 (<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1305/1305/3913/pdf>); ([expert.ru/expert/2013/22/vol-shebnyij-enerdzhajzer-rossi/](http://expert.ru/expert/2013/22/vol-shebnyij-enerdzhajzer-rossi/)); (<http://lenr.seplm.ru/>).

22. *Widom A., Larsen L.* Ultra low momentum neutron catalyzed nuclear reactions on metallic hydride surfaces // *European Phys. Journ. C* (2006) (e-mail:allan.widom@gmail.com)

УДК 621.771:67.02.001.57

## ВИМОГИ ДО ТОЧНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ОБТИСКАНЬ НА ТЛС



**М.Г. Ієвлєв**, канд. техн. наук,  
**В.Б. Корбут**,  
**В.Г. Бутко**,  
**С.Є. Мойсеєнко**

**Актуальність проблеми.** Одним із найважливіших показників роботи товстолистого стану (ТЛС) є точність реалізації заданих геометричних розмірів прокатної продукції. Цей показник значною мірою залежить від точності прогнозування параметрів прокатки за математичними моделями, тому визначення вимог до їхньої точності є актуальним

завданням.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі автоматичного розрахунку керувань режимом обтискань на ТЛС використовуються математичні моделі основних параметрів прокатки, що забезпечують необхідну точність заданих значень координат об'єкта автоматизації. При цьому отримання високих точнісних харак-

теристик пов'язане з посиленням вимог до якості технологічної інформації, ускладненням моделей і процедур їхньої адаптації. До того ж допустима похибка в отриманні заданих координат стану залежить від значущості конкретного параметра в технологічному процесі. Так, математичні моделі зусилля прокатки і деформації кліті є основними для розрахунку керувань, що обумовлюють задані геометричні розміри листа, і відповідно мають забезпечувати достатню точність розрахунків. До моделей, що обумовлюють розрахунок величини максимально допустимих обтискань, ставляться інші вимоги [1]. У зв'язку з цим доцільно оцінити вплив точності математичних моделей різних параметрів на відхилення останніх від заданих значень і їхню значущість у дотриманні основних вимог до автоматизованих систем керування.

Математичні моделі параметрів прокатки, які не враховують ряд чинників, що мають місце в реальному процесі, зумовляють відхилення розрахункових даних від дійсних, які є випадковими для прийнятої моделі. Оскільки кожен із не врахованих моделлю чинників викликає незалежні випадкові відхилення результатів обчислень відповідно до теореми Ляпунова [2], можна зробити правомочне припущення про розподіл відхилень, близький до нормального закону. Надалі будемо виходити також із того, що шляхом численних розрахунків і корекції моделі вдалося звести математичне очікування похибки для всього обсягу розрахунків до нуля. Це не виключає наявності ненульового середнього значення похибки розрахунку за вибраною моделлю на етапі (циклі) прокатки або під час розрахунку параметрів прокатки деякої партії слябів [3].

Похибки виміру різними датчиками, відробітки розхилу валків також вважаються незалежними випадковими величинами з нормальним законом розподілу.

Розрахункова (потрібна) товщина прокату визначається з умови отримання заданої ширини (для останнього пропуску згаданого ета-

пу) або реалізації певної стратегії розподілу обтискань (товщин за пропусками). Товщина готового листа визначається завданням на прокатку. У разі реалізації заданої товщини  $h$  виникає похибка, викликана похибкою прогнозування необхідного розхилу валків  $H$  і похибкою відробітки цього розхилу слідкуючою системою. З іншого боку, згадана похибка по товщині частково компенсується за рахунок самовирівнювання системи кліть – метал. Прогнозування  $H$  здійснюється за формулою:

$$H = h - \left( \chi_j + \frac{P_p}{M_j} \right), \quad (1)$$

де  $h$  – задана товщина прокату (листа);  $P_p$  – значення зусилля прокатки, що прогнозується;

$\left( \chi_j + \frac{P_p}{M_j} \right)$  – рівняння прямої, отриманої в результаті апроксимації  $j$ -ї ділянки кривої деформації кліті ( $d = f(P)$ ;  $d$  – деформація, мм);  $\chi_j$  – відрізок на осі координат, що відсікається цією прямою;  $M_j$  – модуль кліті, що відповідає  $j$ -й ділянці кривої деформації.

Надалі неточність у визначенні деформації при заданому зусиллі прокатки будемо відносити за рахунок похибки у виборі  $\chi_j$ , оскільки зміною  $\chi_j$  за постійного  $M_j$  можна завжди досягти проходження прямої  $d = f(P)$  через задану точку площини  $d, P$ .

Середньоквадратична похибка прогнозування розхилу валків

$$\sigma_H = \left( \sigma_\chi^2 + \frac{1}{M^2} \sigma_{P_p}^2 \right)^{1/2}. \quad (2)$$

З урахуванням похибки відробітки завдання слідкуючою системою  $\sigma_{H_c}$  фактичний розхил валків становитиме  $H_\Phi$ , а середньоквадратичне відхилення розхилу валків від потріб-

ного описується виразом:

$$\sigma_{H_{\Phi}} = \left( \sigma_{\chi}^2 + \frac{1}{M^2} \sigma_{P_p}^2 + \sigma_{H_c}^2 \right)^{1/2}. \quad (3)$$

За невеликих різниць у величині обтискань і всіх інших рівних умов у частині початкових (до пропуску) параметрів сляба і прокатки можна записати [3]

$$\frac{P_p - P_{\Phi}}{h - h_{\Phi}} = \frac{\delta P}{\delta h} = q, \quad (4)$$

де індекс «ф» означає фактичні значення відповідних параметрів;  $q$  – твердість металу за цієї температури.

Стан системи кліть – метал після захвату металу валками характеризується рівнянням

$$H_{\Phi} = h_{\Phi} - \left( \chi + \frac{P_{\Phi}}{M} \right). \quad (5)$$

Переходячи до відхилень змінних, отримуємо

$$\delta H_{\Phi} = \delta h_{\Phi} + \frac{\delta P_{\Phi}}{M}. \quad (6)$$

Замінімо  $\delta P_{\Phi}$  на  $q \delta h_{\Phi}$ :

$$\delta H_{\Phi} = \delta h_{\Phi} + \frac{q \delta h_{\Phi}}{M}, \quad (7)$$

$$\delta h_{\Phi} = \left( \frac{M}{M+q} \right) \delta H_{\Phi}. \quad (8)$$

Переходячи від абсолютних значень відхилень до їхнього середньоквадратичного вираження і використовуючи формулу (3) для  $\sigma_{H_{\Phi}}$ , отримуємо для середньоквадратичних значень відхилення товщини прокату від заданої

$$\sigma_{h_{\Phi}} = \frac{M}{M+q} \left( \sigma_{\chi}^2 + \frac{1}{M^2} \sigma_{P_p}^2 + \sigma_{H_c}^2 \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Звідси, задаючи необхідні величини середньоквадратичних відхилень кінцевої товщини  $\sigma_{h_{\Phi}}$  листа при автоматичній прокатці, можна визначити допустимі для дотримання цих відхилень середньоквадратичні похибки прогнозування зусилля прокатки з урахуванням різних значень  $q$  і максимальної похибки моделі деформації кліті, яка, як правило, не перевищує 5%.

За відсутності на стані вертикальної кліті ширина прокату формується в чорновій горизонтальній кліті на етапі розбиття ширини (з урахуванням розширення прокату на подальших етапах прокатки).

Товщина прокату в останньому пропуску розбиття ширини визначається

$$h_{\kappa} = \frac{b_0 h_0}{b_3}, \quad (10)$$

де  $h_{\kappa}, h_0$  – відповідно товщина в останньому пропуску цього етапу і товщина прокату під час потрапляння в чорнову кліть кварто;

$b_0, b_3$  – початкова і кінцева ширина прокату на етапі розбиття ширини.

Отримана в результаті прокатки в чорновій кліті ширина прокату

$$b_{\kappa}^{(\Phi)} = \frac{b_0 h_0}{h_{\kappa \Phi}}, \quad (11)$$

де  $h_{\kappa \Phi}$  – фактична товщина прокату після розбиття ширини в  $\kappa$ -му пропуску.

Похибка отриманої ширини відносно заданої буде обумовлена:

- а) допусками на початкові розміри  $\sigma_{b_0}, \sigma_{h_0}$ ;
- б) похибкою реалізації  $h_{\kappa} \left( \sigma_{h_{\kappa \Phi}} \right)$ , яка у свою чергу залежить від точності установки розхилу валків, точності прогнозування зусилля прокатки і деформації кліті, яка становитиме

$$\sigma_{h_{к\phi}} = \frac{M}{M+q} \left( \sigma_{\chi}^2 + \sigma_{H_c}^2 + \left( \frac{\sigma_{Pp}}{M} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (12)$$

Вважаючи похибки в початкових розмірах перед розбиттям ширини  $\sigma_{b_0}$ ,  $\sigma_{h_0}$  і  $\sigma_{h_{к\phi}}$  взаємозалежними і враховуючи (11), отримуємо вираз середньоквадратичного значення відхилення ширини прокату від заданої:

$$\begin{aligned} \sigma_b^{(\phi)} &= \left\{ \left( \sigma_{b_0} \frac{b_{\Xi} h_0^{(\phi)}}{b_0 h_0} \right)^2 + \left( \sigma_{h_0} \frac{b_0^{(\phi)} b_{\Xi}}{b_0 h_0} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{b_0^{(\phi)} h_0^{(\phi)}}{h_{к}^2} \sigma_{h_{к\phi}} \right)^2 \right\}^{1/2} \approx \\ &\approx \left\{ \left( \sigma_{b_0} \frac{b_{\Xi}}{b_0} \right)^2 + \left( \sigma_{h_0} \frac{b_{\Xi}}{b_0} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{b_0 h_0}{h_{к}^2} \sigma_{h_{к\phi}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (13) \end{aligned}$$

З виразу (13), враховуючи (12), задавши необхідну точність отримання заданої ширини  $\sigma_b$  і допуски на початкові розміри  $\sigma_{b_0}$  і  $\sigma_{h_0}$ , можна визначити вимоги до точності математичних моделей параметрів, що прогноуються на етапі розбиття ширини ( $P$  і  $d$ ).

Викладений в статті підхід до визначення вимог до точності математичних моделей параметрів прокатки був використаний під час розробки й упровадження автоматизованих систем керування процесом прокатки (АСК ТП) на товстолистових станах, зокрема на ТЛС 3600 Бхилайського металургійного заводу; ТЛС 3600 металургійного комбінату «Азовсталь»; ТЛС 2250 Алчевського металургійного комбінату. Розроблені згідно з цими вимогами математичні моделі показали високі результати щодо точності прогнозування і забезпечили необхідну точність реалізації заданих геометричних розмірів при автоматичному керуванні [3; 4; 5]. При цьому не перевищуються допустимі енергосилові параметри, а також не виникають порушення технології, які призводять до браку продукції.

У таблиці наведено параметри процесу прокатки на комбінаті «Азовсталь». Ці дані зареєстровані у вигляді протоколу, сформованого обчислювальним комплексом при автоматичному керуванні.

У протоколі кожному пропуску відповідають два рядки: перший – прогнозованим параметрам; другий – фактичним. Наведені фактичні параметри або заміряні, або розраховані. Виміри здійснювалися відповідними

**Параметри процесу прокатки в чистовій клітці стану 3600 (сляб 250 x 1650 x 2220; лист 009,0 x 2530 x 0011,8; марка Ст3)**

Номер пропуску	Розхил ненавантажених валків, мм	Товщина прокату, мм	Зусилля прокатки, тс	Момент прокатки, тм	Довжина прокату, мм
01	0017,7 0017,7	0025,4 0025,5	0000 4163	0000	00000 01414
02	0011,6 0011,6	0018,5 0018,5	3758 3743	1911	01948 01952
03	0006,8 0006,8	0014,1 0014,1	3983 3945	1763	02554 02558
04	0004,0 0004,0	0011,3 0011,3	3686 3710	1483	03188 03217
05	0003,6 0003,6	0009,2 0009,1	2872 3066	1032	03896 03938
Разом	2530,0	0009,1			

датчиками (розхил валків; зусилля прокатки), розрахунки – з використанням заміряних параметрів (момент прокатки, товщина і довжина прокату). У кінці кожного циклу (після слова «разом») наводиться задана ширина листа і середня по довжині прокату фактична товщина.

Рекомендовані операторові і автоматично відпрацьовувані величини обтискань по пропусках відповідають обмеженням енергосилових параметрів, що задаються для розрахунку. Отримано фактичні характеристики точності прокатки із застосуванням АСК ТП вище заданих (відповідно до технічного завдання). Це забезпечило істотну ефективність від їхнього застосування на стані 3600 системи автоматизації.

### Висновки

Описаний у статті підхід до визначення ви-

мог до точності математичних моделей параметрів прокатки виявив значну ефективність під час використання в АСК ТП ряду ТЛС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ієвлев М.Г.* Автоматизовані системи захисту устаткування прокатних клітей від перевантажень / М.Г. Ієвлев, В.Б. Корбут // Науково-технічна інформація. – 2011. – №4(50). – С. 50–53.
2. *Карасев А.И.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Статистика, 1970. – 343 с.
3. *Ієвлев М.Г., Грабовський Г.Г.* Математичні моделі і алгоритми керування в АСК ТП товстолистових прокатних станів. – К.: Техніка, 2001. – 248 с.
4. *Ієвлев М.Г.* Стратегії автоматичного керування режимами прокатки на товстолистових прокатних станах / М.Г. Ієвлев // Автоматизація виробничих процесів. – 2007. – №1(24).
5. *Грабовський Г.Г.* Принципи побудови і методи реалізації автоматизованої системи інформаційного супроводження металу в товстолистовому цеху / М.Г. Ієвлев, В.Б. Корбут, О.М. Гнеушев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Ч.1. – Т.1. – С. 130–131.

УДК 681. 335 (088.8)

## УНІВЕРСАЛЬНИЙ ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ



**О.Й. Рішан**, канд. техн. наук,  
**О.О. Пономаренко**,  
**Ю.Д. Захарчук**

**Постановка проблеми.** Ефективність функціонування сучасної інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) залежить від метрологічного забезпечення її нижнього рівня, яке гарантує надходження необхідної інформації в систему про стан об'єкта з необхідною точністю.

Нижній рівень ІАСУ включає в себе пер-

винні вимірювальні перетворювачі (ПВП) для вимірювання необхідних параметрів (фізичних величин, що характеризують протікання процесу в об'єкті управління), а також їхнього перетворення в аналогові уніфіковані сигнали за струмом або за напругою. При цьому якість метрологічного забезпечення визначається метрологічними характеристиками викорис-