

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.3

УДК 621.771.2

**Максименко О.П.**, д.т.н., професор, ORCID: 0000-0003-0846-9869,  
e-mail: 0976776379max@gmail.com

**Нікулін О.В.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-3509-7266, e-mail: av\_nikulin@ukr.net

**Самохвал В.М.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0585-7225, e-mail: volsamokhval@gmail.com

**Приймак А.Б.**, здобувач третього (доктор філософії) рівня, ORCID: 0009-0009-9070-643X,  
e-mail: personalrav\_@ukr.net

**Павлюк Р.Д.**, здобувач третього (доктор філософії) рівня, e-mail: shark1037p@gmail.com  
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

**Maksimenko Oleh**, Doctor of technical sciences, Professor of Metal Forming department

**Nikulin Oleksandr**, Candidate of technical sciences, Docent of Metallurgy department

**Samokhval Volodymyr**, Candidate of technical sciences, Docent of Metal Forming department

**Pryimak Anna**, Postgraduate student

**Pavlyuk Ruslan**, Postgraduate student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

## СТІЙКІСТЬ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ ТА ВИБІР РЕЖИМУ НАТЯЖІНЬ МЕТАЛУ В ДРОТЯНОМУ БЛОЦІ

*Аналіз поздовжньої стійкості процесів безперервної довгомірної прокатки з урахуванням натягнення прокату в міжклітьових проміжках є актуальним і має значне практичне значення. За результатами математичного моделювання проаналізовано вплив зміни режиму натягів розкату на поздовжню стійкість прокатки катанки діаметром 5,5 мм в дротяному блоці стану 400/200. При посиленні режиму натягнення погіршується поздовжня стійкість металу в валках, що при певних умовах призводить до прослизання розкату по валках. Тому при прокатці катанки в дротяному блоці питома напруга натягнення не повинна перевищувати (0,04...0,06) від середнього опору пластичній деформації в даному проході.*

**Ключові слова:** довгомірна прокатка; поздовжня стійкість; режим натягнення; опір пластичній деформації металу.

*The analysis of the longitudinal stability the continuous long rolling processes, taking into account the tension of rolled metals in the inter-stand intervals, is relevant and has significant practical value. Based on the results of mathematical modeling, the influence of changing the mode of specimen tensions on the longitudinal stability of rolling the wire rod with a diameter of 5.5 mm in the wire block of the 400/200 rolling mill was analyzed. With the growing of the tension value, the longitudinal stability of the metal in the rolls deteriorates, which, under certain conditions, leads to slippage of the specimen. Therefore, when rolling wire rod in a wire block, the specific tension stress should not exceed (0.04...0.06) of the average resistance to plastic deformation in this passage.*

**Keywords:** long rollin; longitudinal stability; tension mode; resistance to plastic deformation of metal.

### Постановка проблеми

Процеси прокатування на безперервних станах є більш складними у порівнянні з послідовним прокатуванням розкатів у окремо розміщених клітях. Відрізняються кінематичні умови руху прокату по клітях, а також практично завжди присутні натягнення зразків на вході та виході з осередків деформації [1, 4]. В результаті змінюються умови стабільного захоплення штаби і стабільність (стійкість) прокатування з виключенням пробуксовок металу, що пластично деформується [4].

У роботах [3—5] був розроблений метод визначення поздовжньої стійкості процесу прокатки і максимальної захоплюючої здатності валків в стаціонарному стані. Запропонований

метод заснований на розрахунку величини середніх результуючих внутрішніх поздовжніх сил пластичне деформованого металу  $Q_{срnp}$  при інтегруванні під поточним кутом  $\phi$  :

$$Q_{срnp} = \frac{1}{\alpha_y} \int_0^{\alpha_y} Q_{хnp} d\phi, \quad (1)$$

де  $Q_{хnp} = \sigma_x \cdot h_x \cdot b$  — поточна поздовжня сила;  $\sigma_x$  — продольное нормальное напряжение;  $h_x$  — поточне значення товщини смуги;  $b$  — середнє значення ширини смуги;  $\alpha_y$  — кут захвату в сталому режимі.

У фізичному сенсі  $Q_{срnp}$  визначається реакцією на дію зовнішніх сил у вигляді сили опору рухам металу (рис. 1). Від умов рівноваги в поздовжньому напрямку обраної зони вогнища деформації

$$2bR_k \cdot \left( - \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k_{ср}} \sin \theta d\theta + \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k_{ср}} \cos \theta d\theta \right) + \left( - \frac{\sigma_x}{2k_{ср}} h_x b \right) = 0,$$

де  $t_x > 0$  в зоні відставання,  $t_x < 0$  в зоні випередження.

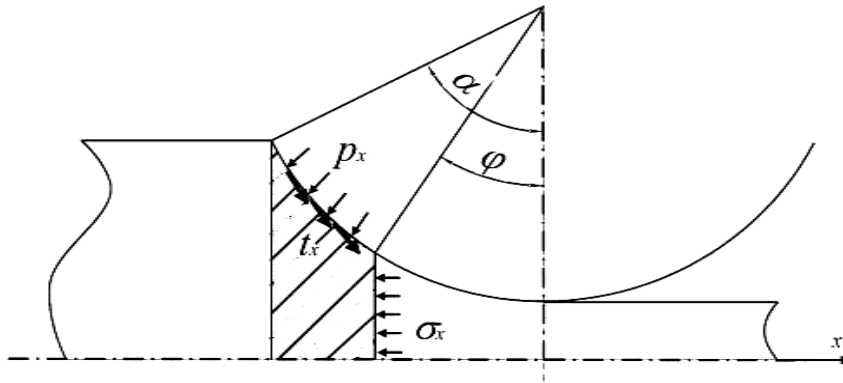


Рис. 1. Внутрішні та контактні напруження у осередку деформації

Встановлено, що середнє значення поздовжніх сил може бути використано як критерій поздовжньої стійкості:

$$\frac{2bR_k}{\alpha_y} \int_0^{\alpha_y} \left( - \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k_{ср}} \sin \theta d\theta + \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k_{ср}} \cos \theta d\theta \right) d\phi + \left( - \frac{1}{2k_{ср} \cdot \alpha_y} \int_0^{\alpha_y} Q_{хnp} d\phi \right) = 0.$$

Звідки

$$Q_{срnp} = 2bR_k \int_0^{\alpha_y} \left( - \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k_{ср}} \sin \theta d\theta + \int_{\phi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k_{ср}} \cos \theta d\theta \right) d\phi. \quad (2)$$

Тому, якщо поздовжнє результуюче зусилля спрямоване протилежне руху смуги  $-Q_{срnp} < 0$ , то процес прокатування здійснюється стійко, без часткового або повного прослизання. При

$$Q_{срnp} = 0 \quad (3)$$

прокатування здійснюється в граничних умовах.

При зміні знаку  $Q_{срnp}$  значення виразу в дужках з правого боку (2) стає від'ємним, тобто відштовхувальні контактні сили починають переважати втягуючі сили. В результаті почина-

ється прослизання по поверхні валка і процес припиняється. Далі зразок необхідно додатково проштовхнути для відновлення прокатування.

Гранична умова (3) більш жорстка, ніж більш відома в теорії прокатки умова

$$\gamma = 0 \quad (4)$$

для кута нейтрального поперечного перерізу  $\gamma$ . Умова (3) має особливе значення в разі безперервної прокатки з натягом смуги.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідники і виробничники приділяють увагу до впливу зміни режимів натягіння розкату при безперервній прокатці на технологічні параметри процесу [4, 6]. Методика розрахунку параметрів деформації, кінематики процесу і силових характеристик наведена в публікаціях [7, 8].

Але до теперішнього часу проблемі підтримки сталих режимів прокатування, відсутності можливості прослизання металу по валках із зупинкою поздовжнього руху не приділялося багато уваги.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження впливу натягіння розкату на стабільність процесу деформації при прокатуванні металу в дротяному блоці. Аналіз проводився для стану 400/200 при виготовленні катанки діаметром 5,5 мм.

#### Виклад основного матеріалу

Результати розрахунків геометричних і кінематичних параметрів прокатки у кожному з проходів, а також для відповідних смуг середнього тиску  $\frac{P_{cp}}{2k_{cp}}$  ( $2k_{cp}$  — середнього опору пластичної деформації металу), результуючих внутрішніх зусиль в безрозмірному вигляді  $Q_{cpnp}^{\bullet} = Q_{cpnp} / 2k_{cp} R_k b$  ( $R_k$  — катаючий радіус валків,  $b$  — середня ширина валка в даному проході), які виконувались за методикою [9], наведені в табл. 1 і табл. 1.1. Розміри  $h_0, h_1, b_0, b_1$  і швидкість прокатки  $v_0$  беруться із заводських даних.

Таблиця 1. Умови прокатування катанки діаметром 5,5 мм при досить малих натягіннях розкату

Геометричні та кінематичні параметри прокатування											
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_0$ , м/с	$v_1$ , м/с	$R_k$ , мм	$B_k$ , мм	$h_{ep}$ , мм	$t$ , мм
1	17,3	11,0	6,3	17,3	21,05	12,93	13,53	102,6	23,65	4,6	1,80
2	21,05	13,78	7,27	11,0	13,78	16,01	16,5	100,6	13,83	6,14	1,50
3	13,78	9,1	4,68	13,78	16,6	19,86	20,75	103,3	18,89	3,5	2,10
4	16,6	10,96	5,64	9,1	10,96	25,08	26,08	101,7	11,45	4,95	1,06
5	10,96	6,52	4,44	10,96	14,32	31,63	33,56	104,0	16,85	2,7	1,12
6	14,32	8,62	5,7	6,52	8,62	40,02	42,14	102,6	8,97	3,7	1,22
7	8,62	5,5	3,12	8,62	10,77	49,87	52,91	104,4	13,56	2,1	1,30
8	10,77	6,85	3,92	5,5	6,85	63,21	66,75	103,3	7,27	2,92	1,01
9	6,85	4,36	2,49	6,85	8,49	79,6	84,62	104,7	10,24	1,6	1,16
10	8,49	5,5	3,0	4,36	5,5	98,0	103,79	103,8	5,76	2,18	1,14

Таблиця 1.1. Умови прокатування при переході до відповідної штаби

Геометричні розміри розкату після переходу до відповідної штаби												
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha$ , рад	$Q_{cp, np}^*$	$p_{cp}/2k_{cp}$	$\gamma$ , рад	$R\gamma^2/h_1$	$q_0$	$q_1$
1	15,33	9,75	5,58	15,33	18,65	0,233	-0,016	1,152	0,066	0,045	0	0,025
2	18,65	12,21	6,44	9,75	12,21	0,253	-0,011	1,084	0,062	0,032	0,025	0,025
3	12,21	8,06	4,15	12,21	14,71	0,200	-0,014	1,17	0,06	0,046	0,025	0,025
4	14,71	9,71	4,99	8,06	9,71	0,222	-0,013	1,127	0,062	0,040	0,025	0,03
5	9,71	5,78	3,94	9,71	12,69	0,195	-0,015	1,247	0,059	0,062	0,03	0,03
6	12,69	7,64	5,05	5,78	7,64	0,222	-0,013	1,16	0,063	0,053	0,03	0,05
7	7,64	4,87	2,77	7,64	9,54	0,163	-0,014	1,266	0,054	0,062	0,05	0,05
8	9,54	6,07	3,47	4,87	6,07	0,183	-0,013	1,197	0,057	0,056	0,05	0,06
9	6,07	3,86	2,21	6,07	7,53	0,145	-0,014	1,349	0,049	0,064	0,06	0,02
10	7,53	4,87	2,66	3,86	4,87	0,160	-0,016	1,318	0,053	0,06	0,02	0

Примітки:  $h_0$  і  $h_1$  — товщина розкату на вході і виході з осередку деформації;  $\Delta h$  — абсолютне обтиснення;  $v_1$  — швидкість розкату при вході з осередку деформації;  $v_s$  — швидкість поверхні валків;  $b_0$  і  $b_1$  — ширина розкату до і після проходу;  $R_k$  — катаючий радіус валка;  $B_k$  — ширина калібру;  $h_{sp}$  — глибина врізу калібру;  $t$  — зазор;  $\alpha$  — кут захоплення металу валками;  $\gamma$  — кут нейтрального перерізу;  $p_{cp}/2k_{cp}$  — безрозмірний тиск;  $q_0 = \sigma_0/(2k_{cp})$  і  $q_1 = \sigma_1/(2k_{cp})$  — безрозмірні задне і передне питомі натягіння.

Розрахунки цих параметрів проводилися при порівняно малих натягіннях розкату  $q_0 = \frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$  і  $q_1 = \frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$  ( $\sigma_0, \sigma_1$  — питомі задній і передній натяг відповідно).

Як показано в [10], у міру зношування валків відбувається підвищення напружень в міжклітинних проміжках дротяного блоку, і зменшення ширини розкату.

Тому рекомендується вести прокатку при напруженнях, які складають  $(0,01...0,03)\sigma_{T_{cp}}$ . У всіх проходах дротяного блоку коефіцієнт тертя приймався рівним  $f_y = 0,26$ , що узгоджується з результатами досліджень в [12, 13].

Аналізуючи дані, наведені в табл. 1 і табл. 1.1, відзначимо, що результати розрахунків показують стабільність процесу прокатки у всіх клітках дротяного блоку. У кожному проході результуюча дії сил пластичне деформованого металу приймає від'ємне значення, її напрямок протилежний напрямку руху розкату. Поздовжня стійкість процесу приблизно однакова у всіх клітках, так як результуюча сила змінюється в порівняно вузькому діапазоні. Використання результатів розрахунків  $Q_{cp, np}^*$  в якості критерію відповідає практичним даним прокатки катанки діаметром 5,5 мм в дротяному блоці стану 400/200.

Результати розрахунку параметрів прокатки катанки зі збільшенням натягіння (закріпленням режиму) в міжклітинних інтервалах дротяного блоку наведені в табл. 2 і табл. 2.1.

У зв'язку зі зміною питомих напружень розкату дещо змінилися геометричні і кінематичні параметри прокатування у клітках безперервного стану, зв'язок між якими встановлюється за допомогою закону сталості секундних об'ємів металу. Порівнюючи значення  $Q_{cp, np}^*$  при двох режимах натягів прокату, слід підкреслити, що поздовжня стійкість смуги при збільшенні натягу значно поступає початковому процесу.

Таблиця 2. Умови прокатування катанки діаметром 5,5 мм при досить великих натяжіннях розкату

Геометричні та кінематичні параметри прокатування								
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_B$ , м/с	$v_1$ , м/с	$R_k$ , мм
1	17,30	10,80	6,5	17,3	21,13	12,93	13,67	102,7
2	21,13	13,74	7,39	10,80	13,74	16,01	16,52	100,6
3	13,74	8,60	5,14	13,74	17,45	19,86	20,79	103,4
4	17,45	10,94	6,51	8,60	10,94	25,08	26,08	101,7
5	10,94	6,32	4,62	10,94	14,76	31,63	33,44	104,0
6	14,76	8,67	6,09	6,32	8,67	40,02	41,54	102,6
7	8,67	5,10	3,57	8,67	11,60	49,87	52,71	104,5
8	11,60	6,83	4,77	5,10	6,83	63,21	66,81	103,3
9	6,83	4,19	2,64	6,83	8,87	79,6	83,90	104,8
10	8,87	5,51	3,37	4,19	5,51	98,0	102,9	103,8

Таблиця 2.1. Умови прокатування при переході до відповідної штаби

№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q^*_{ср\ np}$	$p_{ср}/2k_{ср}$	$\gamma_p$	$S$	$q_0$	$q_1$
1	15.33	9,57	5,76	15.33	18.73	0.237	-0.0147	1,14	0.069	0.051	0	0.065
2	18.73	12,18	6,55	9,57	12,18	0.255	-0.0032	1,026	0.062	0.032	0.065	0.08
3	12,18	7,62	4,56	12,18	15,46	0.210	-0.0075	1,094	0.06	0.049	0.08	0.1
4	15,46	9,69	5,77	7,62	9,69	0.238	-0.0011	1,007	0.061	0.039	0.1	0.135
5	9,69	5,6	4,09	9,69	13,08	0.198	-0.0028	1,06	0.056	0.058	0.135	0.15
6	13,08	7,68	5,4	5,60	7,68	0.229	-0.0019	0,98	0.056	0.041	0.15	0.16
7	7,68	4,52	3,16	7,68	10,28	0.174	-0.0059	1,13	0.051	0.06	0.16	0.13
8	10,28	6,05	4,23	4,52	6,05	0.202	-0.0042	1,063	0.058	0.057	0.13	0.165
9	6,05	3,71	2,34	6,05	7,86	0.149	-0.0079	1,214	0.045	0.057	0.165	0.08
10	7,86	4,88	2,98	3,71	4,88	0.169	-0.0128	1,253	0.05	0.05	0.08	0

Наприклад, при значних напругах металу прокатка в другій, четвертій і п'ятій клітках здійснюється на границі буксування. У шостому проході процес не реалізується, тому що сила  $Q^*_{ср\ np}$  додатна і, отже, полегшує процес, стає активною. Це суперечить фізичній природі результуючої сили.

#### Висновки

Процес прокатки зі збереженням поздовжньої стійкості можливий тільки в тому випадку, коли середня результуюча дії внутрішніх поздовжніх сил в осередку деформації спрямована протилежно руху металу.

Збільшення натягів штаби в міжклітьових проміжках дротяного блоку завжди призводить до деякого зниження стійкості процесу деформації металу в валках. Тому рекомендації встановлювати у дротяному блоці питомі натяги не більше  $(0,04 \dots 0,06) \cdot 2k_{ср}$  для кожного з осередків деформації слід визнавати правильними не тільки через знос валків, але і через можливу втрату поздовжньої стійкості металу в валках.

#### Список використаної літератури

1. Старченко Д.І. Динаміка поздовжньої прокатки. Київ, 1995.
2. Капланов В.И. Высокоскоростная холодная прокатка тонких полос: монография. К.: Вища школа, 1993. 254 с.

3. Максименко О.П., Никулин А.В., Романюк Р.Я. Теоретический анализ захватывающей способности валков в установившемся режиме прокатки. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2008. № 10. С. 32—34
4. Максименко О.П., Лобойко Д.И., Измайлова М.К. Продольная устойчивость полосы в валках с анализом контактных условий. Днепропетровск: ДГТУ. 2016. 213 с.
5. Максименко О.П., Нікулін О.В., Самохвал В.М. та ін. Системний підхід, методи досліджень процесів прокатування з аналізом поздовжньої сталості. Кам'янське: ДДТУ, 2021. 347 с.
6. Биба Н.В., Штода М.Н. Влияние переднего натяжения на деформированное состояние круглых полос в овальном калибре. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ, 2020. Вип. 2 (37). С. 17—22.
7. Горбанев и др. Давление и момент прокатки в высокоскоростных чистовых блоках проволочных станов с учетом массовых сил в зонах деформации. *Литье и металлургия*. 2001. № 3. С. 70—74.
8. Горбанев А.А., Жучков С.Н., Филиппов В.В. и др. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. Мн.: Виш. шк., 2003. 267 с.
9. Максименко О.П., Нікулін О.В., Приймак А.Б. Інженерна методика розрахунків розмірів калібрів при безперервній сортової прокатці//*International Science Journal of Engineering and Agriculture*. 2023. Vol. 2, No. 2, P. 82—90.
10. Лохматов А.П., Жучков С.М., Кулаков Л.В. Безперервна прокатка сортового стану з використанням неприводних робочих клітей. Наукова думка, 1998. 106 с.
11. Максименко О.П., Нікулін О.В., Лобойко Д.І. та ін. Дослідження впливу умов тертя на показники процесу прокатки в дротовому блоці. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2021. № 1(38). С. 25—32.
12. Максименко О.П., Самохвал В.М., Оробцев А.Ю. та ін. Моделювання процесу прокатування в клітях дротового блоку. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2020. № 3. С. 59—68.

## STABILITY OF THE ROLLING PROCESS AND SELECTION OF THE METAL TENSION MODE IN THE WIRE ROD

### Abstract

The analysis of continuous long rolling processes taking into account the tension of the rolled specimen in the inter-stand intervals is relevant and has significant practical significance. Determination of standard machining modes with the exception of partial or complete slippage is based on estimates the longitudinal stability of the process using the average resulting internal forces of the plastically deformable metal. The issue of the longitudinal stability is the particular importance in continuous rolling with strip tension, when the rear tension of the specimen is greater than the front tension.

The article analyzes the influence of the changes in specimen tension mode on the longitudinal stability of rolling at wire rod with a diameter of 5.5 mm in a wire block at mill 400/200. Taking into account the equilibrium of contact and internal forces in a plastic deformed metal, it is shown that a stable flow of metal in the deformation zone is possible only with average resultant longitudinal internal forces directed opposite to the movement of the metal in the rolls. With the changing in the tension mode (with an increase in their values), the longitudinal stability of the metal in the rolls deteriorates, which under certain conditions leads to slippage. Therefore, when rolling wire rod in a wire block, the specific stress should not exceed (0.04...0.06) of the average resistance to plastic deformation in this pass.

### References

- [1] Starchenko D. I. (1995) *Dynamika pozdovzhnoi prokatky [Dynamics of longitudinal rolling]*. Kyiv [in Ukrainian].
- [2] Kaplanov V.I. (1993). *Visokoskorostnaya kholodnaya prokatka tonkikh polos: monografiya. [High-speed cold rolling of thin strips monograph]*. K.: Vishcha shkola. 254 p. [in Ukrainian].

- [3] Maksimenko O.P., Nikulin A.V., Romanyuk R.Ya. (2008). Teoreticheskii analiz zakhvativayushchei sposobnosti valkov v ustanovivshemsya rezhime prokatki [Theoretical analysis of rolls gripping capacity in steady rolling mode.]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. №10. P. 32—34. [in Ukrainian].
- [4] Maksimenko O.P., Loboiko D.I., Izmailova M.K. (2016). *Prodolnaya ustoichivost poloski v valkakh s analizom kontaktnikh uslovii* [Longitudinal stability of strip in rolls with analysis of contact conditions]. Dneprodzerzhinsk: DGTU. 213 p. [in Ukrainian].
- [5] Maksimenko O.P., Nikulin O.V., Samokhval V.M. ta in. (2021). *Sistemnii pidkhid, metodi doslidzhen protsesiv prokatuvannya z analizom pozdovzhnoi stalosti* [Systematic approach, research methods for rolling processes with longitudinal stability analysis]. Kam'yanke: DDTU. 347 p. [in Ukrainian].
- [6] Biba N.V., Shtoda M.N. (2020). Vliyanie perednego natyazheniya na deformirovannoe sostoyanie kruglykh polos v ovalnom kalibre [Effect of forward tension on deformed state of round strips in oval gauge]. *Zbirnik naukovikh prats Dniprovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu (tekhnichni nauki)*. Kam'yanke: DDTU. Vip. 2 (37). P. 17—22. [in Ukrainian].
- [7] Gorbanev i dr. (2001). Davlenie i moment prokatki v visokoskorostnykh chistovykh blokakh provolochnykh stanov s uchetom massovykh sil v zonakh deformatsii [Pressure and rolling moment in high-speed finishing blocks of wire mills taking into account mass forces in deformation zones]. *Lite i metallurgiya*. № 3. P. 70—74. [in Ukrainian].
- [8] Gorbanev A.A., Zhuchkov S.N., Filippov V.V. i dr. (2003). *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovi visokoskorostnoi prokatki katanki* [Theoretical and technological bases of high-speed rod rolling]. Mn.: Vish. shk. 267 p. [in Ukrainian].
- [9] Maksimenko O.P., Nikulin O.V., Priimak A.B. (2023). Inzhenerna metodika rozrakhunkiv rozmiriv kalibriv pri bezperervnii sortovii prokatsi [Engineering methodology for calculating gauge dimensions in continuous section rolling]. *International Science Journal of Engineering and Agriculture*. Vol. 2, No. 2, pp. 82—90. [in EU].
- [10] Lokhmatov A.P., Zhuchkov S.M., Kulakov L.V. (1998). *Bezperervna prokatka sortovoho stanu z vykorystanniam nepryvodnykh robochykh klitei* [Continuous rolling of a long strip mill using non-driven stands.]. Naukova dumka. 106 p. [in Ukrainian].
- [11] Maksimenko O.P., Nikulin O.V., Loboiko D.I. ta in. (2021). Doslidzhennya vplyvu umov tertya na pokazniki protsesu prokatki v drotovomu blotsi [Investigation of the influence of friction conditions on the rolling process parameters in a wire rod block]. *Zbirnik naukovikh prats Dniprovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu (tekhnichni nauki)*. № 1(38). P. 25—32. [in Ukrainian].
- [12] Maksimenko O.P., Samokhval V.M., Orobtssev A.Yu. ta in. (2020). Modelyuvannya protsesu prokatuvannya v klityakh drotovogo bloku [Modeling of the rolling process in the wire rod stands]. *Metallurgiya ta gornichorudna promislovist*. № 3. P. 59—68. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 29.01.2024