

DOI: 10.31319/2519-2884.tm.2024.13

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\_nikulín@ukr.net

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

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

**Maksimenko Oleg**, Doctor of technical sciences, Professor of Metallurgy department

**Nikulín Alexander**, Candidate of technical sciences, Associate Professor of Metallurgy department

**Pryimak Anna**, Postgraduate student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

### ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ ПРОЦЕСУ ПРОКАТУВАННЯ В ДРОТОВОМУ БЛОЦІ

*Однією з тенденцій розвитку металургійного виробництва є вдосконалення виготовлення катанки в дротових блоках. Ефективні технічні рішення потребують наукового обґрунтування що ґрунтується на результатах досліджень. Важливу роль при оцінюванні граничних умов для можливості сталої прокатки металу відіграє результуюча поздовжніх сил пластично оброблюваного металу. Оцінка поздовжньої стійкості штаби в валках свідчить про те, що процес реалізується при від'ємних значеннях сили, нульове значення є граничним, а при додатних значеннях процес неможливий. Проведений аналіз процесу деформації в дротовому блоці стану 200. Дослідження показують, що теоретичним шляхом можна визначати границі саморегулювання процесу прокатування у дротовому блоці в умовах зовнішніх дій на об'єкт. Методика дозволяє оцінювати межі саморегулювання не лише за змінами розмірів заготовки, але й за величиною зносу калібрів на валках, відповідно до змін у а також за змінами мов тертя, температури штаби та інших параметрів.*

**Ключові слова:** катанка, дротовий блок, поздовжня стійкість, технологічні параметри, саморегулювання процесу.

*One of the trends in the development of metallurgy is the improvement at wire rod production in wire blocks. Effective technical solutions require scientific justification based on research results. An important role in assessing the boundary conditions for the possibility of stable rolling of metal is played by the resulting longitudinal forces of the plastic metal being processed. The estimation of the longitudinal stability of the work in the rolls is as follows: the process is implemented at negative force values, zero value is the limit, at positive values the process is impossible. An analysis of the deformation process in a wire block of the rolling mill 200 was carried out. The study reflects that theoretically it is possible to find the limits of self-regulation of the deformation modes in a wire block in the case of external actions on the object. When implemented, the design technique makes it possible to assess the limits of self-regulation not only by changes in the size of the workpiece, but at the amount wear of gauges on the rolls, in accordance with changes in friction conditions, temperature of the strip and other parameters.*

**Keywords:** wire rod, wire block, longitudinal stability, technological parameters, self-regulation of the process.

### Постановка проблеми

Однією з провідних тенденцій розвитку сучасного металургійного виробництва є вдосконалення виготовлення катанки. Для діючих дротових станів актуальним є ефективне використання можливостей устаткування не лише для підвищення якості продукції а також для запобігання

втрат металу та інших ресурсів під час налаштування режимів виготовлення продукції [1]. Ефективні технічні рішення вимагають наукового обґрунтування, отриманого в результаті досліджень. Як правило, перевагами теоретичних досліджень у порівнянні з експериментальними є менші витрати і можливість охоплення великих областей зміни параметрів [2]. Для прокатки теоретичні дослідження природно починати з моделювання процесу в осередку деформації.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Згідно з поширеними теоретичними уявленнями, при прокатуванні кут нейтрального перерізу  $\gamma$  є показником рівноваги сил в осередку деформації внаслідок зовнішніх дій. У разі зміни параметрів процесу коригується швидкісний що призводить до нового сталого рівноважного стану металу в валках та зміни нейтрального кута. Теоретично ресурс сил тертя, необхідних для реалізації прокатування, існує за наявності зони випередження в осередку деформації. У цьому випадку стійкість процесу обробки, тобто наявність саморегулювання під впливом зовнішніх факторів, обмежена додатними значеннями кута  $\gamma$ . Гранична умова стійкості процесу  $\gamma = 0$ . Проте дослідження О.П. Грудєва та інших вчених показали, що порушення умов рівноваги сил в осередку деформації внаслідок зміни параметрів з повним або частковим буксуванням металу, можливі за умови  $\gamma > 0$  тобто при існуванні зони випередження. Для теоретичного прояснення цієї ситуації був проведений аналіз взаємодії контактних і внутрішніх сил (напружень) в осередку деформації [3]. Важливу роль у оцінці граничних умов прокатування відіграє результуюча поздовжня сила пластично деформованого металу  $Q_{српр}^*$  [3]. За фізичним змістом, вектор цієї сили, як сили опору руху штаби, не може бути спрямованим у напрямку руху штаби. Тому значення  $Q_{српр}^*$  не можуть бути додатними. На основі аналізу сили  $Q_{српр}^*$  в роботі [3] пропонується оцінка поздовжньої стійкості штаби в валках (можливості сталої прокатки металу), яка зводиться до наступного: процес реалізується при від'ємних значеннях  $Q_{српр}^*$ , нульове значення є граничним, при додатних значеннях процес неможливий.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз впливу параметрів осередку деформації та силових умов на поздовжню стійкість процесу прокатування катанки діаметром 5,5 мм в дровому блоці стану 200 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Також передбачається оцінка можливості саморегулювання процесу при зміні розмірів заготовки.

#### Виклад основного матеріалу

Проектні розрахунки параметрів прокатування катанки в дровому блоці стану 400/200 виконувалися відповідно до методики кінетичного моделювання геометричних, кінематичних і силових параметрів [4]. Основою методики є вибір кута захвату  $\alpha_y$  при узгодженні кінематичних умов з умовами рівноваги сил в даному проході. Для цього виконувалася рівність:

$$\gamma_k = \gamma_p, \quad (1)$$

де  $\gamma_k$  — кінематичний кут нейтрального перерізу, рівний

$$\gamma_k = \sqrt{\frac{S \cdot h_1}{R}}, \quad (2)$$

$\gamma_p$  — кут нейтрального перерізу, отриманий при розв'язанні диференціального рівняння Т. Кармана рівноваги сил в осередку деформації.

В розрахунках використовувався закон сталості секундних об'ємів металу  $v_{cek} = const$  і метод відповідної смуги. За відомою лінійною швидкістю валків визначали вищевказані параметри та значення  $Q_{српр}^*$  у кожному проході в дровому блоці. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунку параметрів при прокатування катанки діаметром 5,5 мм

№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_0$ , м/с	$v_B$ , м/с	$v_1$ , м/с	$S_k$	$R_k$ , мм
1	17,30	11,00	6,30	17,30	21,05	10,47	12,93	13,53	0,047	102,6
2	21,05	13,78	7,27	11,00	13,78	13,53	16,01	16,50	0,031	100,6
3	13,78	9,10	4,68	13,78	16,60	16,50	19,86	20,75	0,045	103,3
4	16,60	10,96	5,64	9,10	10,96	20,75	25,08	26,08	0,040	101,7
5	10,96	6,52	4,44	10,96	14,32	26,08	31,63	33,56	0,061	104,0
6	14,32	8,62	5,70	6,52	8,62	33,56	40,02	42,14	0,053	102,6
7	8,62	5,50	3,12	8,62	10,77	42,14	49,87	52,91	0,061	104,4
8	10,77	6,85	3,92	5,50	6,85	52,91	63,21	66,75	0,056	103,3
9	6,85	4,36	2,49	6,85	8,49	66,75	79,60	84,62	0,063	104,7
10	8,49	5,50	3,00	4,36	5,50	84,62	98,00	103,79	0,059	103,8

продовження таблиці 1

Геометричні розміри розкату, приведені до відповідної смуги та інші параметри												
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q_{српр}^*$	$p_{ср}/2k_{ср}$	$\gamma_p$ , рад	$R\gamma_p^2/h_1$	$q_0$	$q_1$
1	15,33	9,75	5,58	15,33	18,65	0,233	-0,0158	1,1517	0,0655	0,0452	0	0,025
2	18,65	12,21	6,44	9,75	12,21	0,253	-0,0107	1,0838	0,0623	0,0320	0,025	0,025
3	12,21	8,06	4,15	12,21	14,71	0,200	-0,0143	1,1696	0,0597	0,0457	0,025	0,025
4	14,71	9,71	4,99	8,06	9,71	0,222	-0,0130	1,1270	0,0620	0,0402	0,025	0,03
5	9,71	5,78	3,94	9,71	12,69	0,195	-0,0152	1,2470	0,0586	0,0618	0,03	0,03
6	12,69	7,64	5,05	5,78	7,64	0,222	-0,0131	1,1597	0,0625	0,0525	0,03	0,05
7	7,64	4,87	2,77	7,64	9,54	0,163	-0,0137	1,2662	0,0537	0,0619	0,05	0,05
8	9,54	6,07	3,47	4,87	6,07	0,183	-0,0127	1,1969	0,0574	0,0561	0,05	0,06
9	6,07	3,86	2,21	6,07	7,53	0,145	-0,0141	1,3487	0,0486	0,0642	0,06	0,02
10	7,53	4,87	2,66	3,86	4,87	0,160	-0,0164	1,3181	0,0530	0,0598	0,02	0

Примітки:  $h_0$  і  $h_1$  — товщина розкату на вході і виході з осередку деформації;  $\Delta h$  — абсолютне обтиснення;  $b_0$  і  $b_1$  — ширина розкату на вході і виході з осередку деформації;  $v_0$  і  $v_1$  — швидкість розкату при вході і виході з кліті;  $v_B$  — швидкість валків;  $R_k$  — катаючий радіус валка;  $\alpha_y$  — кут захоплення при сталому процесі;  $p_{ср}/2k_{ср}$  — безрозмірний середній тиск;  $\gamma$  — кут нейтрального перерізу;  $q_0 = \sigma_0/(2k_{ср})$  та  $q_1 = \sigma_1/(2k_{ср})$  — безрозмірні задне і передне питомі натягіння.

Аналізуючи розрахункові значення геометричних параметрів з таблиці калібрування важливо підкреслити, що вони близькі до реальних, які прийняті ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» при виготовленні катанки діаметром 5,5 мм у дрововому блоці стану 200. У всіх проходах безрозмірна сила  $Q_{српр}^*$  є від'ємною величиною, що свідчить про стійкість розкату у всіх проходах процесу. При цьому кут захвату  $\alpha_y$  в більшості проходів є досить близький до коефіцієнту тертя  $f_y = 0,26$  при рівномірному навантаженні клітей. Аналізуючи питомі натягіння металу між клітьями дровового блоку варто відзначити, що вони також відповідають рекомендаціям [5, 6]. Значення випередження  $S_k$  коливається в межах 3...6 %. Порівняно невелике збільшення випередження у перших проходах призводить до різкого зростання питомого натягіння  $q_0$  і  $q_1$  у всіх клітьях (дані табл. 2). При цьому знижується поздовжня стійкість процесу ( $Q_{српр}^*$  зменшується за модулем), і, зокрема, в шостій кліті стійке прокатування стає неможливим.  $Q_{српр}^* > 0$ .

Таблиця 2. Розрахункові значення параметрів прокатки при збільшенні питомих натяжін розкату

№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_0$ , м/с	$v_B$ , м/с	$v_1$ , м/с	$S_k$	$R_k$ , мм
1	17,30	10,80	6,50	17,30	21,13	10,42	12,93	13,67	0,057	102,7
2	21,13	13,74	7,39	10,80	13,74	13,67	16,01	16,52	0,032	100,6
3	13,74	8,60	5,14	13,74	17,45	16,52	19,87	20,79	0,046	103,4
4	17,45	10,94	6,51	8,60	10,94	20,79	25,06	26,08	0,041	101,7
5	10,94	6,32	4,62	10,94	14,76	26,08	31,63	33,44	0,057	104,0
6	14,76	8,67	6,09	6,32	8,67	33,44	39,98	41,54	0,039	102,6
7	8,67	5,10	3,57	8,67	11,60	41,54	49,92	52,71	0,056	104,5
8	11,60	6,83	4,77	5,10	6,83	52,71	63,21	66,81	0,057	103,3
9	6,83	4,19	2,64	6,83	8,87	66,81	79,60	83,90	0,054	104,8
10	8,87	5,51	3,37	4,19	5,51	83,90	98,00	102,90	0,050	103,8

продовження таблиці 2

Розміри відповідної смуги та інші параметри												
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha$ , рад	$Q_{ср. пр}^*$	$p_{ср}/2k$	$\gamma_p, рад$	$R\gamma_p^2/h_1$	$q_0$	$q_1$
1	15,33	9,57	5,76	15,33	18,73	0,237	-0,0147	0,0693	0,0516	0,0511	0	0,065
2	18,73	12,18	6,55	9,57	12,18	0,255	-0,0031	0,0616	0,0313	0,0310	0,065	0,08
3	12,18	7,62	4,56	12,18	15,46	0,21	-0,0079	0,0583	0,0461	0,0561	0,08	0,1
4	15,46	9,69	5,77	7,62	9,69	0,238	-0,0011	0,0615	0,0397	0,0397	0,1	0,135
5	9,69	5,60	4,09	9,69	13,08	0,201	-0,0048	0,0559	0,0582	0,0582	0,135	0,15
6	13,08	7,68	5,40	5,60	7,68	0,229	0,0020	0,0557	0,0414	0,0414	0,15	0,16
7	7,68	4,52	3,16	7,68	10,28	0,174	-0,0059	0,0506	0,0591	0,0596	0,16	0,13
8	10,28	6,05	4,23	4,52	6,05	0,202	-0,0042	0,0578	0,0571	0,0521	0,13	0,165
9	6,05	3,71	2,34	6,05	7,86	0,15	0,0454	0,0454	0,0581	0,056	0,165	0,08
10	7,86	4,88	2,98	3,71	4,88	0,17	0,0502	0,0502	0,0536	0,0530	0,08	0

Результати аналізу повністю відповідають висновкам дослідження [6], згідно з якими у перших проходах у дротовому блоці слід вести прокатування з мінімальним натягненням.

Одним з факторів, що впливають на розміри підкату, є знос валків, який може суттєво впливати на умови тертя під час прокатування. Для забезпечення точності в розрахунках коефіцієнт тертя було  $f_y = 0,3$ . В табл. 3 наведено результати розрахунків геометричних, кінематичних і енергосилових параметрів при прокатуванні заготовки діаметром 17,8 мм, що на 0,5 мм більше, ніж за даними табл. 1.

Очевидно, що геометричні та кінематичні параметри зазнали змін. Стійкість процесу зростає, а питома натягнення металу в цілому зберігає попередній рівень, хоча в перших клітках воно дещо знизилось [7]. При зростанні діаметру заготовки до 18,22 мм (на 0,92 мм більше порівняно з даними табл. 1) розрахункові значення наведені в табл. 4.

Аналіз показує, що починаючи з третього проходу, питомі натягнення металу між клітками, різко зростають, що призводить до зниження стійкості прокатування. У цьому проході значення  $Q_{ср. пр}^*$  стає додатним, що робить стійкий процес неможливим.

У наступних проходах  $Q_{ср. пр}^*$  також спостерігається додатне значення, оскільки сили, які втягують метал у валки, виявляються недостатніми

Таблиця 3. Режим деформації для виробництва катанки 5,5 мм із заготовки 17,8 мм

№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_0$ , м/с	$v_B$ , м/с	$v_1$ , м/с	$S_k$	$R_k$ , мм
1	17,80	10,90	6,40	17,30	21,11		12,93	16,62	0,054	102,7
2	21,11	13,71	7,39	10,90	13,71	16,62	16,01	16,96	0,043	100,6
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,96	19,86	20,86	0,052	103,3
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	20,86	25,06	26,26	0,048	101,7
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	26,26	31,63	33,89	0,071	104,0
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	33,89	39,98	42,38	0,060	102,6
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	42,38	49,78	51,99	0,044	104,2
8	9,13	6,88	2,24	6,60	6,88	51,99	63,21	66,19	0,046	103,3
9	6,88	4,20	2,68	6,68	8,65	66,19	79,60	86,24	0,083	104,8
10	8,65	5,47	3,18	4,20	5,47	86,24	98,00	104,73	0,069	103,8

продовження таблиці 3

Геометричні розміри розкату, приведені до відповідної смуги та інші параметри												
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q^*_{cp. np}$	$p_{cp}/2k_{cp}$	$\gamma_p$ , рад	$R\gamma_p^2/h_1$	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$
1	15,33	9,75	5,58	15,33	18,65	0,233	-0,0158	1,1517	0,0655	0,0452	0	0,025
2	18,65	12,21	6,44	9,75	12,21	0,253	-0,0107	1,0838	0,0623	0,0320	0,025	0,025
3	12,21	8,06	4,15	12,21	14,71	0,200	-0,0143	1,1696	0,0597	0,0457	0,025	0,025
4	14,71	9,71	4,99	8,06	9,71	0,222	-0,0130	1,1270	0,0620	0,0402	0,025	0,03
5	9,71	5,78	3,94	9,71	12,69	0,195	-0,0152	1,2470	0,0586	0,0618	0,03	0,03
6	12,69	7,64	5,05	5,78	7,64	0,222	-0,0131	1,1597	0,0625	0,0525	0,03	0,05
7	7,64	4,87	2,77	7,64	9,54	0,163	-0,0137	1,2662	0,0537	0,0619	0,05	0,05
8	9,54	6,07	3,47	4,87	6,07	0,183	-0,0127	1,1969	0,0574	0,0561	0,05	0,06
9	6,07	3,86	2,21	6,07	7,53	0,145	-0,0141	1,3487	0,0486	0,0642	0,06	0,02
10	7,53	4,87	2,66	3,86	4,87	0,160	-0,0164	1,3181	0,0530	0,0598	0,02	0

Таблиця 4. Режим деформування і стійкості процесу в перших проходах при виготовленні катанки 5,5 мм із заготовки діаметром 18,22 мм

№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$v_0$ , м/с	$v_B$ , м/с	$v_1$ , м/с	$S_k$	$R_k$ , мм
1	18,22	10,90	6,40	18,22	21,15	-	12,93	13,63	0,054	102,7
2	21,15	13,71	7,39	10,90	13,71	12,93	16,01	16,73	0,046	100,6
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,01	19,86	20,96	0,055	103,3
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	19,86	25,06	26,34	0,050	101,7
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	25,06	31,63	33,99	0,075	104,0
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	31,63	39,98	42,50	0,063	102,6
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	39,98	49,78	52,15	0,047	104,2

продовження таблиці 4

Геометричні розміри розкату, приведені до відповідної смуги та інші параметри												
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q^*_{cp. np}$	$p_{cp}/2k_{cp}$	$\gamma_p$ , рад	$R\gamma_p^2/h_1$	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$
1	16,14	9,66	5,67	16,14	18,75	0,251	-0,0233	1,22	0,0712	0,054	0	0
2	18,75	12,14	6,55	9,66	12,14	0,256	-0,0214	1,16	0,0745	0,046	0	0,025
3	12,14	8,24	3,9	12,14	14,29	0,194	-0,0187	1,21	0,0663	0,055	0,025	0,06
4	14,29	9,68	4,61	8,24	9,68	0,213	-0,0131	1,12	0,0695	0,051	0,06	0,107
5	9,68	5,85	3,83	9,68	12,41	0,192	-0,0120	1,18	0,0642	0,073	0,107	0,17
6	12,41	7,62	4,79	5,85	7,62	0,216	-0,0018	0,993	0,0684	0,063	0,17	0,265
7	7,62	5,85	1,77	7,62	8,09	0,130	0,0030	0,903	0,0512	0,046	0,265	0,34

### Висновки

Проведений аналіз процесу деформації в дротовому блоці стану 200 показав, що питомі натяжіння в клітях не можуть бути суттєвими через обмежений ресурс сил, які тягнуть метал у валки. Заднє натяжіння має значний вплив на поздовжню стійкість процесу. Кут захвату (в радіанах) повинен бути близьким до коефіцієнту тертя, особливо в перших проходах. Зі зростанням коефіцієнта тертя процес прокатування катанки в дротовому блоці стає більш стійким. Дослідження показує, що теоретичним шляхом можна визначати межі саморегулювання процесу прокатування у дротовому блоці під впливом зовнішніх факторів. Методика дозволяє оцінити межі саморегулювання не лише за змінами розмірів заготовки, але і за величиною зносу калібрів, змінами умов тертя, температури штаби та інших параметрів.

Актуальність використання сучасних розрахункових методик підкреслює важливість проектування та вдосконалення процесів виробництва прокатної продукції, а також підготовки спеціалістів у металургійній галузі.

### Список використаної літератури

1. Куваев В.Н., Карпинский Ю.П., Чигиринский В.А., Политов И.В., Иванов Д.А. Автоматизация действующих непрерывных прокатных станов на основе компьютерных технологий. *Наука та інновації*. 2006. Т. 2, № 3. С. 44—47.
2. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. Днепропетровск: «Системные технологии», 2005. 448 с.
3. Максименко О.П., Нікулін О.В., Самохвал В.М., Лобойко Д.І. Системний підхід, методи досліджень процесів прокатування з аналізом поздовжньої сталості. Кам'янське: ДДТУ, 2021. 347 с.
4. Максименко О.П., Нікулін О.В., Самохвал В.М., Приймак А.Б. Кінетичне моделювання прокатування катанки у дротовому блоці. *Математичне моделювання*. 2022. № 1(46). С. 63—70.
5. Горбанев А.А., Жучков С.В. & Филиппов В.В. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. Мн.: Выш. шк., 2003. 287 с.
6. Моторыгин М.Е., Белан А.К. Метод стабилизации натяжений в чистовом блоке с групповым приводом. *Производство проката*. 2008. № 11. С. 25—27.
7. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.

### INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON THE STABILITY BY ROLLING PROCESS IN THE WIRE BLOCK

#### Abstract

One of the leading trends in the development of modern metallurgical manufacturing is the improvement of wire rod production using wire blocks. For existing continuous rolling mills, it is important to maximize the use of equipment capabilities both to improve the quality of products and to reduce the loss of metal and other resources for the adjustment and realize of technological modes at production. Effective technical solutions require scientific justification based on research results.

To assess the boundary conditions of the stable rolling process, the average integral of the longitudinal forces at the plastically deformed metal is used. In physical terms, the vector of this force, which opposes the movement of the metal, can not be directed along the motion of the sample, so the values of the force itself cannot be positive. The assessment of the longitudinal stability of the strip in the rolls (the possibility of a stable rolling process) is as follows: the process is implemented at negative values of the force value, zero value is the limit, at positive values the process is impossible. Analysis of the deformation process in the wire block of rolling mill 200 proved that the specific stresses in the stands should be insignificant because the resource of the forces that draw the metal into the rolls is limited. A more significant influence on the longitudinal stability of the process is the back tension. To ensure the stability of the process, especially in the first passes, the grip angle must be close in value to the coefficient of friction. With an increase in the coefficient of friction, the rolling of

wire rod in the wire block becomes more stable. The results of the research show that in the case of external actions on the object, it is theoretically possible to find the limits of self-regulation for the rolling process in a wire block. When implemented, the technique makes it possible to assess the limits of self-regulation not only by changes in the size of the workpiece, but by the amount of gauges wear in the rolls, in accordance with changes in friction conditions, temperature of the strip and other parameters.

### References

- [1] Kuvaev V.N, Karpynskiy Yu.P., Chyhyrnytskyi V.A., Polyotov Y.V., Yvanov D.A. (2006) Avtomatizatsiya deystvuyushchikh nepreryvnykh prokatnykh stanov na osnove komp'yuternykh tekhnologiy [Automation of existing continuous rolling mills based on computer technology]. *Nauka i tekhnologii*. T. 2, № 3, P. 44—47 [in Russian].
- [2] Danchenko V.N., Milenin A.A., Kuz'menko V.I., Grinkevich V.A. *Komp'yuternoye modelirovaniye protsessov obrabotki metallov davleniyem. Chislennyye metody [Computer modeling of metal forming processes. Numerical methods.]*. Dnepropetrovsk: «Sistemnyye tekhnologii». 448 p. [in Russian].
- [3] Maksimenko O.P., Nikulin O.V., Samokhval V.M. ta in. (2021). *Sistemnii pidkhd, metodi doslidzhen protsesiv prokatuvannya z analizom pozdovzhnoi stalosti [Systematic approach, research methods for rolling processes with longitudinal stability analysis]*. Kam'yanske: DDTU. 347 p. [in Ukrainian].
- [4] Maksymenko O.P., Nikulin O.V., Samokhval V.M., Pryimak A.B. (2022) Kinetychne modelyuvannya prokatuvannya katanky u drotovomu blotsi [Kinetic modeling of rolling wire rod at a dart cylinder]. *Matematychni modelyuvannya*. № 1(46). P. 63—70. [in Ukrainian].
- [5] Gorbanev A.A., Zhuchkov S.V. & Filippov V.V. (2003) *Teoreticheskiye i tekhnologicheskyye osnovy vysokoskorostnoy prokatki katanki [Theoretical and technological foundations high speed rolling wire rod]*. Mn.: Vysh. shk. 287 p. [in Russian].
- [6] Motorygin M.Ye., Belan A.K. (2008) Metod stabilizatsii natyazheniy v chistovom bloke s gruppovym privodom [Method for stabilizing tension in a finishing block with a group drive]. *Proizvodstvo prokata*. № 11. P. 25—27 [in Russian].
- [7] Vasyl'ov YA.D., Minayev O.A. (2009) *Teoriya pozdovzhn'oyi prokatky [Theory of late rolling]*. Donetsk: UNITEKH. 488 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 25.09.2024