

УДК 621.771.01

**О. П. МАКСИМЕНКО, Е. В. КУЗЬМИН****АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ В ПРОВОЛОЧНОМ БЛОКЕ СТАНА 400/200 С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОСЫ В ВАЛКАХ**

Описаны результаты теоретического исследования для уточнения режимов обжатий и натяжений полосы, калибровки валков, кинематических и силовых параметров за счет применения методики оценки продольной устойчивости металла в валках при прокатке на непрерывных сортовых станах, в частности для высокосортного десятиклетового проволочного блока стана 400/200 ПАО «Днепропетровский меткомбинат». Описана методика расчета продольной устойчивости металла. Приведены результаты расчетов разных случаев деформации металла. Проанализированы данные теоретического расчета режимов деформаций, геометрических, кинематических, силовых параметров и дана оценка продольной устойчивости процесса.

**Ключевые слова:** прокатка, анализ, деформация, катанка, продольная устойчивость, режим деформации, проволочный блок.

Описані результати теоретичного дослідження для уточнення режимів обтиснень і натягів смуги, калібровки валків, кінематичних і силових параметрів за рахунок використання методики оцінки повздовжньої стійкості металу у валках при прокатуванні на неперервних сортових станах, зокрема для високосортного десятиклетового дротового блоку стана 400/200 ПАТ «Дніпровський меткомбінат». Описана методика розрахунку повздовжньої стійкості металу. Приведені результати розрахунків різних випадків деформації металу. Проаналізовано дані теоретичного розрахунку режимів деформації, геометричних, кінематичних, силових параметрів і дано оцінку повздовжньої стійкості процесу.

**Ключові слова:** прокатування, аналіз, деформація, катанка, повздовжня стійкість, режим деформації, дротовий блок.

The aim of the work was to clarify *raschetovrezhimov compression and tension bands kalibrovkivalkov*, kinematic and power parameters in rolling on continuous section mills, particularly in the wire mill 400/200 block, set for the application of methodology for assessing the sustainability of the longitudinal metal rolls. The results of the theoretical study to clarify modes of reductions and tensions of the band, rolls calibration, kinematic and power parameters through the application of methods of assessing longitudinal stability of the metal in rolls when rolling in a continuous section mills, in the high-speed wire rod ten-stand block of 400/200 rolling mill PSJC «Dneprovsky Integrated Iron&Steel Works». The described method of calculating the longitudinal stability of the metal. The results of calculations of different cases of metal deformation. Analyzed the data of theoretical calculation of modes of deformation, geometric, kinematic, force parameters and the estimation of the longitudinal stability of the process. The performed strain analysis of metal in a wire mill 400/200 block shows that specific tension on the crate can not be significant, because stock retractors metal rolls forces is limited. The rear tension bands more significant effect on the longitudinal process stability. capture angle should be close to the coefficient of friction, especially in the first pass. With the increase in friction coefficient in rolling metal wire unit becomes more stable.

**Keywords:** rolling, analysis, deformation, wire rod, longitudinal stability, mode of deformation, wire block

**Введение.** В работах [1–3], на основе вычисления текущих внутренних продольных сил в очаге деформации и определения их

среднеинтегрального значения  $Q_{ср.пр.}^*$ , предложена методика расчета предельных условий прокатки, захватывающей способности валков и оценки продольной устойчивости полосы в контакте с рабочим инструментом. Из анализа приведенной выше литературы следует, что в условиях

прокатки, когда вектор силы  $Q_{ср.пр.}^*$  направлен противоположно движению полосы, процесс прокатки совершается устойчиво без частичных

пробуксовок. При  $Q_{ср.пр.}^* = 0$  прокатка ведется в предельном режиме, а в случае, когда эта сила становится положительной процесс невозможен. Согласно разработанной исследователями [2,3] методики возможен случай потери равновесия полосы в валках с последующей пробуксовкой при наличии зоны опережения. Этот взвод подтверждается экспериментально [4].

Следовательно, условие  $\gamma = 0$  ( $\gamma$ -угол нейтрального сечения) не всегда характеризует предельные условия прокатки. Учет средней результирующей силы пластически

деформируемого металла крайне необходим при расчете геометрических, кинематических и силовых параметров при непрерывной прокатке особенно в случае, когда заднее натяжение полосы больше переднего.

**Цель работы.** В связи с изложенным, цель настоящей работы заключалась в уточнении расчетов режимов обжатий и натяжений полосы, калибровки валков, кинематических и силовых параметров при прокатке на непрерывных сортовых станах, в частности в проволочном блоке стана 400/200 ПАО «ДМКД», за счет применения методики оценки продольной устойчивости металла в валках.

Заметим, что при расчете геометрических и кинематических параметров реальной полосы сходили из закона постоянства секундных объемов металла. При определении режимов натяжения и силовых параметров использовали метод соответственной полосы [5]. Среднеинтегральное значение продольной результирующей силы определяли на основе численного решения уравнения Т. Кармана при кулоновской модели трения с применением метода последовательных приближений.

**Результаты работы.** Рассмотрим результаты расчета режима обжатий и других параметров при прокатке проволоки диаметром 5,5 мм из круга

17,3 мм, представлених в табл. 1. В ній також приведені виробничі дані по швидкості прокатки  $V_0$ , ширини  $B_k$  і глибини вріза  $h_{вр}$  калибрів. Розміри реальної полоси в кожному проході ( $h_0; h_1$ ) показані для вершин калибрів.

Поясним деякі елементи процедури розрахунку на прикладі прокатки в першій клітині проволочного блоку. Впочатку задаємося обжаттям реальної полоси  $\Delta h = 6,4$  мм. При цьому  $h_1 = 10,9$  мм.

Таблиця 1 – Параметри деформації і продольна стійкість процесу при прокатці катанки Ø5,5 мм з коефіцієнтом трия  $f_y = 0,26$

Реальні геометричні розміри металу і інші параметри															
№	$h_0$ , 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	$S_n$	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$F_1$ , мм <sup>2</sup>	$R_k$ , мм	$B_k$ , мм	$h_{вр}$ , мм	Зазор, мм
1	17,30	10,90	6,40	17,30	21,09	10,42	12,93	13,56	0,049	234,9	180,4	102,7	23,65	4,6	1,70
2	21,09	13,74	7,36	10,90	13,74	13,56	16,01	16,52	0,032	180,4	148,1	100,6	13,83	6,14	1,46
3	13,74	9,30	4,44	13,74	16,17	16,52	19,86	20,73	0,044	148,1	118,0	103,3	18,89	3,5	2,30
4	16,17	10,99	5,19	9,30	10,99	20,73	25,06	25,83	0,031	118,0	94,7	101,7	11,45	4,95	1,09
5	10,99	6,60	4,39	10,99	14,09	25,83	31,63	33,53	0,060	94,7	72,9	104,0	16,85	2,7	1,20
6	14,09	8,58	5,51	6,60	8,58	33,53	39,98	42,37	0,060	72,9	57,7	102,6	8,97	3,7	1,18
7	8,58	6,60	1,98	8,58	9,14	42,37	49,78	51,67	0,038	57,7	47,3	104,2	13,56	2,1	2,40
8	9,14	6,88	2,27	6,60	6,88	51,67	63,21	65,92	0,043	47,3	37,1	103,3	7,27	2,92	1,04
9	6,88	4,20	2,68	6,88	8,76	65,92	79,60	84,78	0,065	37,1	28,8	104,8	10,24	1,6	1,00
10	8,76	5,50	3,26	4,20	5,50	84,78	98,00	103,20	0,053	28,8	23,7	103,8	5,76	2,18	1,14
Геометричні розміри металу, приведені до відповідної полоси і інші параметри															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q_{ср.пр}^*$	$p_{ср}/2k$	$\gamma$	$R\gamma^2/h_1$	$q_0$	$q_1$			
1	15,33	9,66	5,67	15,33	18,69	0,235	-0,0156	1,1509	0,0660	0,0463	0	0,03			
2	18,69	12,17	6,52	9,66	12,17	0,255	-0,0095	1,0754	0,0626	0,0324	0,03	0,035			
3	12,17	8,24	3,93	12,17	14,33	0,195	-0,0130	1,1518	0,0589	0,0435	0,035	0,055			
4	14,33	9,73	4,60	8,24	9,73	0,213	-0,0098	1,0984	0,0572	0,0342	0,055	0,03			
5	9,73	5,85	3,89	9,73	12,48	0,193	-0,0152	1,2434	0,0585	0,0609	0,03	0,03			
6	12,48	7,60	4,88	5,85	7,60	0,218	-0,0125	1,1493	0,0650	0,0571	0,03	0,085			
7	7,60	5,85	1,75	7,60	8,10	0,130	-0,0085	1,1397	0,0467	0,0388	0,085	0,08			
8	8,10	6,09	2,01	5,85	6,09	0,139	-0,0086	1,1313	0,0504	0,0430	0,08	0,1			
9	6,09	3,72	2,37	6,09	7,76	0,150	-0,0118	1,3038	0,0488	0,0670	0,1	0,06			
10	7,76	4,87	2,89	3,72	4,87	0,167	-0,0141	1,2765	0,0513	0,0560	0,06	0			

Далі по формулі\* визначаємо, знаходимо площу виходячого з валків раската:  $b_1$

$$F_1 = \frac{\pi}{4} h_1 b_1 \quad (1)$$

і розміри  $h_0; h_1; b_0; b_1; \Delta h; \alpha_y$  відповідної полоси.

Звернемо увагу, що кут  $\alpha_y$  повинен бути близьким до коефіцієнту трия  $f_y$ . Це необхідно для забезпечення більш стійкого процесу прокатки, т.к. в цих умовах сила  $Q_{ср.пр}^*$  буде наближатися до максимального по абсолютній величині значення, що випливає з графіка (рис. 1).

Але при цьому повинні дотримуватися і умови захоплення полоси валками в початковий момент. Розрахувавши  $R_k$  і знаючи  $h_1; \alpha_y; f_y$  відповідної полоси, переходимо до чисельного розв'язання рівняння Т. Кармана і отримуємо розподіл

контактних напружень, струми сили  $Q_{х пр}^*$  і її середнього значення  $Q_{ср.пр}^*$ , а також величину умовного опереження:

$$S' = \frac{R\gamma^2}{h_1} = 0,0463 \quad (2)$$

середнього безрозмірного трия:  $\frac{p_{ср}}{2k_{ср}}$  ( $2k_{ср}$  - середнє опротивлення по очагу деформації).

Ураховуючи, що в першій клітині процес відбувається з переднім натягненням полоси, яка збільшує опереження. Тому приймаємо його остаточне значення рівним  $S = 0,049$ , розраховуємо швидкість полоси на вході з валків  $V_1$  і вході в очаг деформації  $V_0$ .

После этого используем выражение:

$$S = \frac{R\gamma^2}{h_1} + \frac{\frac{q_1}{2k_{cp}} \frac{h_1}{R_k} \frac{b_1}{b_{cp}} - \frac{q_0}{2k_{cp}} \frac{h_0}{R_k} \frac{b_0}{b_{cp}}}{4 \frac{p_{cp}}{2k} f_y} \quad (3)$$

где,  $\frac{q_1}{2k_{cp}}$  и  $\frac{q_0}{2k_{cp}}$  - безразмерное переднее и заднее удельные натяжения.

Определяем  $\frac{q_1}{2k_{cp}}$ , принимая метод последовательных приближений.

$$Q_{cp,пр}^* = \frac{p_{cp}}{2k_{cp}} \gamma; \frac{q_1}{2k_{cp}}$$

Окончательные значения приведены в табл. 1 и на рис. 2.

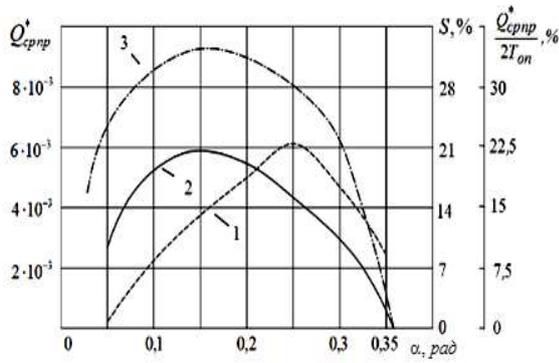


Рис. 1 – Влияние угла захвата на результирующую продольных сил

При прокатке во второй клетки начальные размеры реальной и соответственной полосы известны и скорость полосы на входе во вторую клетку:

$$V_{02} = V_{11} \quad (4)$$

Справедливость последнего выражения вытекает из закона Гука. Ввиду малых величин удельного натяжения, упругая деформация полосы в межклетевом промежутке меньше 1 мм и оказать существенное влияние на  $V_{02}$  не может.

Проанализируем данные приведенные в табл. 1. Во всех проходах среднеинтегральная

результующая  $Q_{cp,пр}^*$  принимает отрицательное значение, что соответствует устойчивому процессу прокатки. Наиболее низкая продольная устойчивость полосы при прокатке в 7-й и 8-й клетях. Удельные натяжения несколько возрастают от клетки к клетке. Максимальное

значение  $\frac{q_0}{2k_{cp}}$  и  $\frac{q_1}{2k_{cp}}$  не превышает одной десятой. Среднее давление металла на валки колеблется в достаточно в узких пределах.

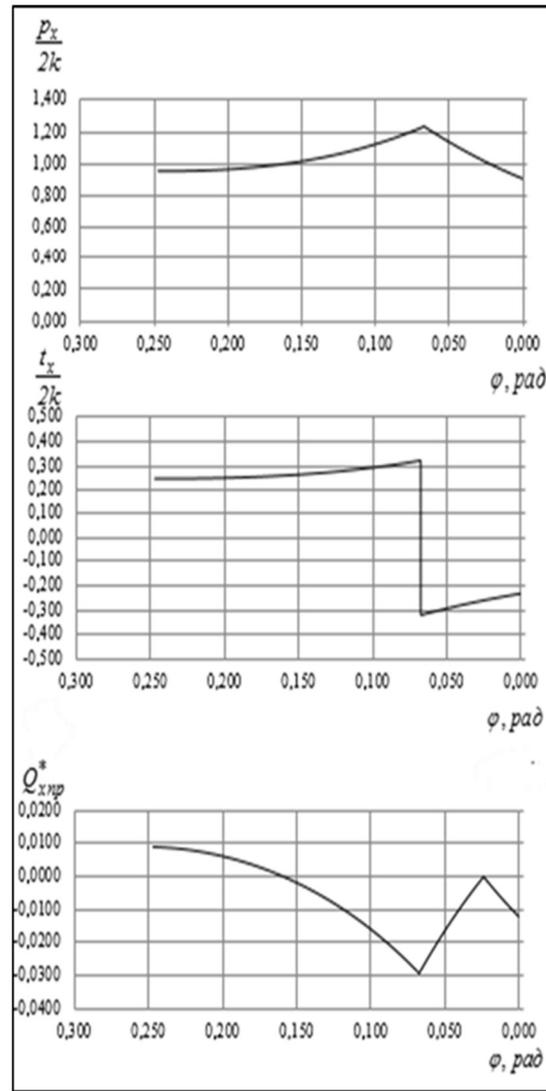


Рис. 2 – Контактные напряжения и текущая продольная сила в очаге деформации при прокатке в первой клетки проволочного блока

Несколько изменяя режим обжатий и соответственно опережение можно повысить продольную устойчивости в валках (табл. 2). Такой режим деформации является более предпочтительным по сравнению с первым. И он близок к производственным данным.

При существенном увеличении опережения в первой клетки резко увеличивается режим натяжения полосы по всем проходам (табл. 3), так заднее удельное натяжение при прокатке в 6-й

клетки составляет  $\frac{q_0}{2k_{cp}} = 0,15$ . Учитывая, что угол захвата в этом проходе значителен  $\alpha_y = 0,238$  рад. по сравнению с предыдущим и последующими проходами, отмеченное приводит к резкому уменьшению втягивающих металл в валки сил, вызывая изменения направления действия

результующей  $Q_{cp,пр}^*$ , а, следовательно, к

потери равновесия полосы в очаге деформации  
(при прокатке в 6-й клетке  $Q_{ср.пр.}^* = +0,002$ ).

В случае деформации металла при  
увеличенном коэффициенте трения ( $f_y = 0,3$ )  
существенно во всех проходах увеличивается

результующая сила  $Q_{ср.пр.}^*$ , что подчеркивает  
повышение продольной устойчивости процесса  
прокатки в проволочном блоке (табл. 4). При  
этом, более мягким становится режим  
натяжений.

Таблица 2 – Оптимальные условия прокатки катанки при повышенной продольной устойчивости полосы в очаге деформации

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$V_0$ , м/с	$V_{в.}$ , м/с	$V_1$ , м/с	$S_n$	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$F_1$ , мм <sup>2</sup>	$R_k$ , мм	$B_k$ , мм	$h_{пр.}$ , мм	Зазор, мм
1	17,30	11,00	6,30	17,30	21,05	10,47	12,93	13,53	0,047	234,9	181,8	102,6	23,65	4,6	1,80
2	21,05	13,78	7,27	11,00	13,78	13,53	16,01	16,50	0,031	181,8	149,1	100,6	13,83	6,14	1,50
3	13,78	9,10	4,68	13,78	16,60	16,50	19,86	20,75	0,045	149,1	118,6	103,3	18,89	3,5	2,10
4	16,60	10,96	5,64	9,10	10,96	20,75	25,08	26,08	0,040	118,6	94,32	101,7	11,45	4,95	1,06
5	10,96	6,52	4,44	10,96	14,32	26,08	31,63	33,56	0,061	94,32	73,30	104,0	16,85	2,7	1,12
6	14,32	8,62	5,70	6,52	8,62	33,56	40,02	42,14	0,053	73,30	58,39	102,6	8,97	3,7	1,22
7	8,62	5,50	3,12	8,62	10,77	42,14	49,87	52,91	0,061	58,39	46,49	104,4	13,56	2,1	1,30
8	10,77	6,85	3,92	5,50	6,85	52,91	63,21	66,75	0,056	46,49	36,86	103,3	7,27	2,92	1,01
9	6,85	4,36	2,49	6,85	8,49	66,75	79,60	84,62	0,063	36,86	29,07	104,7	10,24	1,6	1,16
10	8,49	5,50	3,00	4,36	5,50	84,62	98,00	103,79	0,059	29,07	23,70	103,8	5,76	2,18	1,14
Геометрические размеры металла, приведенные к соответственной полосе и другие параметры															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q_{ср.пр.}^*$	$p_{ср}/2k$	$\gamma$	$R\gamma^2/h_1$	$q_0$	$q_1$			
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			

Таблица 3 – Оптимальные условия прокатки катанки при повышенной продольной устойчивости полосы в очаге деформации

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$V_0$ , м/с	$V_{в.}$ , м/с	$V_1$ , м/с	$S_n$	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$F_1$ , мм <sup>2</sup>	$R_k$ , мм	$B_k$ , мм	$h_{пр.}$ , мм	Зазор, мм
1	17,30	10,80	6,50	17,30	21,13	10,42	12,93	13,67	0,057	234,9	179,2	102,7	23,65	4,6	1,60
2	21,13	13,74	7,39	10,80	13,74	13,67	16,01	16,52	0,032	179,2	148,2	100,6	13,83	6,14	1,46
3	13,74	8,60	5,14	13,74	17,45	16,52	19,87	20,79	0,046	148,2	117,8	103,4	18,89	3,5	1,60
4	17,45	10,94	6,51	8,60	10,94	20,79	25,06	26,08	0,041	117,8	93,9	101,7	11,45	4,95	1,04
5	10,94	6,32	4,62	10,94	14,76	26,08	31,63	33,44	0,057	93,9	73,2	104,0	16,85	2,7	0,92
6	14,76	8,67	6,09	6,32	8,67	33,44	39,98	41,54	0,039	73,2	58,9	102,6	8,97	3,7	1,27
7	8,67	5,10	3,57	8,67	11,60	41,54	49,92	52,71	0,056	58,9	46,4	104,5	13,56	2,1	0,90
8	11,60	6,83	4,77	5,10	6,83	52,71	63,21	66,81	0,057	46,4	36,6	103,3	7,27	2,92	0,99
9	6,83	4,19	2,64	6,83	8,87	66,81	79,60	83,90	0,054	36,6	29,2	104,8	10,24	1,6	0,99
10	8,87	5,51	3,37	4,19	5,51	83,90	98,00	102,90	0,050	29,2	23,8	103,8	5,76	2,18	1,15
Геометрические размеры металла, приведенные к соответственной полосе и другие параметры															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q_{ср.пр.}^*$	$p_{ср}/2k$	$\gamma$	$R\gamma^2/h_1$	$q_0$	$q_1$			
1	15,33	9,57	5,76	15,33	18,73	17,03	-0,0147	0,0693	0,0516	0,0516	0	0,065			
2	18,73	12,18	6,55	9,57	12,18	10,87	-0,0031	0,0616	0,0313	0,0313	0,065	0,08			
3	12,18	7,62	4,56	12,18	15,46	13,82	-0,0079	0,0583	0,0461	0,0461	0,08	0,1			
4	15,46	9,69	5,77	7,62	9,69	8,65	-0,0011	0,0615	0,0397	0,0397	0,1	0,135			
5	9,69	5,60	4,09	9,69	13,08	11,38	-0,0048	0,0559	0,0582	0,0582	0,135	0,15			
6	13,08	7,68	5,40	5,60	7,68	6,64	0,0020	0,0557	0,0414	0,0414	0,15	0,16			
7	7,68	4,52	3,16	7,68	10,28	8,98	-0,0059	0,0506	0,0591	0,0591	0,16	0,13			
8	10,28	6,05	4,23	4,52	6,05	5,29	-0,0042	0,0578	0,0571	0,0571	0,13	0,165			
9	6,05	3,71	2,34	6,05	7,86	6,96	0,0454	0,0454	0,0581	0,0581	0,165	0,08			
10	7,86	4,88	2,98	3,71	4,88	4,30	0,0502	0,0502	0,0536	0,0536	0,08	0			

Таблица 4 – Параметры прокатки и продольной устойчивости полосы при деформации с коэффициентом трения  $f_y = 0,3$ 

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры															
№	$h_0$ , 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	$S_n$	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$F_1$ , мм <sup>2</sup>	$R_k$ , мм	$B_k$ , мм	$h_{вп}$ , мм	Зазор, мм
1	17,30	11,00	6,30	17,30	21,05	10,47	12,93	13,53	0,047	234,9	181,8	102,6	23,65	4,6	1,80
2	21,05	13,78	7,27	11,00	13,78	13,53	16,01	16,50	0,031	181,8	149,1	100,6	13,83	6,14	1,50
3	13,78	9,10	4,68	13,78	16,60	16,50	19,86	20,75	0,045	149,1	118,6	103,3	18,89	3,5	2,10
4	16,60	10,96	5,64	9,10	10,96	20,75	25,08	26,08	0,040	118,6	94,32	101,7	11,45	4,95	1,06
5	10,96	6,52	4,44	10,96	14,32	26,08	31,63	33,56	0,061	94,32	73,30	104,0	16,85	2,7	1,12
6	14,32	8,62	5,70	6,52	8,62	33,56	40,02	42,14	0,053	73,30	58,39	102,6	8,97	3,7	1,22
7	8,62	5,50	3,12	8,62	10,77	42,14	49,87	52,91	0,061	58,39	46,49	104,4	13,56	2,1	1,30
8	10,77	6,85	3,92	5,50	6,85	52,91	63,21	66,75	0,056	46,49	36,86	103,3	7,27	2,92	1,01
9	6,85	4,36	2,49	6,85	8,49	66,75	79,60	84,62	0,063	36,86	29,07	104,7	10,24	1,6	1,16
10	8,49	5,50	3,00	4,36	5,50	84,62	98,00	103,79	0,059	29,07	23,70	103,8	5,76	2,18	1,14
Геометрические размеры металла, приведенные к соответственной полосе и другие параметры															
№	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\alpha_y$ , рад	$Q^*_{ср.пр.}$	$p_{ср}/2k$	$\gamma$	$Ry^2/h_1$	$q_0$	$q_1$			
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			

**Выводы.** Проведенный анализ деформации металла в проволочном блоке стана 400/200 показывает, что удельные натяжения по клетям значительными быть не могут, т.к. запас втягивающих металл в валки сил ограничен. Задние натяжения полосы более существенно влияют на продольную

устойчивость процесса. Угол захвата должен быть близок к коэффициенту трения, особенно в первых проходах. С увеличением коэффициента трения прокатка металла в проволочном блоке становится более устойчивой.

#### Список литературы:

1. Максименко О.П. Анализ продольной устойчивости процесса прокатки с учетом внутренних сил и режима натяжения полосы / О.П. Максименко, М.К. Измайлова, Д.И. Лобойко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №1. – с. 59-62.
2. Максименко О.П. Анализ силового взаимодействия в очаге деформации при прокатке / О.П. Максименко, Д.И. Лобойко, Р.Я. Романюк // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №6. – с. 47-49.
3. Максименко О.П. Продольная устойчивость полосы в валках с анализом контактных условий: монография / О.П. Максименко, Д.И. Лобойко, М.К. Измайлова. – Днепропетровск: ДДТУ, 2016 – 213 с.
4. Грудев А.П. Захватывающая способность валков / А.П. Грудев. – М.: СП «Интернет Инжиниринг», 1988. – 283 с.
5. Смирнов В.С. Теория прокатки / В.С. Смирнов. – Изд. «Металлургия», 1967 – 460 с.

#### References (transliterated):

1. Maksimenko O.P. Analiz prodol'noyustoychivosti protsessy prokatki s uchetom vnutrennikh sil i rezhima natyazheniya polusy / O.P. Maksimenko, M.K. Izmaylova, D.I. Loboyko // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2015. – No1. – P. 59–62.
2. Maksimenko O.P. Analiz silovogo vzaimodeystviya v ochage deformatsii pri prokatke / O.P. Maksimenko, D.I. Loboyko, R.Ya. Romanyuk // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2013. – No6. – P. 47–49.
3. Maksimenko O.P. Prodol'naya ustoychivost' polusy v valkakh s analizom kontaktnykh usloviy: monografiya / O.P. Maksimenko, D.I. Loboyko, M.K. Izmaylova. Dneprodzerzhinsk: DDTU, 2016 – 213 p.
4. Grudev A.P. Zakhvatyvayushchaya sposobnost' valkov / A.P. Grudev. – M.: SP «Internet Inzhenering», 1988. – 283 p.
5. Smirnov V.S. Teoriya prokatki / V.S. Smirnov. – Izd. «Metallurgiya», 1967 – 460 p.

Надійшла (received) 17.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Аналіз режимів деформації при прокатуванні у дровому блоці стана 400/200 з урахуванням поперечної стійкості смуги у валках / О.П. Максименко, Є.В. Кузьмін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 31(1203). – С. 57–62. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2519-2671**

**Анализ режимов деформации при прокатке в проволочном блоке стана 400/200 с учетом продольной устойчивости полосы в валках / О. П. Максименко, Е. В. Кузьмин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 31(1203). – С. 57–62. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2519-2671**

**Analysis of modes of deformation at rolling wire rod in a medium-wire mill 400/200 taking into account longitudinal stability of stripe in the windrows / O.P. Maksimenko, E.V. Kuz'min // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 31(1203). – P. 57–62. – Bibliogr.: 5 – ISSN 2519-2671**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Максименко Олег Павлович** – доктор технічних наук, професор, Дніпровський державний технічний університет, професор кафедри ОМТм. Кам'янське, тел.: +380976776379.

**Максименко Олег Павлович** – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский государственный технический университет, профессор кафедры ОМТ, г. Камянское, тел.: +380976776379.

**Maksimenko Oleg Pavlovich** – Ph.D., professor, Dniprovskiy State Technical University, professor of the Department of Metal forming, Kam'yanske, tel.: +380976776379

**Кузьмін Євгеній Вікторович** – Дніпровський державний технічний університет, аспірант кафедри ОМТ, м. Кам'янське, тел.: +380634766711, e-mail: zhenya.kuzmin1993@gmail.com.

**Кузьмин Евгений Викторович** – Днепропетровский государственный технический университет, аспирант кафедры ОМД, г. Камянское, тел.: +380634766711, e-mail: zhenya.kuzmin1993@gmail.com

**Kuz'min Evheniy Viktorovich** – Dniprovskiy State Technical University, postgraduate student of the Department of Metal forming, Kam'yanske, tel.: +380634766711, e-mail: zhenya.kuzmin1993@gmail.com