

ДИНАМИКА ГЛАВНОГО ПРИВОДА РАБОЧИХ ВАЛКОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ.

Исследованиями, проведенными на станах 3600 МК "Азовсталь" и 3000 МК им. Ильича, доказана возможность использования технологии асимметричной прокатки (прокатка с различной окружной скоростью рабочих валков) для снижения продольной, поперечной разнотолщинности и повышения плоскостности прокатываемых листов, особенно в условиях контролируемой прокатки [1]. Однако не окончательно решена проблема использования скоростной асимметрии рабочих валков для целей управления изгибом переднего конца раската, динамической загрузки трансмиссий приводов в нестационарных процессах прокатки. Внедрение технологии асимметричной прокатки на новых и реконструируемых станах потребовало дать оценку разрабатываемым конструкциям главного привода по степени их загрузки и стабильности скоростной асимметрии в различных режимах прокатки.

Настоящая работа посвящена оптимизации геометрических параметров трансмиссии и электрических параметров двигателей главного привода рабочих валков клетей кварто в условиях асимметричной прокатки с целью минимизации динамических нагрузок и стабилизации величины скоростной асимметрии рабочих валков в нестационарных процессах прокатки.

Под стабилизацией скоростной асимметрии ($\Delta\omega$) понимается получение заданного закона изменения относительной разности скоростей ведущего (ω_a) и ведомого (ω_n) рабочих валков во времени

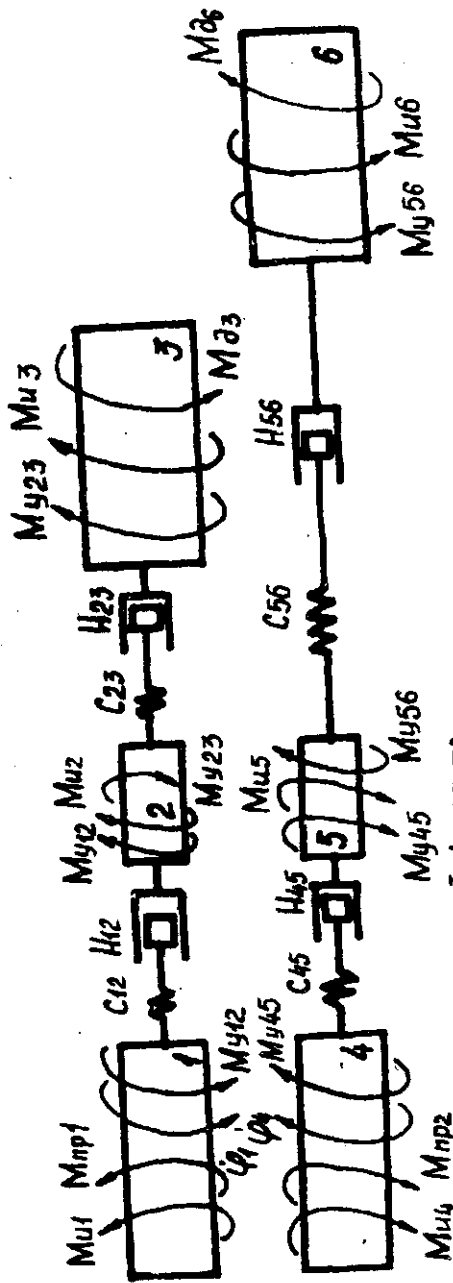
$$\frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_a - \omega_n}{\omega_a} \right) = f(t). \quad (1)$$

В условиях конструктивной, скоростной и силовой асимметрии главного привода решение поставленной задачи выполнено путем математического моделирования динамических процессов, происходящих в трансмиссиях главного привода с учетом фрикционного взаимодействия рабочих валков с полосой и двигателей с системой управления [2].

Рассмотрены рабочие клетки с одно-, двух-, трех- и четырёхдвигательным приводом (рис. 1, табл. 1) в различных условиях их работы: захват полосы, регулирование скорости и величины скоростной асимметрии, наброс и сброс нагрузки в период стационарного процесса, пробуксовка одного и двух валков по металлу, предварительное нагружение рабочих валков [3], прокатка с "забоем" рабочих валков в условиях тонколистовой прокатки [4], вариация геометрических параметров трансмиссий и механических характеристик двигателей с учетом работы блоков выравнивания и ограничения нагрузки системы автоматического управления двигателями, регулирование величины моментов сил сопротивления на рабочих валках в период заполнения очага деформации и жесткости механических характеристик двигателей от УВМ по заданному закону.

Анализ результатов исследований различных конструкций главного привода (табл. 1) показал, что в период нестационарного процесса прокатки во всех рассмотренных вариантах компоновки имеет место существенное отклонение величины скоростной асимметрии от заданной, при этом колебания скоростей рабочих валков происходят в противофазе с колебаниями скоростей якорей двигателей, что не позволяет вести целенаправленную корректировку скоростной асимметрии рабочих валков в автоматическом режиме по сигналу тахогенераторов, установленных за двигателями (рис. 2 - 3).

И только в условиях равной жесткости трансмиссий (клеть 5 стана 1700 КарМК) при симметричной прокатке не проявляется рассогласование скоростей



- 1, 4-валки;
- 2, 5-шпиндели;
- 3, 6-двигатели

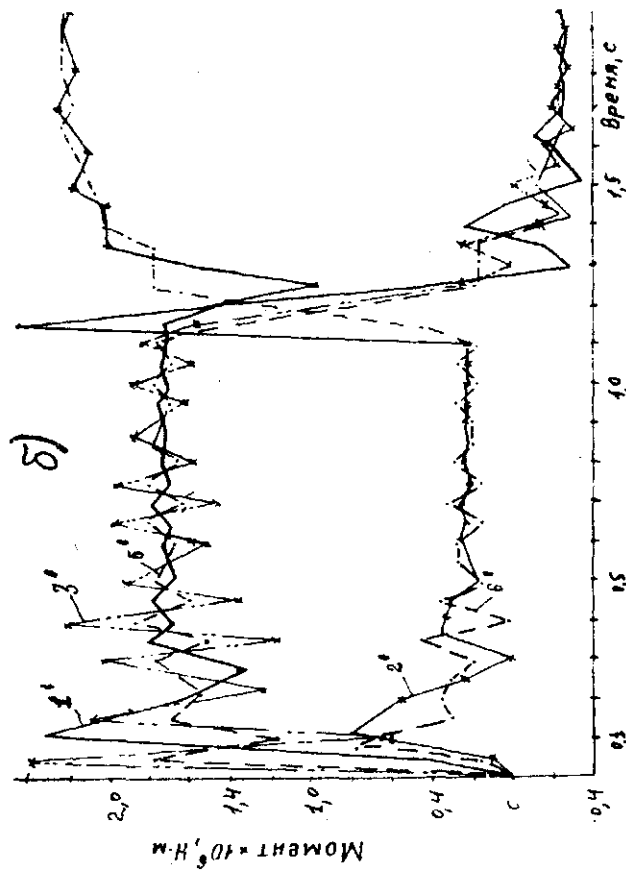
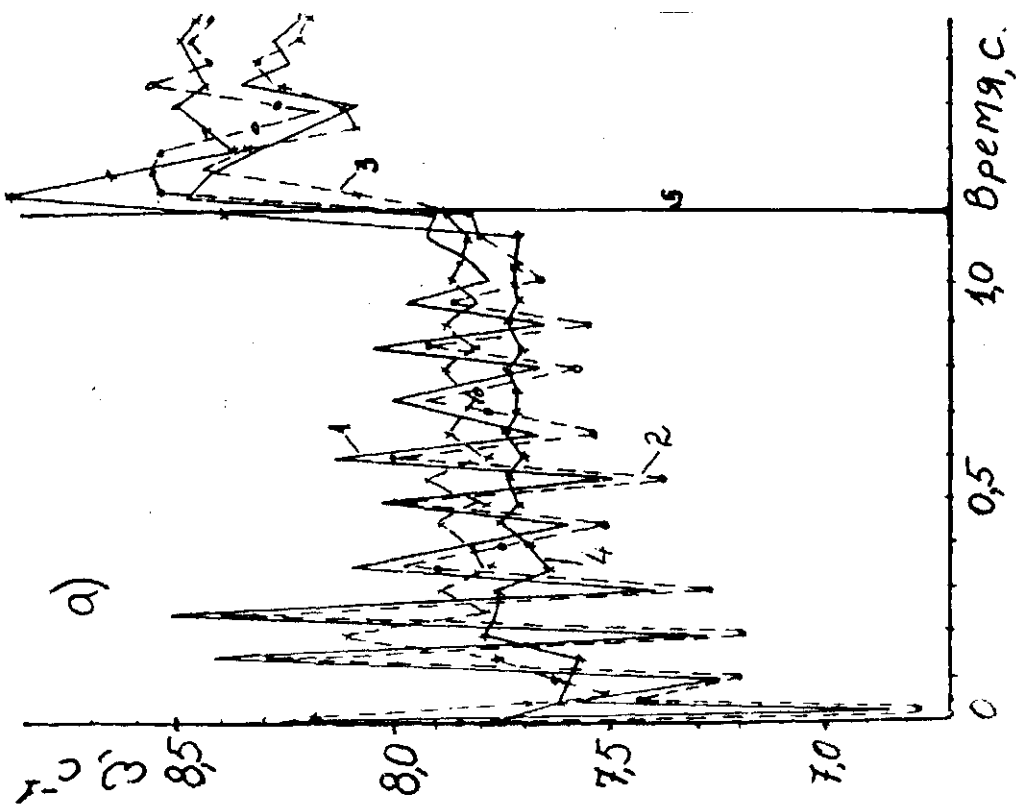
M_{np} , M_u , M_{y_i} , M_{B_i} - моменты прокатки, инерции, сил упругости и двигателей i -ой массы;
 $C_{i,j}$, $H_{i,j}$ - жесткости упругих связей и коэффициенты вязкого трения между i и j массами.

Рисунок 1 - Приведенная расчетная схема главного двухдвигательного привода рабочих валков.

Таблица 1.

Упруго-массовые параметры главного привода рабочих валков.

СТАН	Приведенная жесткость, тринисисни				Моменты инерции дискретных масс								У ред.	Схема привода
	верхней		нижней		$I_1 \times 10^4$ кгм ²	$I_2 \times 10^4$ кгм ²	$I_3 \times 10^4$ кгм ²	$I_4 \times 10^4$ кгм ²	$I_5 \times 10^4$ кгм ²	$I_6 \times 10^4$ кгм ²	$(I_1+I_2)/I_3$	$(I_4+I_5)/I_6$		
	$C_{1,2} \cdot 10^8$ Нм/р	$C_{2,3} \cdot 10^8$ Нм/р	$C_{4,5} \cdot 10^8$ Нм/р	$C_{5,6} \cdot 10^8$ Нм/р										
3600 "Азовсталь" (чистовая)	1,12	1,52	1,12	0,42	0,976	0,195	9,78	0,976	0,195	10,32	0,12	0,113	-	2х двигательная асимметричная
3000 им. Ильича	1,33	1,57	1,33	0,74	1,32	0,286	6,64	1,32	3,4	6,5	0,24	0,726	-	
2000, ЧерМК чистовая (проект)	0,256	0,23	0,347	0,296	0,363	2,93	2,24	0,363	0,175	2,24	1,47	0,24	1	3х двигательная асимметричная
2000 НЛМК чистовая	0,426	0,522	0,426	0,127	0,365	0,0727	0,182	0,365	0,037	1,21	2,4	0,33	1	3х двигательная асимметричная
2000 Бокоро черновая №5 (проект)	0,936	0,098	0,936	0,098	1,01	3,58	0,49	1,01	4,0	0,49	0,249	0,273	6,12	4х двигательная
1700 КорМК черновая (проект)	0,306	0,738	0,306	0,738	0,8	0,9	2,8	0,8	0,9	2,8	0,075	0,075	2,8	2х двигательная симметричная
1700 Болгария черновая (проект)	1,389	1,445	1,383	0,565	0,726	0,385	5,88	0,737	1,099	5,76	0,188	0,32	-	2х двигательная асимметричная



1, 2, 3, 4 - угловые скорости верхних и нижних рабочих валков и якоря верхних и нижних двигателей соответственно;

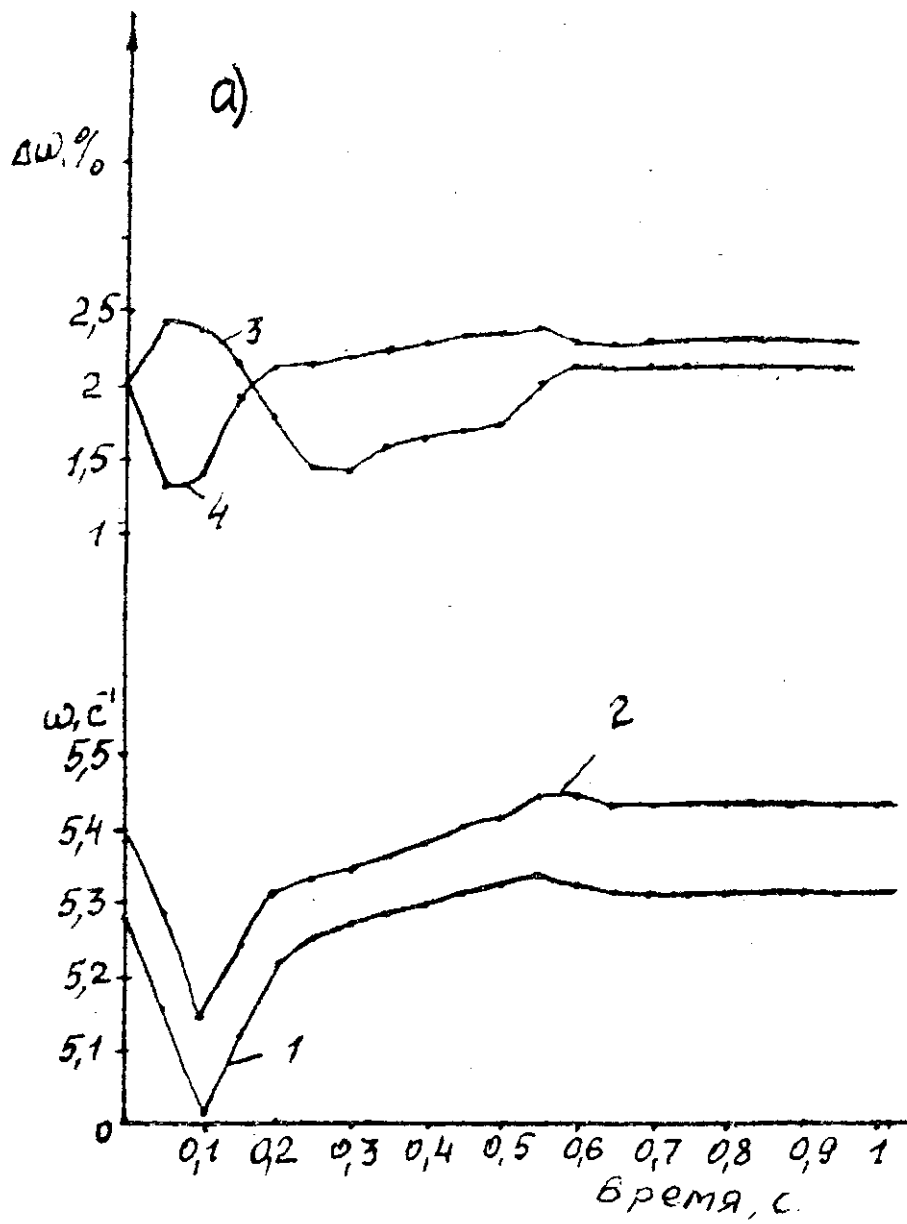
5 - начало регулирования;

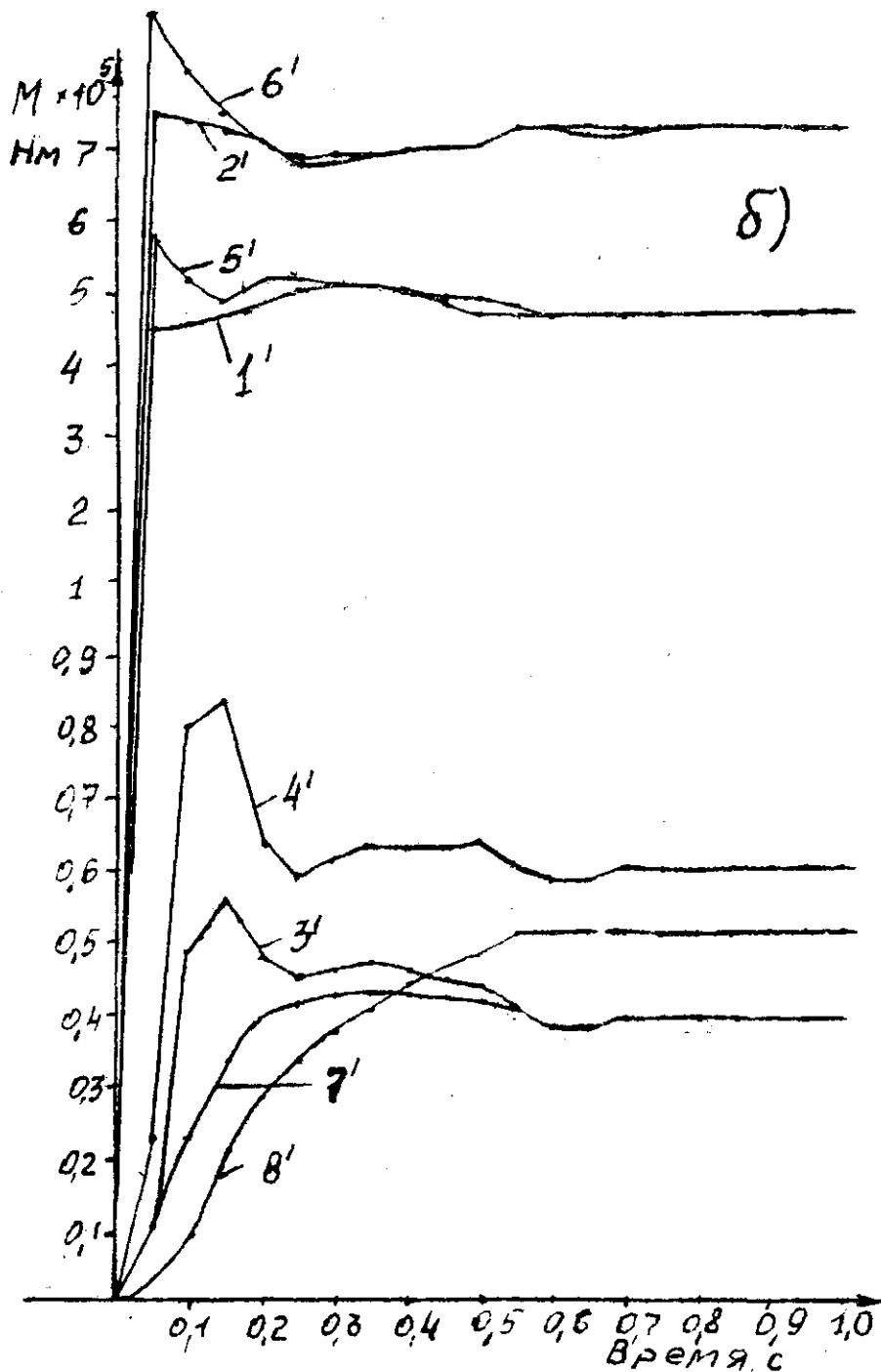
1', 2' - электромагнитные моменты верхнего и нижнего двигателей;

3' - моменты сил упругости верхней трансмиссии;

5', 6' - моменты прокатки на верхнем и нижнем рабочих валках.

Рисунок 2 - Климатические (а) и силовые (б) параметры главного привода рабочих валков стана 3600 МК "Азовсталь" при захвате металла валками и регулировании





- 1, 2 - угловая скорость верхнего и нижнего валков;
 3, 4 - скорость асимметрия рабочих валков и якорей двигателей.
 1', 2', 3', 4' - моменты прокатки и двигателей соответственно;
 5', 6', 7', 8' - моменты сил упругости на шпинделях и провалах;
 1', 3', 5', 7' - верхняя, 2', 4', 6', 8' - нижняя трансмиссия.

Рисунок 3 - Кинематические (а) и силовые (б) параметры прокатки в клети 5 стана 2000 Бокаро (Индия) при скоростной асимметрии 2%, ведущий валок - нижний.

валков, коэффициент динамичности в обоих трансмиссиях не превышает 1,66. При асимметричной прокатке на этой клети отклонение скоростной асимметрии рабочих валков от заданной достигает 36% в нестационарном процессе и 25% - в стационарном. Объясняется это тем, что при асимметричной прокатке происходит перераспределение моментов прокатки между ведущим (вращающимся с большей скоростью) и ведомым валками пропорционально относительной разности скоростей валков [2].

Исследования в условиях чистовой клети стана 3600 показали, что время начала роста момента сил упругости в трансмиссиях отстает на 0,02 - 0,25 сек. от времени начала роста силы прокатки. Объясняется это тем, что в момент удара полосы о валки открываются зазоры в соединениях трансмиссий и система расчленяется на части: валковый узел - трансмиссии - якоря двигателей. Момент сил упругости в трансмиссиях (массы 2, 5 рис. 1) падает до нуля, что свидетельствует о раскрытии зазоров в ближайших к валкам сочленениях шпинделей. Закрытие зазоров сопровождается резким ростом моментов сил упругости в трансмиссиях с коэффициентом динамичности 1,8...1,4.

При асимметричной прокатке происходит перераспределение динамической нагрузки между ведущей и ведомой трансмиссиями: в ведомой увеличивается до 1,8...2,0 и более, в ведущей - уменьшается до 1,2... 1,4. Однако, так как вращающие моменты на ведомой трансмиссии меньше, чем на ведущей, такое перераспределение динамических моментов не опасно.

Прокатка с разгоном валков ведет к значительному росту динамической нагрузки в трансмиссиях ($K = 3,4...4,0$).

Изменение (регулирование) величины скоростной асимметрии в процессе прокатки ведет к возбуждению колебательного процесса в трансмиссиях главного привода, однако пробуксовки валков по металлу не происходит (рис. 2). Как показали исследования, буксование валков по металлу происходит при снижении коэффициента трения в очаге деформации до 0,1 и менее (рис. 4).

Добиться стабилизации величины скоростной асимметрии рабочих валков и приближения ее к заданной возможно путем перераспределения жесткости трансмиссий и механических характеристик двигателей ведущего и ведомого валков пропорционально соотношению моментов прокатки на рабочих валках в стационарном процессе прокатки (табл. 2). Однако наилучшие результаты по стабилизации скоростной асимметрии рабочих валков в нестационарном процессе прокатки и минимизации динамических нагрузок в трансмиссиях получены путем предварительного нагружения рабочих валков моментами сопротивления, равными моментам сил прокатки в стационарном процессе асимметричной прокатки [3] (вариант - тонколистовая асимметричная прокатка с "забоем" рабочих валков [4]) (табл. 2, поз. 6). Отклонение скоростной асимметрии от заданной составляет 2,15%, а коэффициент динамичности в трансмиссиях - 1,03...1,04.

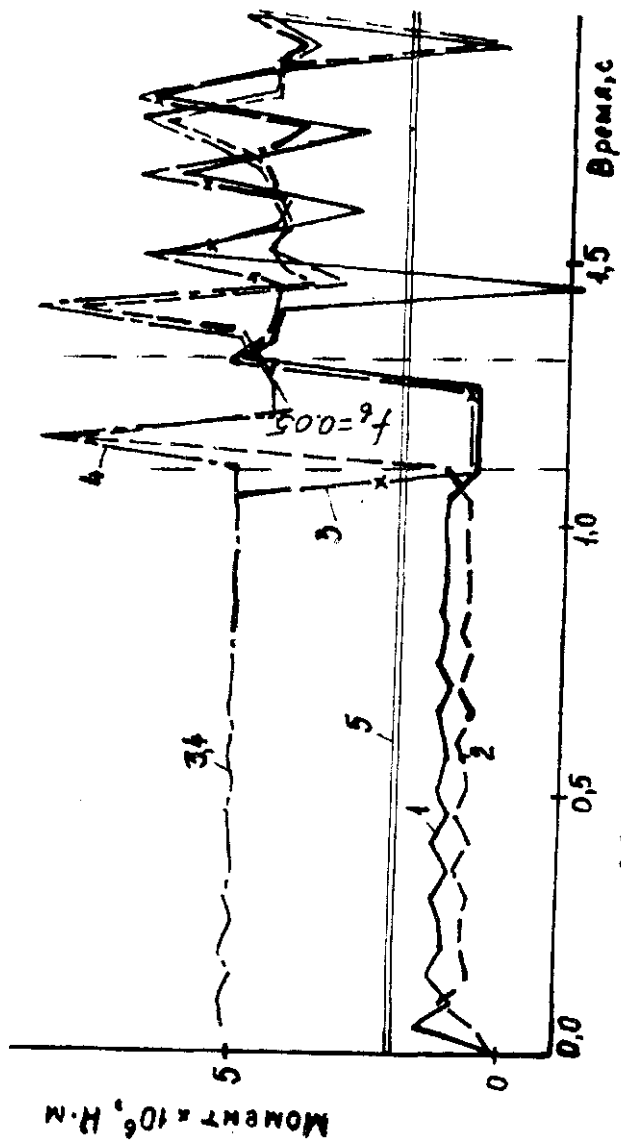
Исследование влияния блоков ограничения и выравнивания нагрузки системы автоматического управления двигателями показало, что блок ограничения нагрузки существенно снижает динамические моменты в нестационарном процессе (коэффициент динамичности снижается с 2,28 до 1,22). Однако использование этих блоков не позволяет получить требуемые параметры скоростной асимметрии рабочих валков.

Полная стабилизация величины скоростной асимметрии рабочих валков в нестационарном процессе прокатки возможна путем регулирования с использованием УВМ величины моментов сил сопротивления на рабочих валках [3] или жесткости механических характеристик двигателей по законам, полученным в результате совместного решения системы дифференциальных уравнений движения трансмиссий главного привода [2] и уравнения (1) с учетом конкретных условий прокатки (рис. 5). Эти законы адаптируются, хранятся в архиве УВМ и используются по мере необходимости.

Таблица 2.

Кинематические и силовые параметры захвата полюс в 5-й клетки стана 1700 КарМК при измененных параметрах трансмиссий главного привода.

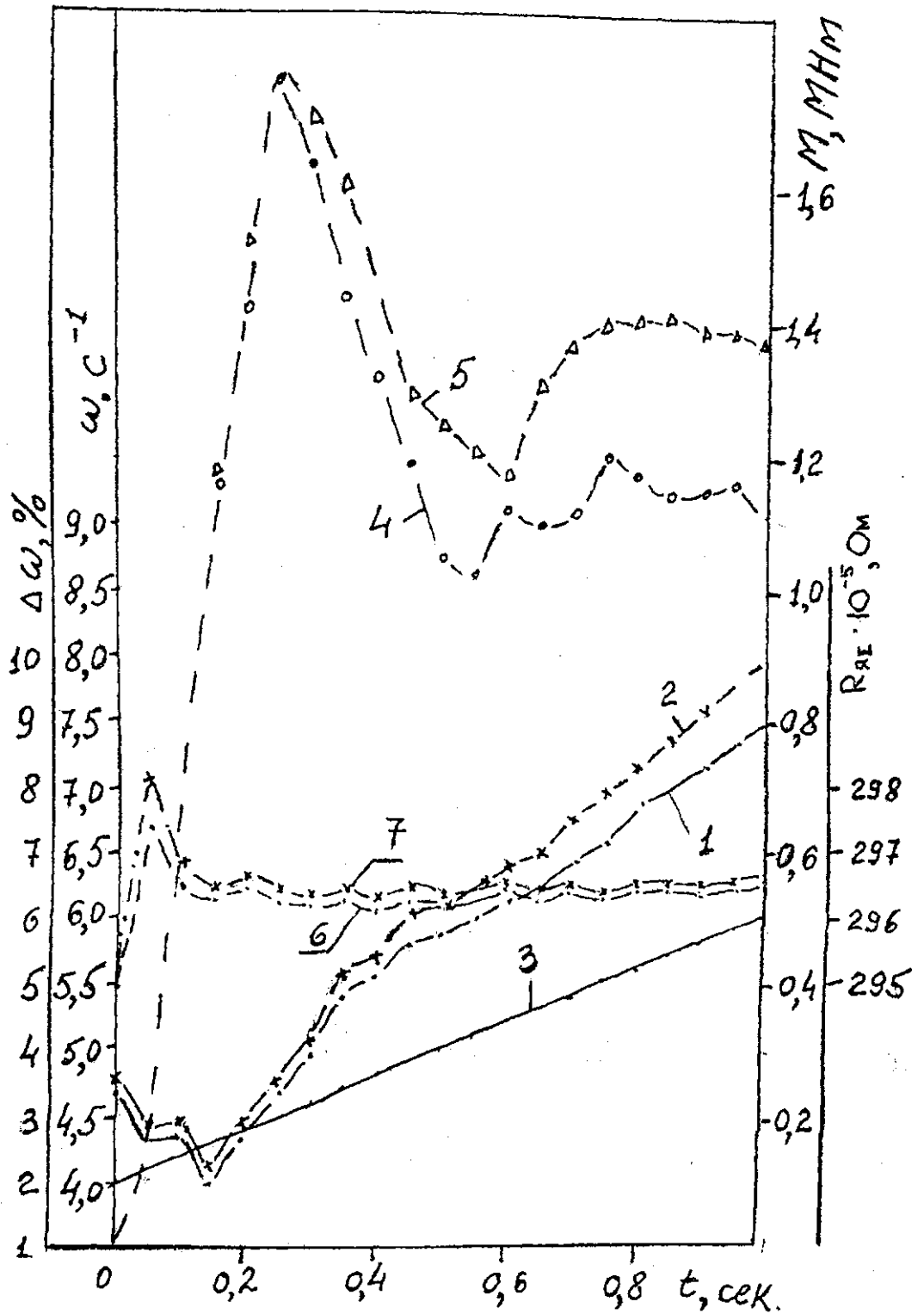
№	исходные		нестационар.		$\sigma(\Delta\omega)_{\max}$ %	$C_{\Sigma} \times 10^7$ Нм рад	$GD_{\Sigma}^2 \times 10^3$ кгм ²	$GD_M^2 \times 10^3$ кгм ²	$R_{\text{эл.}}$ Ом	$R_{\text{мех.}}$ Ом	$M_{\text{мех.пр.}}$ МНм	$M_{\text{прод.пр.}}$ МНм	$M_{\text{прод.пр.}}$ МНм	K_{Σ}	$K_{\Sigma}^{\text{н}}$	
	$\omega_{\text{в}}$ с ⁻¹	$\Delta\omega$ %	$\omega_{\text{н}}$ с ⁻¹	$\Delta\omega$ %												
1.	9,26	9,07	8,97	8,85	1,37	0,378	110	110	0,0025	0,0025	0,23·10 ³	0,24·10 ³	0,9	0,59	1,23	1,35
2.	9,26	9,07	9,0	8,56	1,61	0,567	110	110	—	0,23·10 ³	0,23·10 ³	0,9	0,59	1,24	1,34	
3.	9,26	9,07	8,99	8,84	1,78	0,567	110	71	—	—	—	—	—	1,26	1,39	
4.	—	—	9,0	8,85	1,67	0,567	110	110	0,0025	0,0016	—	—	—	1,27	1,46	
5.	—	—	8,997	8,83	1,87	—	110	71	—	—	—	—	—	1,26	1,52	
с предварительным нагружением рабочих валков																
6.	9,26	9,07	2,04	9,28	9,096	2,0	0,378	110	0,0025	0,0025	0,329	0,229	0,9	0,59	1,03	1,04



3, 4 - максимально возможные моменты сил трения на верхнем и нижнем валках;

5 - суммарный момент прокатки.

Рисунок 4 - Моменты прокатки на верхнем (1) и нижнем (2) валках стана 3600 МК "Азовсталь" при буксовке на верхнем валке (спад коэффициента трения до 0,05 в момент времени 1,1 сек).



- 1, 2 - угловые скорости верхнего и нижнего рабочих валков;
- 3 - рассогласование скоростей рабочих валков;
- 4, 5 - моменты на верхнем и нижнем двигателях;
- 6, 7 - сопротивление обмотки якорной цепи верхнего и нижнего двигателей.

Рисунок 5 - Кинематические и силовые параметры асимметричной прокатки в чистой клетке стана 3000 МК им. Ильича при регулировании жесткости механической характеристики двигателей.

Перечень ссылок

1. Освоение прокатки толстых листов со скоростной асимметрией на стане 3600 / Горелик В. С, Будакова А. А, Гринчук П. С. и др. //Сталь.-1984.-№12.-С.31-33.
2. Моделирование главной линии листопрокатной клетки с конструктивно-асимметричным индивидуальным приводом валков / Поваляев В. Д., Горелик В. С, Гладчук Е. А., Василянский О. Н. // Изв. вузов. Черн. металлургия. -1990.-№5.-С.82-84.
3. А. с. 1659149 СССР, МКИ В 21 В 35/00. Клеть прокатного стана с индивидуальным приводом валков.
4. А. с. 1763060 СССР, МКИ В 21 В 35/00. Клеть прокатного стана с индивидуальным приводом валков.