

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЖЕСТКОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЖИМНОГО СТАНА С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАГРУЗОК ПРИ ПРОКАТКЕ МЕТАЛЛА

Светличный А.В.

Донецкий национальный технический университет

olga@pandora.kita.dgtu.donetsk.ua

An inflexibility dominance analysis of mechanical characteristic curve of individual electrical drive at productivity of blooming and distribution of loadings between overhead and lower mill rollers is represented. It is shown, that a rational significance of static speed reducing at nominal loading is in limits 5-10%.

Инженеры, работающие на металлургических предприятиях свыше 15 лет помнят те времена, когда часовая производительность обжимного стана была одним из важнейших показателей работы предприятия. Шла борьба за сокращение времени цикла прокатки хотя бы на несколько секунд. Основными направлениями работы были увеличение темпов ускорения и замедления, повышение быстродействия электропривода и уменьшение динамической и статической просадок скорости. Но уже в те времена в работах Выдрин В.Н., Коцаря С.Л. и Лехова О.С. отмечалось, что динамические нагрузки, возникающие в главной линии стана приводят к ускоренному износу оборудования и авариям. Особенно в опасном положении оказались обжимные станы оснащенные индивидуальным приводом валков. Взаимодействие электроприводов через металл при пробуксовках приводит к тому, что динамические нагрузки в главной линии в 2,5-3 раза превышают нормальные эксплуатационные значения.

Снижение объемов производства металла в последнее десятилетие и удорожание стоимости оборудования и ремонтных работ привели к смещению акцентов в эксплуатации обжимных станов. На некоторых из них для уменьшения динамических нагрузок снижались темпы ускорения, замедления и жесткость механических характеристик приводов. На других предприятиях электротехнический персонал для более щадящих условий эксплуатации электродвигателей исключал режим ослабления поля, ограничивая максимальную скорость вращения на уровне номинальной. Вместе с тем остались заводы, где до сих пор применяются режимы работы главного электропривода обжимного стана, обеспечивающие минимально возможное машинное время прокатки. Поэтому несмотря на общепринятую точку зрения, что обжимные станы дорабатывают последние годы, остается актуальным вопрос, а где же находится та компромиссная граница в настройке системы управления, при которой обеспечивается баланс между производительностью и ограничением динамических нагрузок. Именно с этих позиций и сделана попытка определения рационального значения жесткости механической характеристики главного электропривода обжимного стана.

Аргументом в пользу малого статического падения скорости под нагрузкой является сокращение времени цикла прокатки и тем самым повышение производительности стана.

Рассмотрим случай прокатки слитка массой 12,5 тонны с исходными сечениями 960x825 мм, 895x760 мм на блюм сечением 340x360 мм за 15 пропусков на блюминге 1300 (блюминг 2) Криворожского государственного горно-металлургического комбината (КГМК) «Криворожсталь».

Главный привод блюминга индивидуальный, мощность электродвигателя 6800 кВт, номинальное напряжение 830 вольт, номинальный ток 8,65 кА, номинальная скорость вращения 60 об/мин, максимальная скорость при ослаблении поля 85 об/мин. Скорость захвата по условиям устойчивости принята равной 25 об/мин. Максимальная скорость прокатки повышается с удлинением раската от 30 об/мин в первом пропуске до 85 об/мин в 10 пропуске. Скорость выброса в пропусках без кантовки принята равной нулю, в пропусках с кантовкой – равной скорости захвата. Режим обжатий представлен в таблице 1.

Для представленного в таблице 1 режима обжатий, был выполнен расчет времени цикла однослитковой и двухслитковой прокатки при астатической по нагрузке системе регулирования скорости и при 5%, 10%, 15% статическом падении скорости привода под номинальным током нагрузки. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Представленные в таблице 2 данные свидетельствуют о том, что изменение статического падения скорости от 0 до 15% более существенно влияет на часовую производительность обжимного стана при двухслитковой прокатке. Это связано с большей долей машинного времени в цикле прокатки, а также с увеличением количества трапециидальных диаграмм изменения скорости в проходах при двухслитковой прокатке. Учитывая, что первая строка таблицы, соответствующая астатической системе регулирования скорости, является чисто теоретической, можно сделать вывод, о том, что увеличение статического падения скорости с 5 до 15% практически не отражается на часовой производительности прокатного стана при однослитковой прокатке и снижает его производительность на 1,3-6,7% при двухслитковой прокатке.

Таблица 1 -Режим обжатий при прокатке слитка массой 12,5 тонн на сечение 340*360 мм

Номер прохода	Калибр	Высота, мм	Ширина, мм	Длина, м
1	Б	800	795	2,7
2	Б	680	810	3,1
Кантовка				
3	Б	720	694	3,4
4	Б	610	716	3,9
5	Б	510	738	4,5
6	Б	420	760	5,3
Кантовка				
7	1	690	426	5,8
8	1	600	436	6,5
9	1	500	449	7,6
10	1	400	466	9,1
Кантовка				
11	2	380	418	10,7
12	2	320	432	12,3
Кантовка				
13	3	360	340	14,0

Таблица 2 - Взаимосвязь производительности блюминга со значением статического падения скорости под нагрузкой

Статизм	Однослитковая прокатка			Двухслитковая прокатка		
	Время цикла, С	Производит., слитков/час	Снижение производ.,%	Время цикла, С	Производит., слитков/час	Снижение производ.,%
0	64,5	56	0	96,1	75	0
5	64,6	56	0	97,8	74	1,3
10	64,8	56	0	100,2	72	4
15	65,9	55	2	102,8	70	6,7

Теперь рассмотрим факторы, на которые высокая жесткость механических характеристик электропривода валков обжимного стана влияет негативно. Первым из таких факторов является равномерность в распределении нагрузки между электроприводами. При высокой жесткости механических характеристик повышается чувствительность электромеханической системы к влиянию возмущающих воздействий, изменению параметров и увеличивается неравномерность загрузки электродвигателей.

На рис. 1 представлены механические характеристики электроприводов верхнего (1) и нижнего (2) валков обжимного стана с 10% статизмом Δn . В канале обратной связи по скорости 2 электропривода имеется смещение сигнала величиной δn_2 , равной 5% номинальной скорости. Такая погрешность приводит к тому, что при выравнивании фактических скоростей валков, нагрузки электроприводов составят соответственно 0,75 и 1,25 номинального момента. Суммарный момент прокатки принят равным удвоенному номинальному моменту одного электродвигателя.

Формула, выражающая зависимость разности моментов электроприводов от статического падения скорости и смещения в измерительном канале в общем случае имеет вид

$$\Delta M = M_n \frac{\delta n_2}{\Delta n}, \quad (1)$$

где M_n – номинальный момент двигателя; δn_2 – смещение сигнала обратной связи по скорости второго электропривода, об/мин; Δn – статическое падение скорости при номинальном моменте, об/мин.

В табл. 3 представлены результаты расчета отклонений момента для различных значений смещения в измерительном канале и статизма механической характеристики. Результаты расчета свидетельствуют о том, что при повышении жесткости механических характеристик влияние погрешности измерения скорости на рассогласование моментов электроприводов увеличивается.

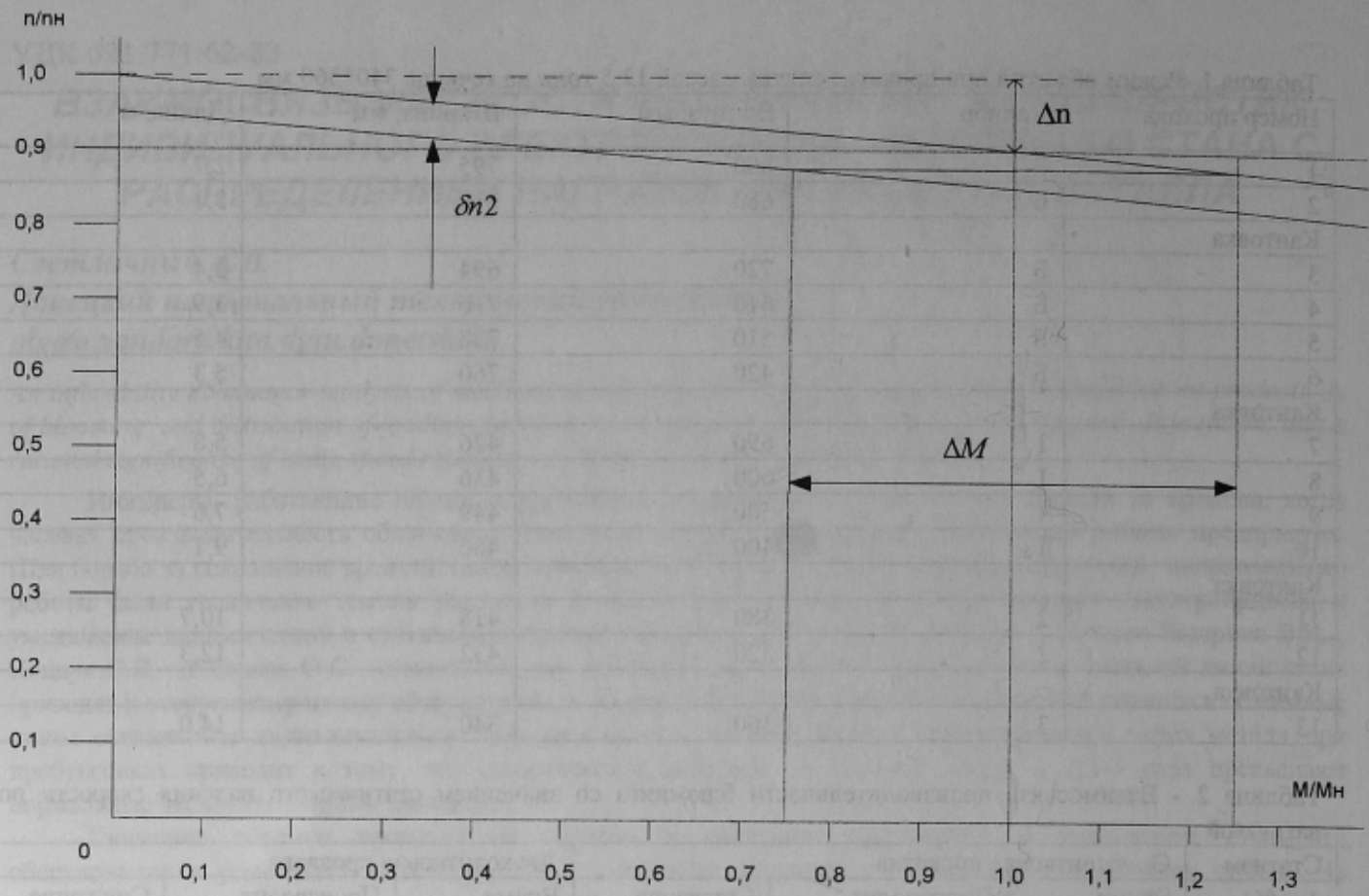


Рисунок 1 - Загрузка электроприводов верхней и нижней линий обжимного стана при наличии погрешности канала обратной связи по скорости

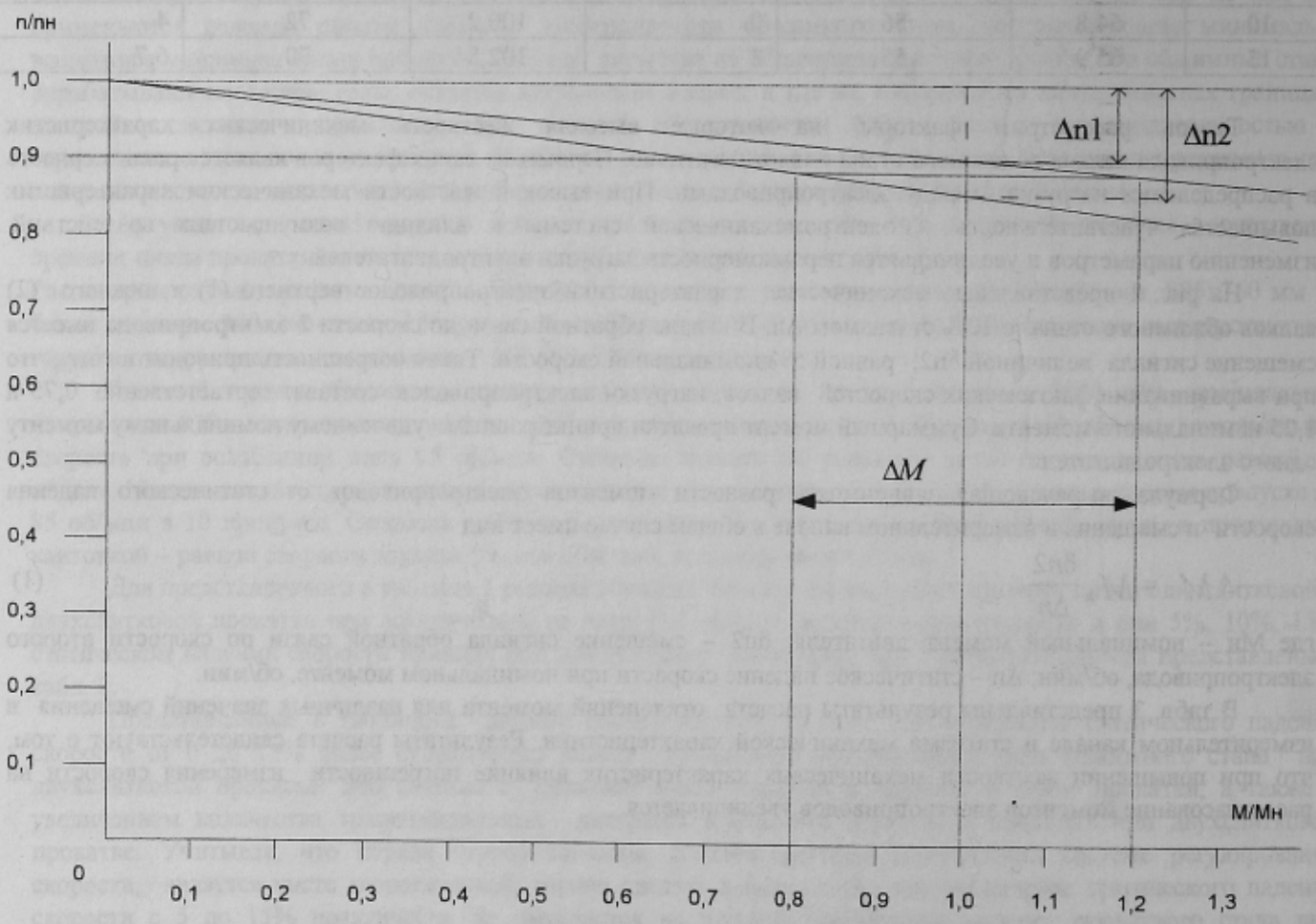


Рисунок 2 - Загрузка электроприводов верхней и нижней линий обжимного стана при различной жесткости механических характеристик

Таблица 3 - Взаимосвязь разности в моментах прокатки между электроприводами верхнего и нижнего валков при погрешностях измерения скорости для различного статизма.

Статизм, %	Погрешность датчика скорости		
	1%	2%	5%
2,5	0,4Мн	0,8Мн	До 2Мн
5	0,2Мн	0,4 Мн	Мн
10	0,1Мн	0,2Мн	0,5Мн
15	0,06Мн	0,13Мн	0,33Мн

Рассмотрим влияние различия в жесткости механических характеристик электроприводов верхнего и нижнего валков на распределение моментов между ними при прокатке металла.

На рис. 2 представлены механические характеристики электроприводов верхнего (1) и нижнего (2) валков обжимного стана с 10% и с 15% статической просадкой скорости при номинальном моменте, соответственно. Эта разница в жесткости характеристик приводит к тому что при суммарном моменте прокатки равном удвоенному номинальному моменту одного электродвигателя, нагрузка привода с более жесткой характеристикой составит $1,2M_n$, а привода с более мягкой характеристикой - $0,8M_n$. Формула, выражающая зависимость разности моментов электроприводов от разности в жесткости характеристик имеет вид

$$\Delta M = M_{\Sigma} \frac{\Delta n1 - \Delta n2}{\Delta n1 + \Delta n2}, \quad (2)$$

где M_{Σ} – суммарный момент прокатки для двух электродвигателей; $\Delta n1, \Delta n2$ – статическое падение скорости, % для первого и второго электроприводов при номинальном моменте, соответственно.

В табл. 4 представлены результаты расчета разности моментов электроприводов для различных сочетаний статического падения скорости. Результаты расчета свидетельствуют о том, что при повышении жесткости механических характеристик влияние разности их жесткости на рассогласование моментов электроприводов увеличивается.

Таблица 4 - Взаимосвязь разности моментов прокатки ($\Delta M/M_n$) между электроприводами верхнего и нижнего валков при различии в жесткости характеристик ($M_{\Sigma}=2M_n$)

$\Delta n, \%$	0	2	4	6	8	10
0		2	2,00	2,00	2,00	2,00
1	-2	0,67	1,20	1,43	1,56	1,64
2	-2	0,00	0,67	1,00	1,20	1,33
3	-2	-0,40	0,29	0,67	0,91	1,08
4	-2	-0,67	0,00	0,40	0,67	0,86
5	-2	-0,86	-0,22	0,18	0,46	0,67
6	-2	-1,00	-0,40	0,00	0,29	0,50
7	-2	-1,11	-0,55	-0,15	0,13	0,35
8	-2	-1,20	-0,67	-0,29	0,00	0,22
9	-2	-1,27	-0,77	-0,40	-0,12	0,11
10	-2	-1,33	-0,86	-0,50	-0,22	0,00

На математической модели главного привода рассмотрен случай перераспределения нагрузки между электродвигателями верхнего и нижнего валков обжимного стана в следующей ситуации: статическая просадка по скорости при номинальном моменте привода верхнего валка составляет 10%, нижнего – 11,5% номинальной скорости.

Моделируемый индивидуальный электропривод имеет следующие параметры:

Номинальная скорость 60 об/мин, номинальный ток 4130А. Питание якорных цепей электродвигателей осуществляется от тиристорных преобразователей. Система регулирования двухконтурная, с пропорциональным регулятором скорости. Настройка регуляторов принята по модульному оптимуму. Суммарный момент прокатки равен удвоенному номинальному моменту двигателя.

Диаграмма изменения скоростей и токов электроприводов, полученная в результате моделирования представлены на рис. 3. В течение 0,5 секунды электродвигатели разгоняются до скорости захвата, составляющей около 20 об/мин. На этой скорости привод работает до захвата металла валками в момент времени, равный 1 секунде от начала процесса. При наличии металла в валках их линейные скорости выравниваются, а токи электродвигателей отличаются на 0,47 кА из-за различия в жесткости механических характеристик. В процессе разгона привода до скорости прокатки (1,5-2,5 с), разность токов увеличивается до 0,612 кА из-за добавления динамической составляющей. При суммарном токе электродвигателей при прокатке металла равном 8,3 кА, разность их составляет около 0,5 кА, что с учетом момента холостого хода соответствует расчетному значению по (1). После завершения разгона привода работают на установившейся

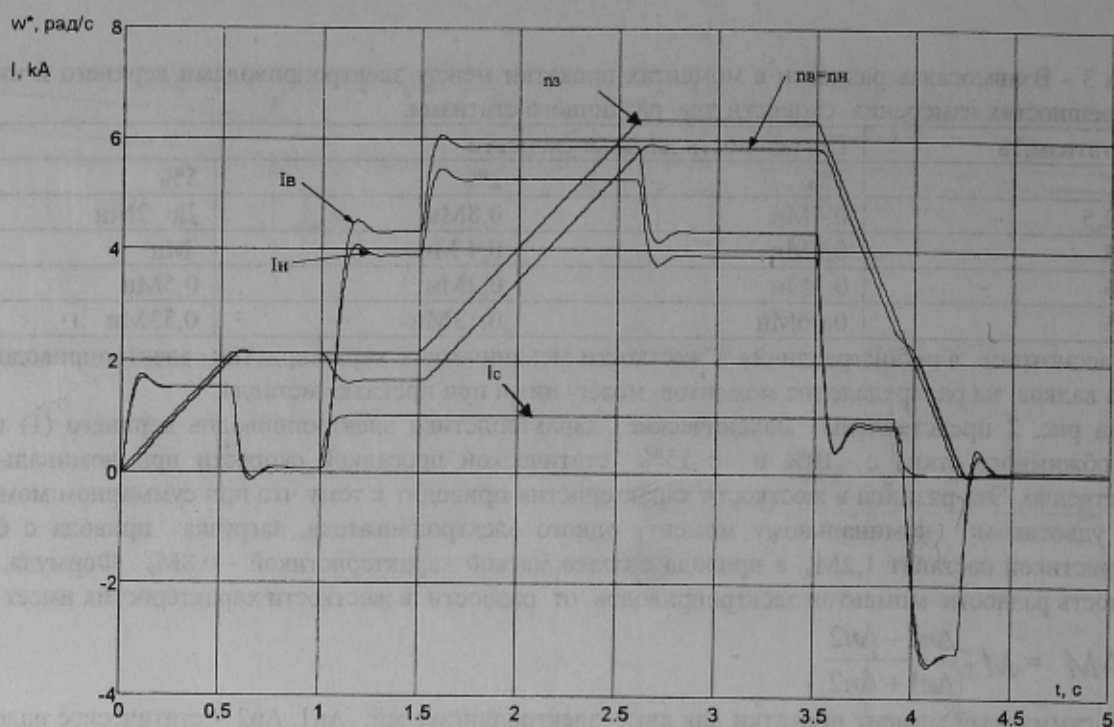


Рисунок 3 - Диаграмма изменения скоростей и токов электродвигателей индивидуального привода при различной жесткости механических характеристик

скорости (2,6-3,5 с), а разность токов электродвигателей составляет 0,47 кА, также как и на скорости захвата. В интервале времени 3,5-4,25 с. происходит торможение приводов, причем в момент времени 3,8 с. от начала процесса прокатываемый металл покидает валки. Торможение приводов до полной остановки происходит под воздействием динамического тока, причем поскольку темп замедления для уменьшения времени цикла прокатки выбран большим чем темп ускорения, то и значение динамического тока равное 3,6 кА больше чем при разгоне. Так как привода верхнего и нижнего валков не связаны при этом через металл, то значения токов электродвигателей на интервале 3,8-4,25 с равны.

Результаты моделирования подтверждают влияние отклонений параметров системы управления электроприводом на рассогласование моментов двигателей верхней и нижней линий. Таким образом, высокая жесткость механических характеристик индивидуальных электроприводов обжимного стана способствует увеличению рассогласований моментов при отклонениях в параметрах системы регулирования, вызванных температурным дрейфом элементов, изменениями напряжений питания и другими факторами.

Еще одним аргументом в пользу наличия статизма в механической характеристике главного привода обжимного стана является улучшение условий захвата слитков. Как показано в работах [1,2], в процессе захвата слитка происходит выравнивание линейных скоростей поверхности валков и металла. Этот процесс протекает более устойчиво в том случае, когда происходит изменение обеих скоростей по сравнению с ситуацией, когда меняется только скорость раската, а скорость валков изменяется очень мало на величину динамической просадки.

Исходя из представленного анализа, можно сделать вывод о том, что для обжимных станков с индивидуальным электроприводом рациональное значение статической просадки по скорости при номинальном моменте нагрузки находится в пределах 5-10%. Такое значение статизма является оптимальным как по обеспечению производительности обжимного стана, так и по ограничению динамических и статических нагрузок, приходящихся на механическое и электрическое оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация нестационарных процессов прокатки / В.В. Бобров, В.М. Полещук, В.Д.Гладуш – К: Техника, 1984.-127 с.
2. Лехов О.С. Динамические нагрузки в линии привода обжимных станков. – М: Машиностроение, 1975. – 183 с.