

Использование предразгона двигателя прокатной клетки для уменьшения динамической нагрузки

Маклакова Е.А.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
г. Челябинск, Российская Федерация
karyakina-katya@yandex.ru

Аннотация. Представлено исследование влияния предразгона двигателя прокатной клетки на динамическую нагрузку. Приведена кинематическая и функциональная схема электропривода прокатной клетки толстолистового стана 5000 ОАО “Магнитогорский металлургический комбинат”. Для анализа динамических и статических режимов четырехвалковой горизонтальной клетки была реализована математическая модель системы в приложении Matlab/Simulink. Построена экспериментальная зависимость перерегулирования от скорости ожидания металла.

Ключевые слова: толстолистовой прокатный стан, ударная нагрузка, синхронный электропривод, перерегулирование, величина зазора.

ВВЕДЕНИЕ

Такое явление как ударная нагрузка является причиной большинства поломок прокатных клеток на толстолистовых станах. Ударная нагрузка возникает в момент захвата металла валками и включает в себя колебания динамического момента, которые обусловлены наличием упругого валопровода (шпинделя) между двигателем и рабочим валком. Это явление снижает прочностные характеристики прокатной клетки и прокатного стана в целом. Как следствие увеличивается износ валков и средства амортизации. В статье приведен один из методов снижения динамического момента в момент захвата металла [1-2].

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА

Толстолистовой стан 5000 ОАО “ММК” (Магнитогорский металлургический комбинат) является крупным инвестиционным объектом в России. Стан оснащен современными автоматизированными агрегатами, расположенных в линии проката, начиная от нагревательных печей и заканчивая мостовыми кранами на складе, что позволяет организовать индивидуальное сопровождение каждого проката от момента его нагрева до момента отгрузки. Главным объектом стана горячей прокатки 5000 является четырехвалковая горизонтальная клетка (рис. 1), усилие прокатки которой составляет 12000 тонн.

Автоматизированный электропривод клетки реализован по системе преобразователь частоты – синхронный двигатель (ПЧ-СД). Для такой системы электропривода, статорная обмотка синхронного двигателя питается от двухзвенного преобразователя частоты, состоящего из активного выпрямителя напряжения (AFE) и автономного инвертора напряжения (АИН) с общим звеном постоянного

тока, накопление электрической энергии которого осуществляется в электрическом поле конденсатора. AFE и АИН работают по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Обмотка ротора получает питание от нереверсивного тиристорного преобразователя. Таким образом, благодаря системе ПЧ-СД, прокатная клетка обеспечена высокой мощностью, высоким КПД, а так же имеет широкий диапазон скоростей [3].

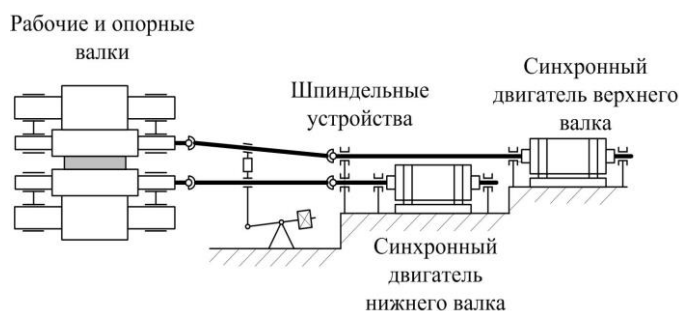


Рис. 1. Кинематическая схема четырехвалковой горизонтальной клетки стана 5000

Для анализа динамических и статических режимов четырехвалковой горизонтальной клетки, реализована математическая модель системы в приложении Matlab/Simulink на основе функциональной схемы, представленной на рис. 2.

Система электропривода прокатной клетки построена по принципу подчиненного регулирования с последовательной коррекцией координат. Каждый контур регулирования имеет свой собственный регулятор. Система автоматического регулирования имеет три внутренних контура управления, а именно, контур регулирования тока по оси d (ПИ-РТ), контур регулирования тока по оси q и контур регулирования потока возбуждения (ПИ-РП), передаточные функции которых настраиваются на стандартный переходный процесс, соответствующий фильтру Баттерворта. Для оптимального использования мощности двигателя в системе регулирования реализованы блоки нелинейности: БН1, БН2, БН3. Блок $\alpha\beta/ABC$ используется для преобразования координат из двухфазной системы координат в трехфазную систему координат, а блок $\alpha\beta/dq$ используется для преобразования координат из неподвижной двухфазной системы в подвижную двухфазную [4-5].

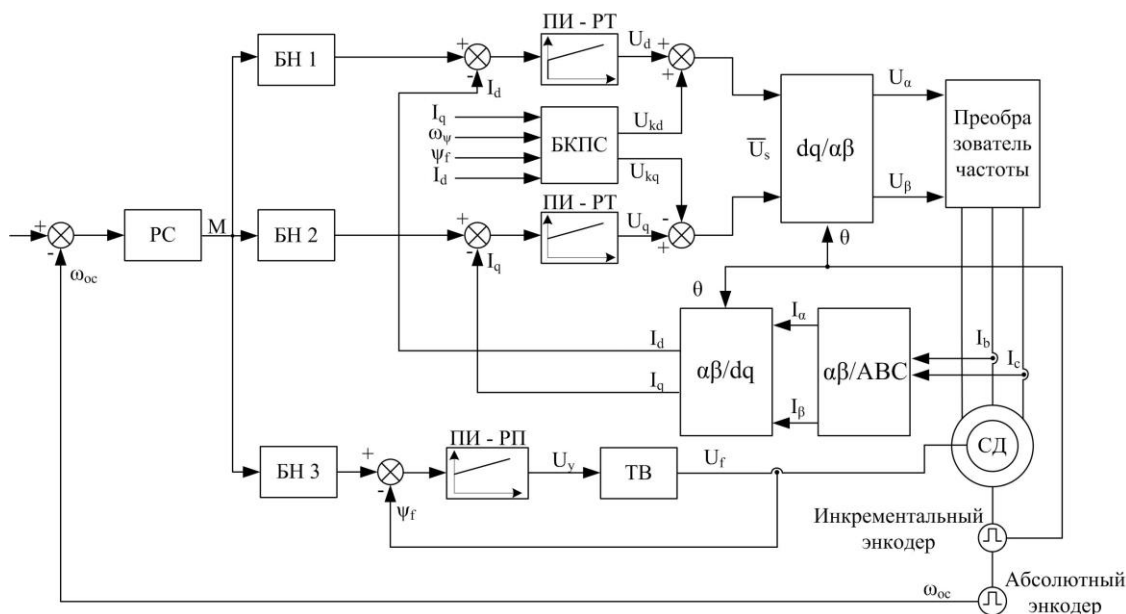


Рис. 2. Функциональная схема четырехвалковой горизонтальной клетки стана 5000

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДРАЗГОНА ДВИГАТЕЛЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

В современном прокатном производстве предъявляются высокие требования к качеству продукции, соответственно, и к работе механизмов прокатных станов. Ударная нагрузка, происходящая при захвате металла валками клетки прокатных станов, является основной причиной поломок механизмов. При этом увеличение динамического момента приводит к увеличению напряженности стана, что является причиной быстрого износа деталей и преждевременного ремонта, снижающая производительность стана. Одной из причин возникновения ударной нагрузки являются люфты у шпиндельных устройств. На рис. 3 представлены кривые переходных процессов скорости и момента приводов верхнего и нижнего рабочих валков в момент захвата металла. Перед захватом двигателя главных приводов вращаются с заправочной скоростью. При этом их крутящий момент близок к нулю и является знакопеременным, что является причиной наличия люфтов. По мере износа монтажные и эксплуатационные люфты увеличиваются и приводят к более сильным ударам при изменении нагрузки, т.е. вызывают увеличение динамического момента при захвате металла [6-7].

Один из методов снижения динамической нагрузки является применение ускоренного вращения валка перед захватом, так называемый предразгон двигателя. Реализация данного способа была проведена при помощи математической модели в приложении MatLab/Simulink, на основе функциональной схемы прокатной клетки (рис. 2). Кривые переходных процессов момента при различных величинах предразгона представлены на рис. 4 [8-10].

Без предварительного разгона захват металла происходит с перерегулированием момента равным 23%, т.е. динамический момент превышает момент на валу двигателя

в 1,23 раза, закрытие зазоров осуществляется при приложении нагрузки (кривая 1).

С минимальным ускорением (кривая 2), захват металла происходит с перерегулированием момента 14%. Значение динамического момента по сравнению с режимом без предразгона в 1,6 раз, так же система стала более жесткой, т.к. уменьшились колебания момента в момент прокатки металла. Но увеличилось время регулирования в 1,38 раз, т.е. система стала более инерционнее.

Дальнейшее увеличение ускорения (кривая 3) ведет к увеличению перерегулирования до 48%, а так же, к увеличению времени регулирования до 0,11 с. Такое увеличение динамического момента обуславливается инерцией шпинделя и повторным раскрытием зазоров, а так же увеличением скорости удара металла об валки.

Таким образом, оптимальный вариант с точки зрения перерегулирования является предварительный предразгон двигателя на скорость в 1,01 раз большей скорости ожидания металла.

В табл. 1 приведены значения перерегулирования и времени достижения максимума при различных скоростях ожидания металла [11-12].

Таблица 1

Значения перерегулирования и времени достижения максимума

	Перерегулирование, %	Время достижения максимума, с
без предразгона	23	0,065
1,007 ω_n	18	0,071
1,01 ω_n	14	0,09
1,05 ω_n	21	0,094
1,07 ω_n	37	0,106
1,1 ω_n	48	0,11

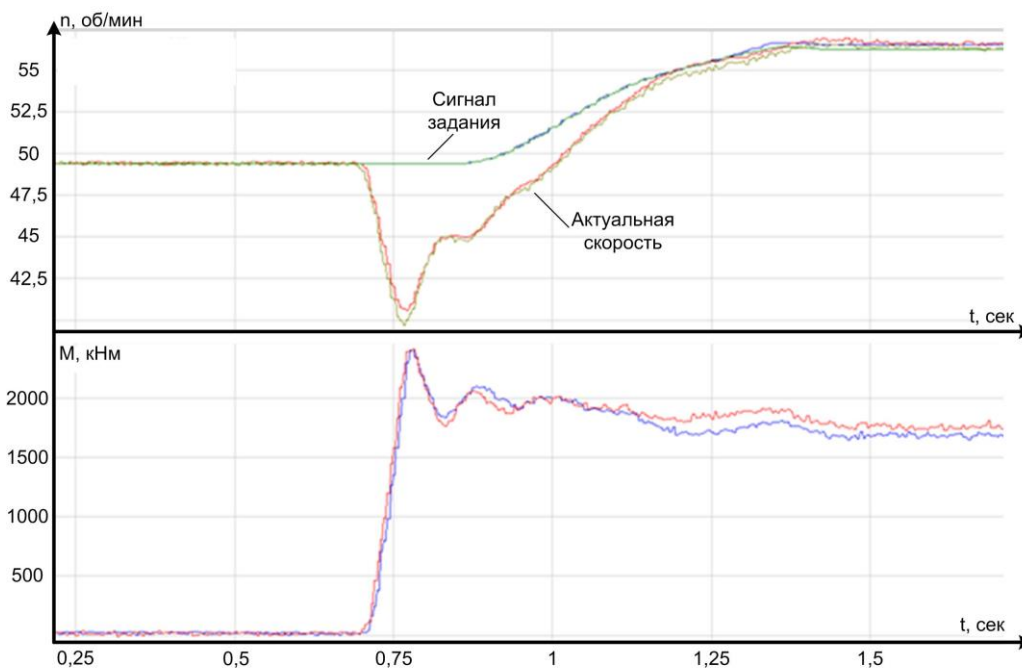


Рис. 3. Кривые переходных процессов скорости и момента

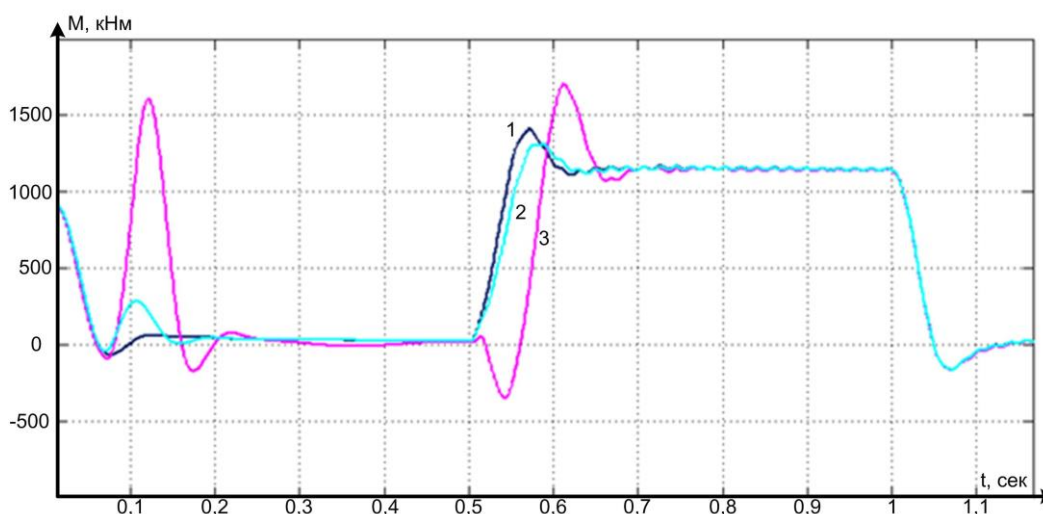


Рис. 4. Экспериментальные кривые переходных процессов скорости и момента

На рис. 5 приведена экспериментальная зависимость перерегулирования от скорости ожидания металла.

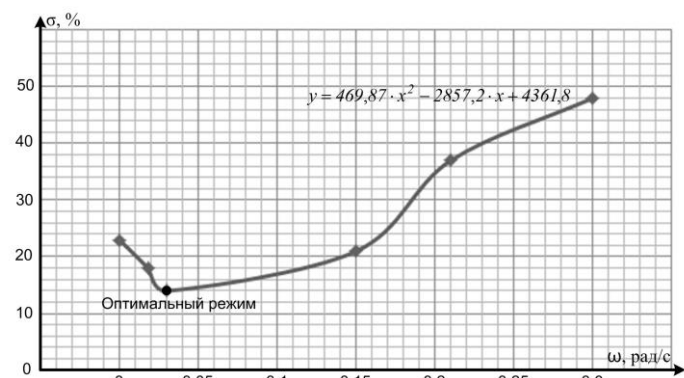


Рис. 5. Экспериментальная зависимость перерегулирования от скорости ожидания металла

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что регулируя скорость ожидания металла, а именно, используя режим предразгона двигателя, можно снизить ударные нагрузки, происходящие в момент захвата металла. В этом случае, люфты на шпиндельных устройствах закроются до захвата металла. Но необходимо определить оптимальный режим предразгона, поскольку существует вероятность повторного раскрытия люфтов.

На основании математической модели была выведена зависимость перерегулирования от скорости ожидания металла. При помощи этой зависимости можно определить оптимальный режим предразгона, что на стане 5000 делается при помощи системы автоматического регулирования предварительного выбора зазора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Galloway L.G. Transient torsional vibration in multiple-inertia systems // *IEEE Transactions on industry application*. – 1972. – Vol. 8, no. 6. – P. 690-696.
2. Адамия Р.Ш. Основы рационального проектирования металлургических машин. / Р.Ш. Адамия, В.М. Лобода. – М.: Металлургия, 1984.
3. Иванченко Ф.К. Динамика металлургических машин / Ф.К. Иванченко, В.А. Красношапка. – М.: Металлургия, 1983.
4. Иванченко Ф. К. Динамика и прочность прокатного оборудования. / Ф.К. Иванченко, П.И. Полухин, М.А. Тылкин, В.П. Полухин. – М.: Металлургия, 1970.
5. Маклакова Е.А. Устранение динамических нагрузок в линии электропривода прокатной клетки реверсивного стана горячей прокатки 5000 ОАО “ММК” / Е.А. Маклакова, А.А. Радионов, В.Р. Гасияров // *Энергетические и электротехнические системы*. – 2015. – С. 204-209.
6. Гасияров В.Р. Мехатронный технологический комплекс толстолистового стана 5000 горячей прокатки / В.Р. Гасияров, А.А. Радионов // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2013. – № 21. – С. 13-20.
7. Радионов А.А. Математическое моделирование синхронных электроприводов на примере главного привода стана 5000 ОАО “ММК” / А.А. Радионов, В.И. Косматов, Е.А. Маклакова // *Актуальные проблемы современной*

науки, техники и образования. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 119-122.

8. Храмын В.Р. Совершенствование систем управления электро- и гидроприводами широкополосного стана горячей прокатки / В.Р. Храмын, А.К. Косматов, Р.Я. Храмын, А.Г. Шубин // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 51-61.

9. Radionov A.A. Speed and load modes of rolling hollow billet at the wide-strip rolling mill / A.A. Radionov, A.S. Karandaev, V.R. Khramshin, I.Yu. Andryushin, A.N. Gostev // *Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*. – 2014.

10. Карандаев А.С. Совершенствование автоматизированных электроприводов агрегатов прокатного производства // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2014. – №1. – С. 3-15.

11. Ильинский Н.Ф. Итоги развития и проблемы электропривода / Н.Ф. Ильинский, М.Г. Юньков // *Автоматизированный электропривод*. – 1990. – С. 4-14.

12. Храмын В.Р. Снижение динамических нагрузок механического и электрического оборудования черновой подгруппы клетей стана горячей прокатки / В.Р. Храмын, А.С. Карандаев, А.А. Радионов, И.Ю. Андрияшин, А.Н. Гостев // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2013. – № 2. – С. 69-77.

Using of Pre-Acceleration of Rolling Mill Motor Shaft for Reduce the Dynamic Load

Maklakova Ye.A.

South Ural State University (National Research University)

Chelyabinsk, Russian Federation

karyakina-katya@yandex.ru

Abstract. In the article deals an influence of pre-acceleration of motor shaft on impact load. The kinematic and functional schemes of the electric drive of the rolling mill of OJSC “ММК” are shown. A mathematical model of horizontal stand mill was implemented for analyze the dynamic and static functions in the Matlab/Simulink. The experimental dependence of the overshoot on the metal waiting speed had been created.

Keywords: rolling stand, impact load, synchronous electric drive, overshoot, gap width.

REFERENCES

1. Galloway L.G. Transient torsional vibration in multiple-inertia systems, *IEEE Transactions on industry application*, 1972, vol. 8, no. 6, pp. 690-696.
2. Adamiya R.Sh., Loboda V.M. *Osnovy ratsionalnogo proyektirovaniya metallurgicheskikh mashin* [Fundamentals of rational design of metallurgical machinery], Moscow, Metallurgiya, 1984. (in Russ.)
3. Ivanchenko F.K., Krasnoschapka V.A. *Dinamika metallurgicheskikh mashin* [Dynamics metallurgical machinery], Moscow, Metallurgy, 1983. (in Russ.)

4. Ivanchenko F.K., Polukhin P.I., Tylkin M.A., Polukhin V.P. *Dinamika i prochnost prokatnogo oborudovaniya* [Dynamics and strength of rolling equipment], Moscow, Metallurgy, 1970. (in Russ.)

5. Maklakova Ye.A., Radionov A.A., Gasiyarov V.R. Removing dynamic loads in electric drive of rolling stand of reversible hot rolling mill 5000 OJSC “ММК” [Ustraneniye dinamicheskikh nagruzok v linii elektroprivoda prokatnoy kleti reversivnogo stana goryachey prokatki 5000 ОАО “ММК”], *Energeticheskiye i elektrotekhnicheskiye sistemy* [Energetic and electrotechnical systems], 2015, pp. 204-209. (in Russ.)

6. Gasiyarov V.R., Radionov A.A. Mechatronic technological complex of hot plate mill 5000, *Electrotechnical systems and complexes*, 2013, no.21, pp. 13-20. (in Russ.)

7. Radionov A.A., Kosmatov V.I., Maklakova Ye.A. Mathematical modeling of a synchronous electric drive as an example of the main camp of 5000 OJSC “ММК” [Matematicheskoye modelirovaniye sinkhronnykh elektroprivodov na primere glavnogo privoda stana 5000 ОАО “ММК”], *Aktualnyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*

ya [Actual problems of modern science, technology and education], 2015, vol. 2, no.1, pp. 119-122. (in Russ.)

8. Khramshin V.R., Kosmatov A.K., Khramshin R.Ya., Shubin A.G. Improvement of the control systems for electric and hydraulic drives of the wide-strip hot-rolling mill, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2015, vol. 2, no.1, pp. 51-61. (in Russ.)

9. Radionov A.A., Karandaev A.S., Khramshin V.R., Andryushin I.Yu., Gostev A.N. Speed and load modes of rolling hollow billet at the wide-strip rolling mill, *Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, 2014.

10. Karandaev A.S. Improvement of Automatic Electric Drives for Rolling Machinery, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2014, no.1, pp. 3-15. (in Russ.)

11. Ilinskiy N.F., Yunkov M.G. Results of development and problems of the electric drive [Itogi razvitiya i problemy elektroprivoda], *Avtomatizirovannyy elektroprivod [Automated electric drive]*, 1990, pp. 4-14. (in Russ.)

12. Khramshin V.R. Dynamic loads reduction of mechanical and electrical equipment of the hot rolling mill roughing train, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2013, 2, pp. 69-77. (in Russ.)

Библиографическое описание статьи

Маклакова Е.А. Использование предразгона двигателя прокатной клетки для уменьшения динамической нагрузки // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2017. – Т.4, №1. – С. 19-23.

Reference to article

Maklakova Ye.A. Using of pre-acceleration of rolling mill motor shaft for reduce the dynamic load, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2017, vol.4, no.1, pp. 19-23.