

УДК 621.01:539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮФТОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ГЛАВНОЙ ЛИНИИ ПРОКАТНОГО СТАНА

Анатолий Иванович Мальцев

доц., к.т.н., последнее место работы ЭПИ МИСиС 144006, Электросталь, Первомайская ул., 7, Российская Федерация

Андрей Анатольевич Мальцев

доц. кафедры МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: a.a.mal@mail.ru

Необходимость изменения раствора валков, а также частой и быстрой их сменяемости требует применения узлов валков с зазорами между подушками и стойками станин рабочих клеток, а также соединений с зазорами линии привода прокатного стана. Одной из причин динамического режима работы прокатного стана является наличие люфтовой асимметрии в соединениях главной линии прокатного стана. Дана оценка явлению люфтовой асимметрии в узлах клеток прокатных станов. Исследовано влияние люфта на работу автоматической системы управления скоростью вращения электродвигателя.

Ключевые слова: Узлы валков, подушки и стойки станин, рабочие клетки, линия привода.

STUDY OF BACKLASH IN THE JOINTS OF THE MAIN LINE OF THE ROLLING MILL

Anatoly I. Maltsev

associate professor, PhD in Technological Sciences, last place of work of EPI of MISIS 144006, Elektrostal, Pervomayskaya St., 7, Russian Federation

Andrey A. Maltsev

associate professor, MSTU by named N.E. Bauman, MT-10 Department
e-mail: a.a.mal@mail.ru

ABSTRACT

One of the reasons of a dynamic operating mode of the rolling mill is existence of backlash asymmetry in connections of the main line of the rolling mill. The paper proposes a technology of software environment NI Multisim application for analysis of mechanical reduction gear play effect in the object rotation automatic control system and structure of a unit simulating the kinematic play

in program development system NI Multisim. The play effect on the automatic control system of electric motor rotation velocity is studied.

Keywords: Knots of wolves, pillows and racks of beds, working cages, the drive line.

Введение

Изучение динамических процессов в прокатном стане необходимо для обеспечения их технологической и эксплуатационной надежности.

В электроприводах большой мощности для понижения скорости вращения обычно используют высокоскоростные электродвигатели с редукторами (рис.1).

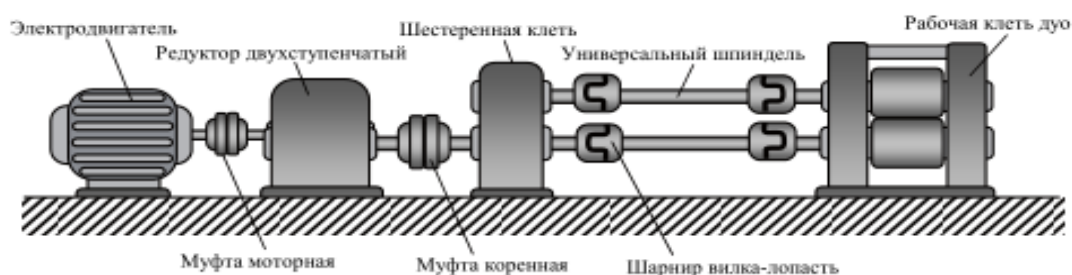


Рисунок 1. Эскиз прокатного стана [3]

Введение механического редуктора (рис. 2) и шестеренной клетки (рис. 3) в структуру электропривода приводит к появлению кинематического люфта между двигателем и объектом управления (рис. 4).



Рисунок 2. Редуктор [6]

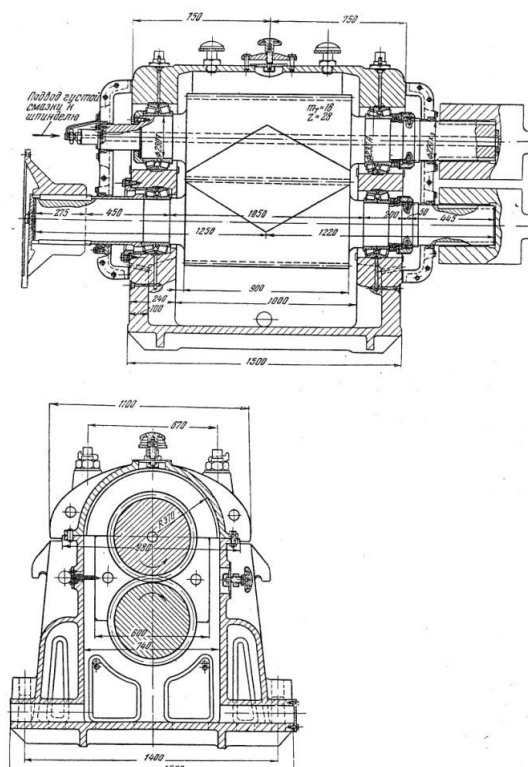


Рисунок 3. Шестеренная клет [7]

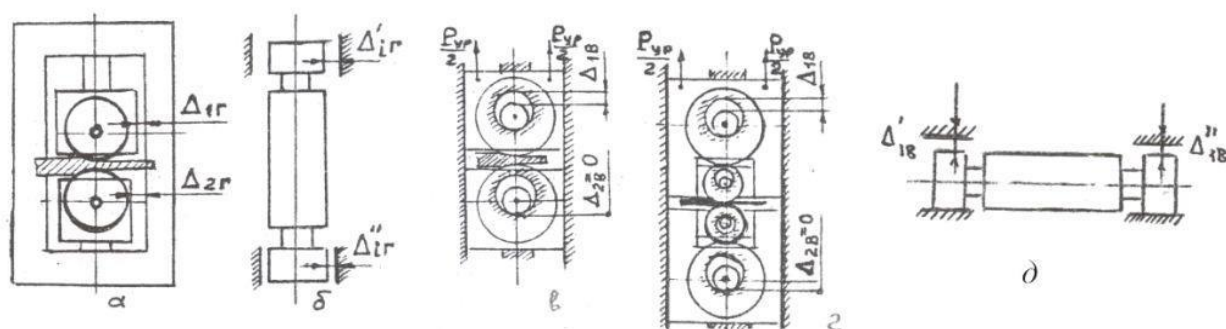


Рисунок 4. Люфтовая асимметрия в соединениях рабочей клетки [7]

Люфт увеличивает погрешность системы из-за потери управляемости в момент нахождения её в зоне люфта и создаёт ударные перегрузки системы в момент выхода из зоны люфта.

С другой стороны, зазоры в соединениях рабочей клетки и линии привода стана крайне нежелательны из-за роста динамических нагрузок при увеличении скоростей прокатки. [6,7,8,10].

Материалы и методы исследования

Состояние зазоров в шарнирах шпинделей и в соединении валковой муфты с хвостовиком валка рабочей клетки зависит главным образом от настройки устройств уравнивания шпинделей (рис.5).

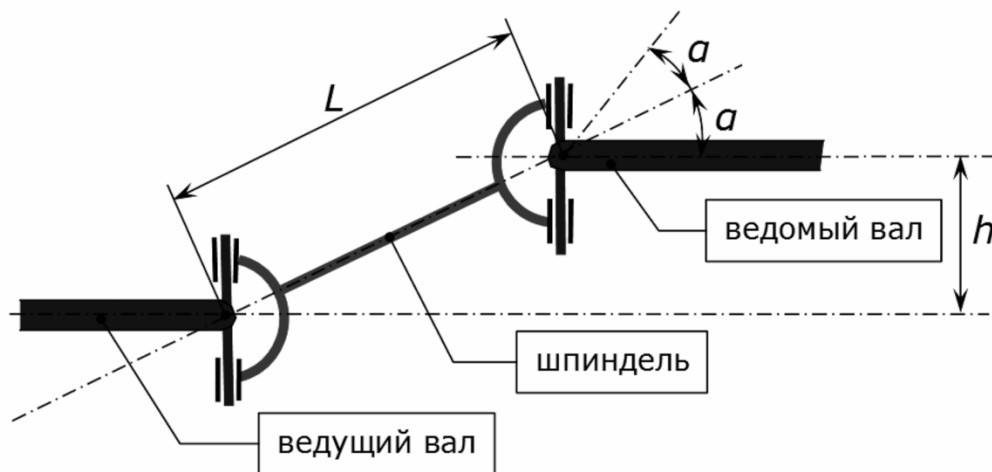
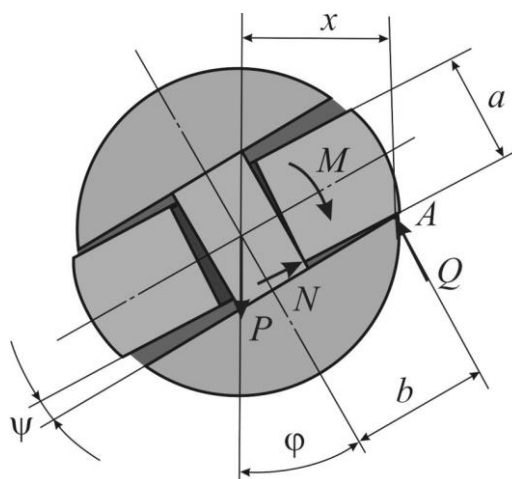


Рисунок 5. Неуравновешивание шпинделя [3]

Только при настройке с отклонением $\pm 3...5\%$ от точного уравнивания обеспечивается выбор зазоров одновременно в обоих шарнирах шпинделя. Момент нагрузки M_3 (рис. 6) при холостом ходе превышает максимальное значение момента радиальной силы M_p в шарнире со стороны рабочей клетки, не говоря уже о шарнире со стороны шестеренной клетки, в котором момент нагрузки возрастает на величину момента трения в подшипниках уравнивающего устройства шпинделей. Если момент нагрузки M_2 находится между максимальным значением $M_p = PR$ и минимальным $M_p = Pa$ значением момента радиальной силы, то зазор в шарнире с вкладышами скольжения будет периодически раскрываться и закрываться по мере поворота шарнира. При передаче момента нагрузки M_1 , меньше момента радиальной силы $M_p = Pa$, зазор в шарнире будет раскрыт при любом угловом положении шарнира.

Рисунок 6. Схема сил q, n, p и момент радиальной силы $M_p = Px$ в лопастном шарнире [3]

(φ — угол поворота соединения; a, b — размеры лопасти)

Состояние зазоров в соединении муфты с валком зависит не только от настройки уравнивающего устройства, но и от конструктивного исполнения валковой муфты. При существенном неуравновешивании или переуравновешивании шпинделя возникает перекос осей валка и муфты [3,11].

Провисание муфты наблюдается также при выходе центра тяжести муфты за пределы длины хвостовика валка. Во время захвата полосы, муфта может зафиксироваться на хвостовике валка в перекошенном положении за счет сил трения. Это приведет к тому, что оси муфты и шпинделя будут описывать в пространстве конусные поверхности, при этом центробежные силы окажут негативное влияние на работоспособность и долговечность деталей и узлов рабочей и шестеренной клетей.

В рабочей клетке вращающийся вектор центробежных сил приводит к периодическому изменению вертикальной силы, действующей на валки, что отражается на точности проката.

Изменение давления ведет к продольной разнотолщинности, а перекатывание приводного конца рабочего валка по опорному – к поперечной разнотолщинности. С другой стороны, при действии этого вектора в горизонтальной плоскости возникают удары подушек валков по стойкам станины, снижая работоспособность подшипников валковых опор, увеличивая износ накладок на подушках и стойках станин.

В шпинделях вращающийся вектор центробежных сил приводит не только к ускоренному износу шарниров шпиндельных соединений и подшипников уравнивания шпинделей, но и к ускоренному износу зубчатых колес шестеренной клетки при кромочном касании в зацеплении в случае перекоса осей валков и подшипников шестеренных валков от действия радиальных и осевых сил (рис. 6).

Различие моментов нагрузки на верхнем и нижнем валке во время холостого хода (обычно момент на нижнем валке больше момента на верхнем валке независимо от схемы уравнивания) приводит к различному состоянию зазоров в соединениях соответствующих валопроводов. Наличие раскрытого зазора в верхнем шпинделе приводит к большему развитию зоны опережения на верхнем валке и, как результат, к асимметрии нагружения, т.е. к меньшему моменту прокатки на нем и моменту сил упругости в верхнем шпинделе.

Под влиянием горизонтальной составляющей силы прокатки и окружной составляющей фрикционного взаимодействия рабочего валка с опорным валком узел рабочих валков совершает колебательное движение в поле зазоров между подушками и стойками станин, соударяясь с последним. Горизонтальная составляющая силы прокатки действует на верхний валок в направлении прокатки, а на нижний – против направления прокатки, что является причиной несинхронного движения узлов верхнего и нижнего рабочих валков и асимметрии нагружения опор валков.

Причем асимметрия нагружения имеет место не только в случае, когда перед захватом полосы зазор в шарнирах одного из шпинделей оказался, раскрыт, а другого – закрыт, но и в случае, когда оба зазора раскрыты, но в разной степени.

Перераспределение зон скольжения (отставания и опережения), моментов прокатки и горизонтальных составляющих сил прокатки, обусловленные различным исходным состоянием зазоров в шарнирах шпинделей, имеют место и после захвата на протяжении нескольких периодов низшей частоты собственных колебаний в линии привода. Затем скорости верхнего и нижнего валков выравниваются.

Широкое применение вычислительной техники позволяет проводить теоретические исследования в широком диапазоне, варьируя величину зазора в большом диапазоне [1,2,3,4].

Результаты и обсуждение

Для исследования процессов, происходящих в системе с люфтом, разработана структура блока, моделирующего в среде NI Multisim кинематический люфт между электродвигателем и объектом управления. Схема соединений модели системы,

управляющей скоростью электропривода, с моделирующим люфт блоком приведена на рисунке 10.

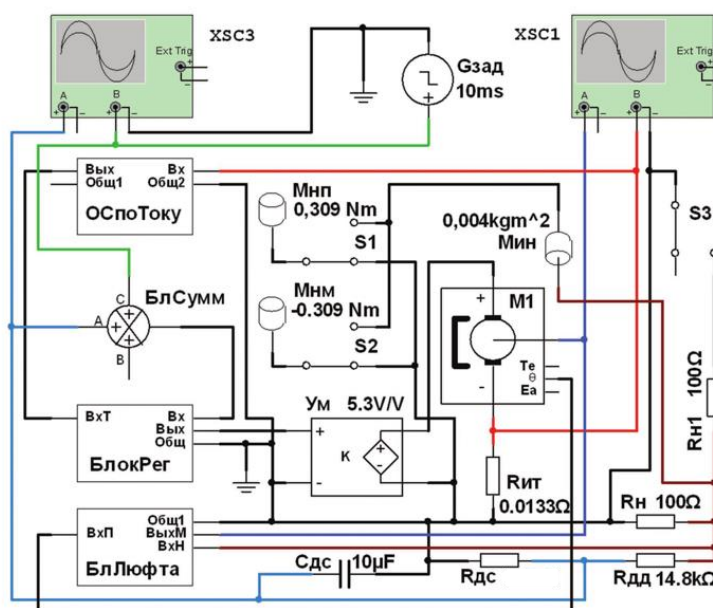


Рисунок 7. Схема соединений модели системы управления электроприводом с люфтом [5]

Основные правила работы в программной среде NI Multisim изложены в работах [5,9].

Усилитель мощности (Ум) преобразует управляющий сигнал с диапазоном от -5 В до $+5$ В в напряжение питания электродвигателя, изменяющееся в диапазоне от -27 В до $+27$ В в соответствии с управляющим сигналом. Значение управляющего сигнала 5 В выбрано исходя из параметров усилителя мощности.

Элементы Мнп и Мнм имитируют внешние возмущающие моменты, возникающие в процессе работы. Знак минус означает, что направление внешнего возмущающего момента совпадает с направлением вращения электродвигателя. Моменты сухого трения моделируются резисторами R_n и R_{n1} . Делитель напряжения на резисторах $R_{дд}$, $R_{дс}$ моделирует датчик скорости вращения.

График переходного процесса движения объекта в системе с люфтом приведён на рисунке 8.

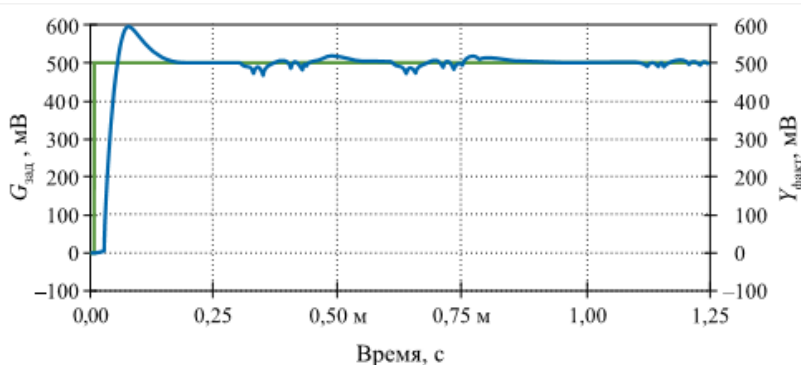


Рисунок 8. График переходного процесса по скорости вращения объекта в системе с люфтом [9]:

зелёная линия — заданное значение ($G_{\text{зад}}$),
синяя линия — фактическое значение ($Y_{\text{факт}}$)

Добавление люфта приводит к дополнительной задержке начала движения объекта на время, необходимое для прохождения зоны люфта, если до подачи задающего сигнала люфт не был выбран. Электродвигатель в зоне люфта не нагружен, и его скорость резко возрастает (рис. 9).

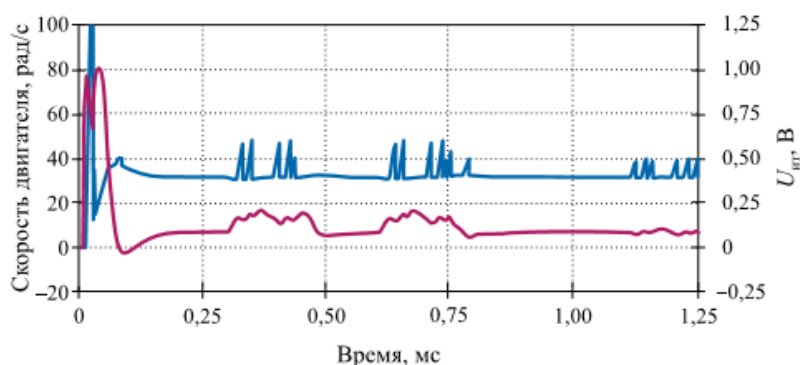


Рисунок 9. График переходного процесса по скорости вращения электродвигателя и по току якоря в системе с люфтом [9]:

синяя линия — скорость,

красная линия — напряжение $U_{ит}$ на измерительном сопротивлении $R_{ит}$

Из графиков движения объекта следует, что наличие люфта в системе с большой инерцией объекта практически не влияет на его скорость движения в установившемся режиме, но создаёт большие динамические нагрузки на редуктор и электродвигатель в момент выхода из зоны люфта.

Каждый сброс нагрузки электродвигателя при вхождении в зону люфта сопровождается снижением тока якоря с последующим возвратом к установившемуся значению. Характерным является возникновение колебаний скорости объекта с люфтом после подачи и сброса нагрузки.

Заключение

Таким образом, нами было исследовано влияние люфта на работу автоматической системы управления скоростью вращения электродвигателя.

Дана оценка явлению люфтовой асимметрии в узлах клеток прокатных станов. Выявлены причины ее возникновения. Предложены технология использования программной среды MathCAD для анализа динамического режима работы стана и программной среды NI Multisim для анализа влияния люфта редуктора в автоматической системе управления скоростью вращения объекта и структура блока, моделирующего кинематический люфт в системе программирования NI Multisim.

Список использованной литературы

1. Гусев А.С., Вафин Р.К., Мальцев А.А. Расчет усталостной долговечности конструкций с учетом снижения предела выносливости //Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2004. №5. С. 35 — 40.
2. Гусев А.С., Вафин Р.К., Мальцев А.А. Расчет усталостной долговечности конструкций при случайных процессах нагружения с учетом истории нагружения //Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2004. №6. С. 13 — 20.
3. Колесников А.Г., Яковлев Р.А., Мальцев А.А. Технологическое оборудование прокатного производства. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. — 158с.
4. Красовский А.Б. Основы электропривода: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. — 405с.

5. Листопадова Ю. И., Николаев В. Т., Сапожникова Л. Б. Моделирование люфты электропривода в программной среде NI Multisim при управлении скоростью движения // Электронные информационные системы. 2015. № 2 (5). С.19 – 30.

6. Мальцев А.А., Соболев В.А., Кожевников И.В.. Исследование в среде MathCAD крутильных колебаний электропривода стана дуо-160. //Инженерный вестник. 2014. № 9. С.96 – 102.

7. Мальцев А.А. Динамика и прочность электропривода клетки дуо-160. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. – 52 с.

8. Мальцев А.А. Расчет в среде MATHCAD динамических напряжений в опасном сечении вала шпинделя стана дуо-160 //Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. № 3. С. 64 – 70.

9. Николаев В. Т. Моделирование электрических цепей. М.: МИТ, 2014. – 188 с.

10. Филатов А.А., Яковлев Р.А. Динамические нагрузки в шестеренной клетке двухвалкового стана // Производство проката. 2008. № 9. С. 27 – 32.

11. Яковлев Р.А., Мальцев А.А., Русаков А.Д., Трайно А.И., Вольшонок И.З. Исследование люфтовой асимметрии прокатных клетей, Производство проката. 2014. №10. С. 41 – 48.

References

1. Gusev A. S., Vafin R.K., Maltsev A.A. Calculation of fatigue durability of designs taking into account decrease in a limit of endurance of News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2004. №5. P. 35 – 40. (In Russian).

2. Gusev A. S., Vafin R.K., Maltsev A.A. Calculation of fatigue durability of designs at accidental processes of loading taking into account the history of loading of News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2004. №6. P. 13 – 20. (In Russian).

3. Kolesnikov A.G., Yakovlev R.A., Altsev A.A. Processing equipment of rolling production. M.: MSTU publishing house of N.E. Bauman. 2014. – 158 p.(In Russian).

4. Krasovsky A.B. Electric drive bases: manual. M.: MSTU publishing house of N.E. Bauman. 2015. – 405 p. (In Russian).

5. Listopadova Yu. I., Nikolaev V.T., Sapozhnikova L. B. Modeling of a side play of the electric drive in the program NI Multisim environment at speed control of the movement //Electronic information systems. 2015. № 2 (5). P. 19 – 30. (In Russian).

6. Maltsev A. A., Sobolev V.A, Kozhevnikov I.V. A research in the environment of MathCAD of torsional fluctuations of the electric drive of the duo-160 mill. //Engineering bulletin. 2014. № 9.P. 96 – 102. (In Russian).

7. Maltsev A.A. Dinamics and durability of the electric drive of a cage duo-160. M.: MSTU publishing house of N.E. Bauman. 2016. – 52 p. (In Russian).

8. Maltsev A.A. Calculation in the environment of MATHCAD of dynamic tension in the dangerous section of a shaft of a spindle of the duo-160 mill //Mechanical equipment of steel works. 2014. № 3. P. 64 – 70. (In Russian).

9. Nikolaev V.T. Modeling of electrical circuits. M.: MEATH, 2014. – 188 pages.

10. Filatov A.A., Yakovlev R.A. Dynamic loads in a gear cage of a two-roll mill. Rolling Steel Production. 2008. № 9. P. 27 – 32. (In Russian).

11. Yakovlev R.A., Altsev A.A., Rusakov A.D., Trayno A.I., Volshonok I.Z.

Research of backlash asymmetry of rolling cages. Rolled Steel Production. 2014. № 10. P. 41 – 48. (In Russian).