
УДК 621.31:621.771.06-88

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ДИНАМИКУ СТАНА

Анатолий Иванович Мальцев

доц., к.т.н., 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

Целью работы является исследование динамики в соединениях главной линии прокатного стана при установке электродвигателей различных конструкций. Основным методом при проведении подобных исследований является математическое моделирование с помощью аналоговых или электронных вычислительных машин. Работы в этом направлении ведутся достаточно интенсивно. К сожалению, в имеющихся исследованиях мало внимания уделялось совместному анализу процессов, происходящих в электрической и механической частях привода. Предложены технология использования программной среды NI Multisim для анализа динамики в автоматической системе управления скоростью вращения объекта.

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

THE INFLUENCE OF ELECTROMOTOR ON DYNAMICS OF ROLLING MILL

Anatoly I. Maltsev

associate professor, PhD in Technological Sciences, 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

The aim of the work is to study the dynamics in the joints of the main line of the rolling mill when installing electric motors of various designs. The main method for conducting such studies is mathematical modeling using analog or electronic computers. Work in this direction is carried out quite intensively. Unfortunately, in the available studies little attention was paid to the joint analysis of the processes occurring in the electrical and mechanical parts of the drive. The technology of using NI Multisim software environment for the analysis of dynamics in the automatic control system of object rotation speed is proposed.

Keywords: workers crate, line drive, gap line drive, the performance of the rolling mill, modeling.

Введение

Основной проблемой, стоящей перед металлургическими предприятиями России, является техническое перевооружение. Это связано с физическим и моральным старением оборудования основных цехов, работающего по 30 и более лет. Одними из основных направлений технического перевооружения в ближайшей перспективе должны быть модернизация действующего оборудования прокатных станов и широкое внедрение современных систем управления на базе вычислительных комплексов. Решение этих задач невозможно без глубокого исследования динамических процессов, протекающих в оборудовании стана, на основе совместного рассмотрения механической трансмиссии и автоматизированного электропривода.

Широкое применение вычислительной техники позволяет проводить теоретические исследования в широком диапазоне, доводя узлы до виртуального разрушения [1,3,4,6,7,10].

Для приводов большой мощности для уменьшения скорости вращения обычно используют высокоскоростные электродвигатели с редуктором и шестеренной клетью (рис. 1).

Материалы и методы

Основными причинами динамических перегрузок являются интенсивные переходные процессы, имеющие место в цикле прокатки, наличие в системе упругих механических связей и зазоров, несовершенство системы электропривода. В связи с этим существует необходимость исследования динамических нагрузок, действующих в электромеханической системе привода клетки, еще на этапе её проектирования. Основным методом при проведении подобных исследований является математическое моделирование с помощью аналоговых или электронных вычислительных машин. Работы в этом направлении ведутся достаточно давно [2]. К сожалению, в имеющихся исследованиях мало внимания уделялось совместному анализу процессов, происходящих в электрической и механической частях привода. Большая часть исследований выполнялась инженерами-механиками, система электропривода при этом либо не учитывалась вовсе, либо представлялась простейшим уравнением 1-2 порядка. С другой стороны, из-за сложности кинематических схем рассматриваемой группы приводов использование методики составления эквивалентных расчетных схем, принятой в теории электропривода [7], могло служить причиной значительных погрешностей. Кроме того, из-за сложности определения ряда параметров, оказывающих важное влияние на уровень динамических нагрузок, например, величин зазоров в приводе, в расчетах их приходилось принимать приближенно, что еще более снижало точность расчетов.

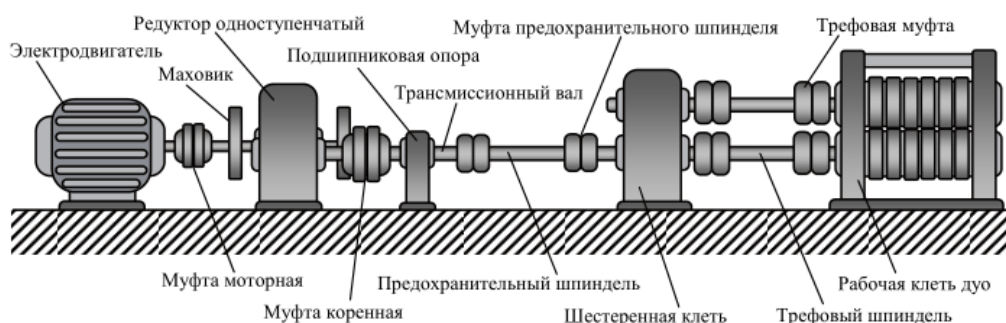
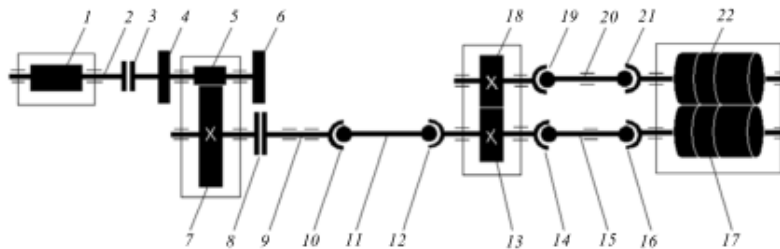


Рисунок 1. Главная линия привода прокатного стана (схема главной линии прокатного стана):

При составлении расчетной схемы крутильная колебательная система [5,8] разбивается на отдельные колеблющиеся массы (рис. 2).



1 – электродвигатель, 2 – вал электродвигателя, 3 – муфта моторная, 4 – маховик, 5 – (цилиндрический редуктор с маховиками) шестерня редуктора, 6 – маховик, 7 – (цилиндрический редуктор с маховиками), колесо редуктора, 8 – муфта коренная, 9 – вал, 10 – (универсальные шпиндели) головка предохранительного шпинделя, 11 – (универсальные шпиндели) предохранительный шпиндель, 12 – (универсальные шпиндели) головка предохранительного шпинделя, 13 – (шестеренная клет) нижняя шестерня, 14 – (универсальные шпиндели) головка нижнего шпинделя, 15 – (универсальные шпиндели) нижний шпиндель, 16 – универсальные шпиндели) головка нижнего шпинделя, 17 – (рабочая клет) нижний рабочий валок, 18 – (шестеренная клет) верхняя шестерня, 19 – (универсальные шпиндели) головка верхнего шпинделя, 20 – (универсальные шпиндели), верхний шпиндель, 21 – (универсальные шпиндели) головка верхнего шпинделя, 22 – (рабочая клет) верхний рабочий валок.

Рисунок 2. Кинематическая схема стана с одноступенчатым цилиндрическим редуктором.

Для моделирования крутильных колебаний была составлена универсальная 5-и массовая дискретная расчетная схема [9] (рис.3).

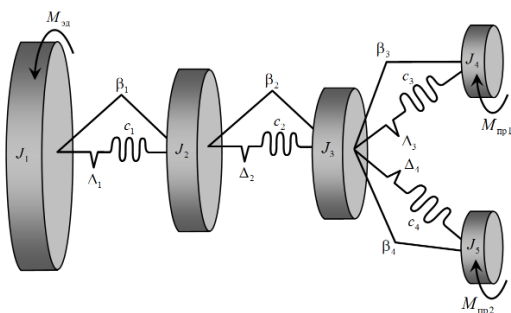


Рисунок 3. Разветвленная расчетная схема: 1, 2, 3, 4, 5 – центры сосредоточения масс
Дифференциальные уравнения движения массивных дисков во времени t составляются на основании известных уравнений Лагранжа II рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial (T - U)}{\partial q_j} = Q_j \tag{1}$$

Теоретическое исследование возможно только методами математического моделирования.

В прокатном производстве для привода рабочих валков клетей большинства станов в течение длительного времени использовались двигатели постоянного тока, получающие питание от полупроводниковых преобразователей. Но сегодня в связи с развитием техники

и новейших разработок применяются новые двигатели – синхронные и асинхронные короткозамкнутые двигатели, получающие питание от преобразователя частоты.

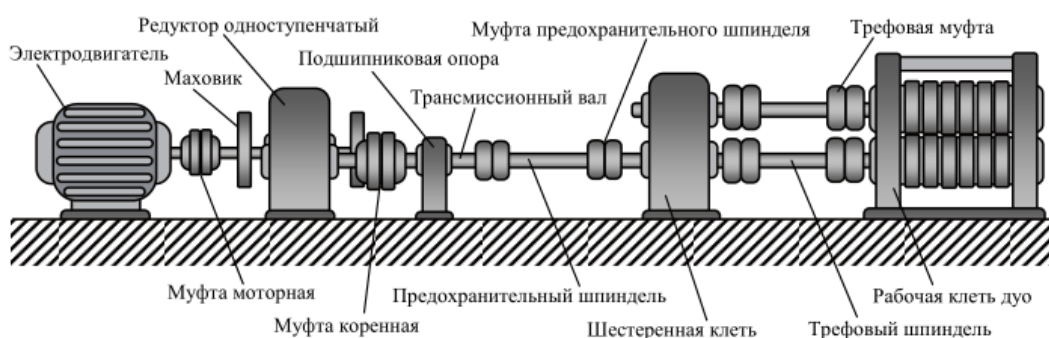
Результаты и обсуждения

Качество работы современного электропривода во многом определяется правильным выбором используемого электрического двигателя. Так как это должно обеспечить продолжительную надежную работу электропривода высокую эффективность технологических и производственных процессов в промышленности и других областях. Правильный выбор типа, исполнения и мощности электрического двигателя определяет не только безопасность, надежность и экономичность работы и длительность срока службы двигателя, но и технико-экономические показатели всего электропривода в целом.

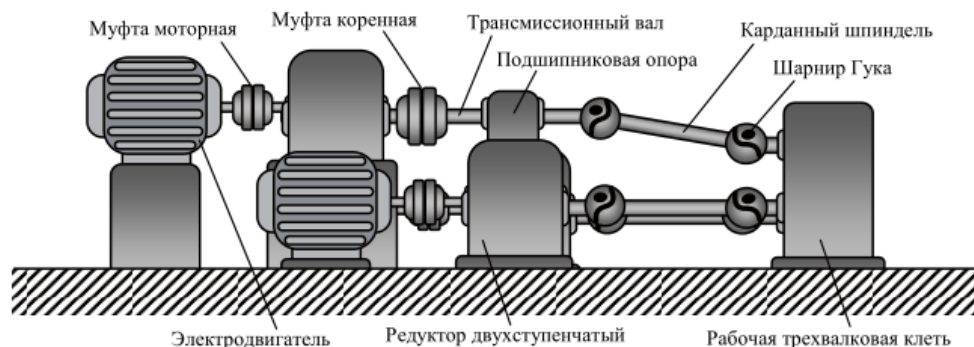
При выборе электродвигателя предъявляют соответствующие технические требования, такие как надежность, точность, быстродействие, качество (вследствие работы машин с электроприводами), энергетическая эффективность, совместимость. Эти технические требования учитываются также и при конструировании прокатных станов.

Виртуально устанавливались различные электродвигатели в линию привода станков.

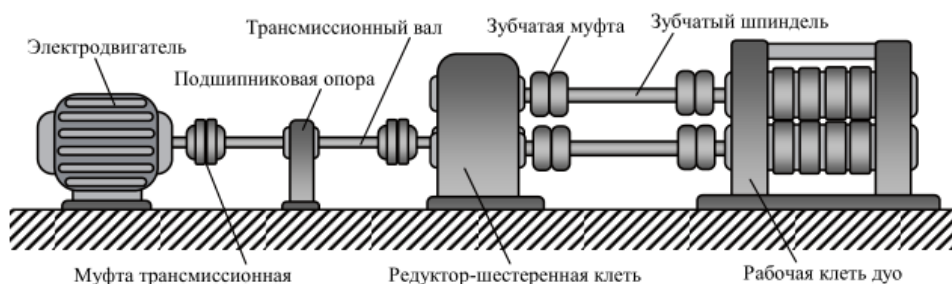
Натурные и экспериментальные исследования проводились на различных прокатных станках (рис.4).



а



б



в

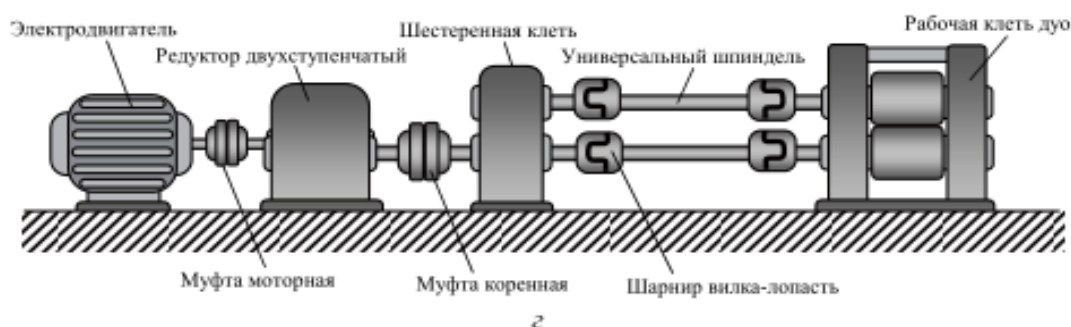


Рисунок 4. Эскизы станов: а-автоматического; б-3-х валкового; в- сортового; г- листового

Для осуществления автоматического регулирования предусматриваются управляемые преобразователи и регуляторы, позволяющие автоматически под воздействием обратных связей осуществлять регулирование координат электропривода, в нашем случае момента и скорости. Наиболее широко используются электромашинные и вентильные управляемые преобразователи напряжения постоянного тока и частоты переменного тока и соответствующие системы ЭП: система генератор – двигатель (Г-Д); система тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д); система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД). Также скорость и момент можно изменять путем реостатного регулирования. Выбор рационального способа регулирования из возможных является важной задачей, которая решается при проектировании электропривода.

Все вышеперечисленные системы имеют ряд преимуществ и недостатков, анализ которых при учете предъявляемых технических требований и специфики производственного механизма позволяет осуществить правильный выбор системы регулирования.

Так, в настоящее время продолжает успешно применяться система Г-Д. Ее основными достоинствами являются отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности. При применении синхронного двигателя в преобразовательном агрегате путем регулирования тока возбуждения можно обеспечить работу ЭП с $\cos\phi$ для компенсации реактивной мощности, потребляемой другими установками.

К сожалению, системе Г-Д присущи несколько серьезных недостатков, определяемых необходимостью трехкратного электромеханического преобразования энергии. Как следствие – низкие массогабаритные и энергетические показатели, и благоприятные регулировочные возможности достигаются ценой существенных затрат дефицитной меди, высококачественной стали и труда. Наряду с этим характерен низкий общий КПД системы.

Существенные преимущества асинхронного двигателя определяют несомненную перспективность системы ПЧ-АД. Однако регулирование частоты представляет собой технически более сложную задачу, чем регулирование выпрямленного напряжения, так как, как правило, требует дополнительных ступеней преобразования энергии. Коэффициент полезного действия системы ПЧ-АД ниже, чем в системе ТП-Д, ниже быстродействие и экономичность.

Исследования в среде MathCAD на ЭВМ амплитуд и частот крутильных колебаний, возникающих в процессе прокатки, показали, что установка различных электродвигателей не меняет характер колебаний (рис.5).

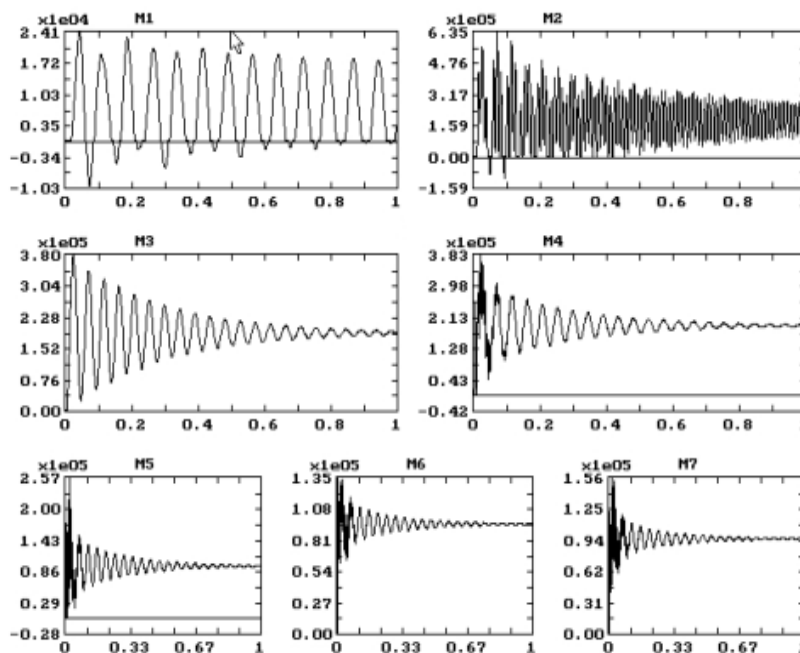


Рисунок 5. Теоретические графики, полученные в среде MathCAD, моментов сил упругости, возникающих на всех участках линии привода автоматического стана 220 ПНТЗ [6]

Заключение

Таким образом, необходима разработка методики построения математических моделей, позволяющих исследовать динамические нагрузки в главных приводах прокатных клетей на основе совместного анализа процессов, происходящих в их электрической и механической системах. На основе результатов этих исследований возможна оценка эффективности различных способов снижения динамических нагрузок в рассматриваемой группе электроприводов.

Полученные осциллограммы показали, что после захвата трубы валками автоматического стана на предохранительном шпинделе возникают крутильные колебания длительностью не более 1сек, с частотой в пределах 21...23 Гц.

Коэффициент динамичности, определяемый как соотношение максимального момента к значению установившегося момента, изменялся в следующих пределах: 1,9...2,5 в первом проходе и 2,4...3,8 – во втором.

Для маховичных приводов, например, автоматического стана, рис. 4а характерно то, что нет влияния электромагнитных явлений в электродвигателе на динамику процесса, т.е. маховики являются «заделкой».

Исследования 3-х валкового стана показали, что динамика отсутствует, т.к. захват в клети, рис. 4(б), плавный.

В сортовых и листовых станах, рис.4 в, г, являющиеся безмаховичными, на динамику влияют электромагнитные процессы, протекающие в электродвигателе.

Список использованной литературы

1. Bayer J., Streisselberg A. High strength steel plates with well defined combination of properties for line and offshore application based on TM-processong // Из материалов Второго конгресса прокатчиков. 28-30 октября 1997г., Череповец.
2. Samways N.L. Trico Steel a 2,2 million ton/year joint venture flat rolled mini mill // Iron and Steel Engineer. 1998. №3. 3. 21-34.

3. 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.

4. 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.

5. Кениг Г., Блекуэлл В. Теория электромеханических систем. М.: Энергия, 1965. - 424 с.

6. Колесников А.Г., Яковлев Р.А., Мальцев А.А. Технологическое оборудование прокатного производства. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. – 158с.

7. Красовский А.Б. Основы электропривода: учебное пособие / А.Б. Красовский. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. – 405 с.

8. Лепа И.И., Скичко П.Я., Скумс В.А. Результаты исследования динамики главных линий листопрокатных станов // В сборнике «Металлургическое машиноведение и ремонт оборудования». М.: Metallurgia, 1972. С.84-88.

9. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. М.: Наука, 1991. - 432 с.

10. Смиidt Д.М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей: Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1980. -271 с.

References

1. Bayer J., Streisselberg A. High strength steel plates with well defined combination of properties for line and offshore application based on TM-processong//From materials of the Second congress of film distributors. On October 28-30, 1997, Cherepovets.

2. Samways N.L. Trico Steel a 2,2 million ton/year joint venture flat rolled mini mill //Iron and Steel Engineer. 1998. №3. 3. 21-34.

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

4. 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. No. 6. Page 13 – 20. (In Russian).

5. Kenig G., Blekuell V. Theory of electromechanical systems. M.: Energy, 1965. - 424 pages. (In Russian).

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

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

8. Leepa I.I., Skichko P.Ya., Skums of VA. Results of a research of dynamics of the main lines of sheet-rolling camps//In the collection "Metallurgical Engineering Science and Repair of the Equipment". M.: Metallurgy, 1972. Page 84-88. (In Russian).

9. Liung L. Identification of systems. The theory for the user. M.: Science, 1991. - 432 pages.

10. Smidt D.M. Mathematical and digital modeling for engineers and researchers: The lane with English M.: Mechanical engineering, 1980.-271 pages. (In Russian).