

на правах рукописи

Бессонов Артём Александрович

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ
С СИНХРОННЫМИ НЕРЕГУЛИРУЕМЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Липецк – 2006

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Теличко Леонид Яковлевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Микитченко Анатолий Яковлевич
кандидат технических наук, Карих Юрий Викторович

Ведущая организация

ОАО Липецкий металлургический завод «Свободный Сокол» (г. Липецк)

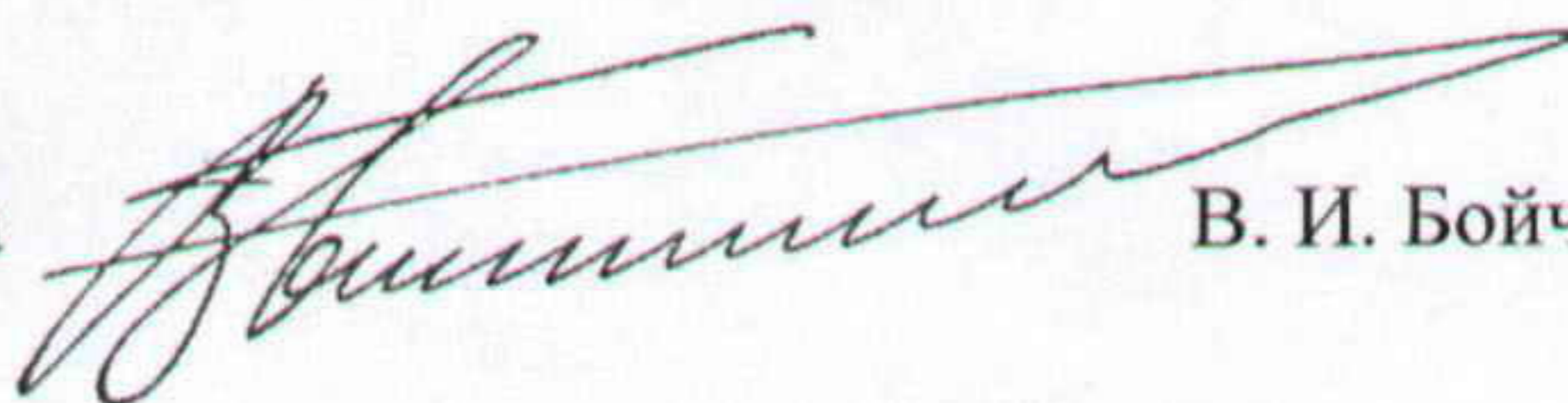
Защита диссертации состоится 15 сентября 2006 г. в 12⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.108.01 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет» по адресу: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, административный корпус, ауд. 601.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет».

Автореферат разослан « 27 » июня 2006 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



В. И. Бойчевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из основных проблем металлургической промышленности является высокая динамическая загруженность оборудования электротехнического комплекса прокатного стана, возникающая при эксплуатации электромеханических систем (ЭМС) черновых клетей с синхронными нерегулируемыми двигателями. Классическая работа таких систем приводит к преждевременному износу, поломкам и авариям на стане, вплоть до того, что разрушается фундамент и стены цеха стана. Причиной динамических нагрузок в рассматриваемых системах является наличие зазоров в кинематической цепи механической части клетки и несовершенство электропривода (ЭП) мощного нерегулируемого синхронного двигателя (СД). Из научных трудов известно, что снижать динамических нагрузки можно за счёт устройств и способов позволяющих выбирать зазор в кинематической части ЭП. Ранее такие задачи не могли быть решены из-за отсутствия подходящей элементной базы приборов силовой электроники для данного типа ЭП. В настоящее время, учитывая тенденции развития силовой электроники, возникает необходимость разрабатывать способы снижения динамических нагрузок ЭМС черновых клетей с ЭП от СД.

Очевидно, применяя при этом имитационное моделирование, уменьшаются риски выхода из строя действующего прокатного стана, оцениваемые в несколько миллионов рублей. Однако в большинстве известных моделей СД представлен по упрощенным уравнениям. Также не существует подходящих моделирующих систем, обеспечивающих требуемое его регулирование и управление.

Поэтому создание уточненной модели и разработка способов снижения динамических нагрузок для уже работающих ЭМС черновой клетки с СД, с учетом всего многообразия современных конструктивных решений представляет актуальную научно-техническую задачу.

Целью работы является разработка способов, обеспечивающих ограничение динамических нагрузок электромеханических систем черновых клетей с

синхронными двигателями прокатных станов, работающих в интенсивных режимах при резкопеременной нагрузке и повышающих за этот счет свою долговечность и работоспособность в сложных условиях металлургического производства.

Идея работы состоит в создании уточненной компьютерной модели электромеханической системы черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя с параметрами демпферной обмотки и насыщения магнитной цепи, позволяющей разрабатывать способы ограничения динамических нагрузок по различным каналам воздействия на электропривод клетки.

Научная новизна заключается:

- в предложенной универсальной методике построения модели черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя, отличающейся учетом влияния демпферной обмотки и насыщения на переходные процессы, позволяющей моделировать процессы изменения напряжения возбуждения двигателя и частоты питания двигателя;

- в полученных законах изменения напряжения возбуждения двигателя во времени и изменения частоты сети питания обмотки статора двигателя, отличающихся обеспечением закрытия зазора в кинематической цепи черновой клетки на холостом ходу и устранением собственных колебаний двигателя, что обеспечивает повышение перегрузочной способности двигателя черновой клетки до входа металла в валки и тем самым уменьшает динамические нагрузки;

- в разработанном законе подтормаживания опорных валков черновой клетки, отличающемся использованием блока регулирования напряжения возбуждения для увеличения угла нагрузки тета двигателя, позволяющего снижать динамические нагрузки на 30%.

Практическая ценность состоит в том, что:

- разработана компьютерная модель черновой клетки с приводом от мощного синхронного двигателя, предназначенная для исследований способов снижения динамических нагрузок;

- предложены способы снижения динамических нагрузок черновой группы с электроприводом от мощных синхронных двигателей, на основании разработанных законов изменения напряжения возбуждения во времени и изменения частоты сети питания двигателя, обеспечивающих снижение динамических нагрузок до 50%, в зависимости от соотношений параметров электромеханической системы черновой клетки;

- предложено схемное решение снижения динамических нагрузок установкой тормозного устройства и блока регулирования напряжения возбуждения, обеспечивающее снижение динамических нагрузок на 30...35%;

- установлено для разработчиков и инженеров конструкторов по модернизации черновой группы прокатного стана 2000 ОАО «Новолипецкого металлургического комбината» («НЛМК»), что существующая электромеханическая система черновой клетки не вносит существенных влияний на разрушение фундамента черновой группы, за исключением действия, ранее установленных, динамических нагрузок.

Методы и объёмы исследования. Теоретические исследования проводились с использованием аналитической теории синхронной машины, теории обобщенной электрической машины, дифференциально - интегрального исчисления и операторного метода решения уравнений. При проведении расчетов и моделирования на ЭВМ использовался программный пакет MATLAB 6.0, а также входящее в его состав средство визуального программирования SIMULINK. Результаты работы базировались на большом объёме экспериментальных исследований, проводившихся в промышленных условиях путем прямого осциллографирования с последующей обработкой результатов.

Достоверность результатов и выводов, состоит в прямой идентификации осциллограмм переходных процессов полученных на модели с осциллограммами полученных на реальном объекте (относительная погрешность не более 5%).

Реализация работы: Компьютерная модель черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя использовалась в листопрокатном цехе

ОАО «НЛМК», при разработке тормозного устройства для снижения динамических нагрузок, что подтверждается актом об использовании результатов от 07 ноября 2005 года, с ожидаемым экономическим эффектом около 120 тыс. рублей в год на одно тормозное устройство.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: ежегодной научно-технической конференции студентов и аспирантов факультета автоматизации и информатики ЛГТУ (г. Липецк, апрель 2002 г.); международной научно-практической конференции и ЭМС (г. Новочеркасск, октябрь 2003 г.); научно-практической конференции молодых ученых и специалистов центра России «Молодые ученые центра России: вклад в науку XXI века» (г. Тула, ноябрь 2003 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергетика, энергосберегающие технологии» (г. Липецк, апрель 2003 г.); научно-технической конференции кафедры электропривода ЛГТУ (г. Липецк, июль 2004 г.); IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (г. Магнитогорск, сентябрь 2004 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 154 страницы, в том числе 113 основного текста, 54 рисунка, 3 таблицы, списка литературы из 94 наименований, приложений на 42 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведены основные научные положения и результаты, выносимые на защиту, а также сведения об апробации реализации работы.

В первой главе диссертации сделан обзор литературы по современному состоянию исследований динамических нагрузок в главных приводах прокатных клетей и способов их ограничения. Из него выяснилось, что большинство известных работ по изучению путей снижения динамических нагрузок было выполнено инженерами-механиками, а работ, посвященных совместному рассмотрению специалистами из области механики и ЭП, мало. В определенной мере это обусловлено относительной простотой использовавшихся ранее систем ЭП клетей с прямым классическим включением мощного СД в сеть. В настоящее время, в связи с широким внедрением в прокатном производстве сложных систем управления, требуется детальней изучать пути ограничения динамических нагрузок без существенных изменений как механической, так и электрической части клетки прокатного производства.

Объектом исследования в диссертационной работе являются ЭМС черновой группы с ЭП от СД. Предлагается для данных ЭМС следующие схемные решения ограничения динамических нагрузок: используя автоматическое регулирование возбуждения (АРВ); используя установку системы преобразователь частоты (ПЧ)-СД; используя устройство торможения валков.

Вторая глава диссертации посвящена разработке модели черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя и адекватности её использования электромеханическим преобразованием энергий главной линии прокатного стана.

Математическая модель СД строилась на основании использования теории обобщенной электрической машины. Трехфазный СД, при условии равенства полных сопротивлений фаз статора (ротора), в динамике был представлен двухфазной моделью. Уравнения СД были получены для системы координат d, q – жестко связанной с ротором. Для простоты построения в модели было учтено, что обмотка статора реального синхронного двигателя соединена в звезду без нулевого провода, т.е. фазные токи $i_a + i_b + i_c = 0$ не содержат тока нулевой последовательности i_0 .

Математическое описание динамических процессов в явнополюсном СД выглядят так:

$$\left. \begin{aligned} U_{1d} &= R_1 \cdot i_{1d} + d\psi_{1d}/dt - \omega_{эл} \cdot \psi_{1q}; \\ U_{1q} &= R_1 \cdot i_{1q} + d\psi_{1q}/dt + \omega_{эл} \cdot \psi_{1d}; \\ U_B &= R_B \cdot i_B + d\psi_{1B}/dt; \\ \psi_{1d} &= L_{1d} \cdot i_{1d} + L_{12d} \cdot i_B; \\ \psi_{1q} &= L_{1q} \cdot i_{1q}; \\ \psi_B &= L_B \cdot i_B + L_{12d} \cdot i_{1d}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где U_{1d} , U_{1q} – мгновенные значения напряжений якоря СД по осям d , q ; U_B – мгновенное значение напряжения индуктора СД; i_{1d} , i_{1q} – мгновенные значения токов якоря СД по осям d , q ; i_B – мгновенное значение тока индуктора СД; ψ_{1q} , ψ_{1d} – мгновенные значения потокосцеплений якоря СД по осям d , q ; ψ_B – мгновенное значение потокосцепления индуктора СД; L_{1d} , L_{1q} – индуктивности якоря СД по осям d , q ; L_{12d} – взаимная индуктивность якоря индуктора СД; $\omega_{эл} = d\varphi_{эл}/dt$ – скорость ротора СД записанная в электрических градусах, $\varphi_{эл}$ – угол поворота ротора в электрических градусах; R_1 – активное сопротивление обмотки якоря СД; R_B – активное сопротивление обмотки индуктора СД.

Уравнение электромагнитного момента СД:

$$M = p_n \cdot (\psi_{1d} \cdot i_{1q} - \psi_{1q} \cdot i_{1d}), \quad (2)$$

где p_n – число пар полюсов СД.

Многомассовость ЭМС кинематической цепи с зазором в сочленениях между элементами главной линии прокатного стана была учтена следующим уравнением:

$$M - M_{i,i+1} + M_{ci} \cdot (1 - e^{-1/T}) = J_i \cdot \frac{d}{dt} \omega_i, \quad \forall i (1, n), \quad (3)$$

где $M_{i,i+1}$ – упругий момент между массой i и $i+1$; $M_{ci} \cdot (1 - e^{-1/T})$ – момент прокатки металла с учетом его деформации при захвате металла валками черновой клетки; T – период деформации металла; J_i – момент инерции i – ой массы ЭМС клетки; $\frac{d}{dt} \omega_i$ – ускорение i – ой массы ЭМС клетки.

$$\left. \begin{aligned} M_{i,i+1} &= C_{i,i+1} \cdot (\varphi_i - \varphi_{i+1} \pm \Delta \varphi_{zi}/2) \text{ при } |\varphi_{i-1} - \varphi_i| > \Delta \varphi_{zi}/2; \\ M_{i,i+1} &= 0 \text{ при } |\varphi_{i-1} - \varphi_i| \leq \Delta \varphi_{zi}/2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $C_{i,i+1}$ – жесткость упругой связи ЭМС клетки между массами i и $i+1$; φ_i и φ_{i+1} – начальное и конечное значение зазора между i и $i+1$ массы ЭМС клетки, соответственно.

Т.к. изучаемая область может выходить из окрестности точек статического равновесия, то, в случае исследования процессов изменения скорости и форсировки тока возбуждения СД прокатной клетки, необходимо учитывать действия замкнутых контуров вихревых токов от демпферной клетки двигателя, а также насыщения магнитной цепи двигателя.

Точный учет демпферных контуров весьма сложен. Можно предполагать, что имеется конечное число замкнутых контуров с сосредоточенными параметрами в каждой из осей индуктора. Чем больше число рассматриваемых контуров, тем точнее учет демпферной клетки и вихревых токов. Т.к. не ставится задача определения токов в стержнях ротора, то короткозамкнутые обмотки ротора были заменены двумя эквивалентными короткозамкнутыми контурами, расположенными по продольной и поперечной осям.

Уравнения демпферной клетки СД черновой клетки прокатного стана выглядят так:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= d\psi_{дd}/dt + R_{дd} \cdot i_{дd}; \\ 0 &= d\psi_{дq}/dt + R_{дq} \cdot i_{дq}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\psi_{дd}$, $\psi_{дq}$ – мгновенные значения потокосцеплений демпферных контуров СД по осям d и q ; $R_{дd}$, $R_{дq}$ – активные сопротивления демпферных контуров СД.

При этом, уравнения потокосцеплений обмоток СД запишутся так:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{1d} &= L_{1d} \cdot i_{1d} + L_{12d} \cdot i_b + L_{12d} \cdot i_{дd}; \\ \psi_{1q} &= L_{1q} \cdot i_{1q} + L_{12q} \cdot i_{дq}; \\ \psi_b &= L_b \cdot i_b + L_{12d} \cdot i_{1d} + L_{12d} \cdot i_{дd}; \\ \psi_{дd} &= L_{дd} \cdot i_{дd} + L_{12d} \cdot i_{1d} + L_{12d} \cdot i_b; \\ \psi_{дq} &= L_{дq} \cdot i_{дq} + L_{12q} \cdot i_q, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где L_{1d} , L_{12d} , L_{1q} , $L_{в}$, $L_{дd}$, $L_{дq}$, L_{12q} – индуктивности и взаимоиндуктивности статора и ротора СД.

Насыщение по основному потоку и потокам рассеяния играют разные роли в рабочих режимах синхронного двигателя. Насыщение по основному потоку сильно влияет на параметры и свойства синхронного двигателя. Но этот вид насыщения не препятствует реализации возможностей синхронного двигателя в регулируемых электроприводах.

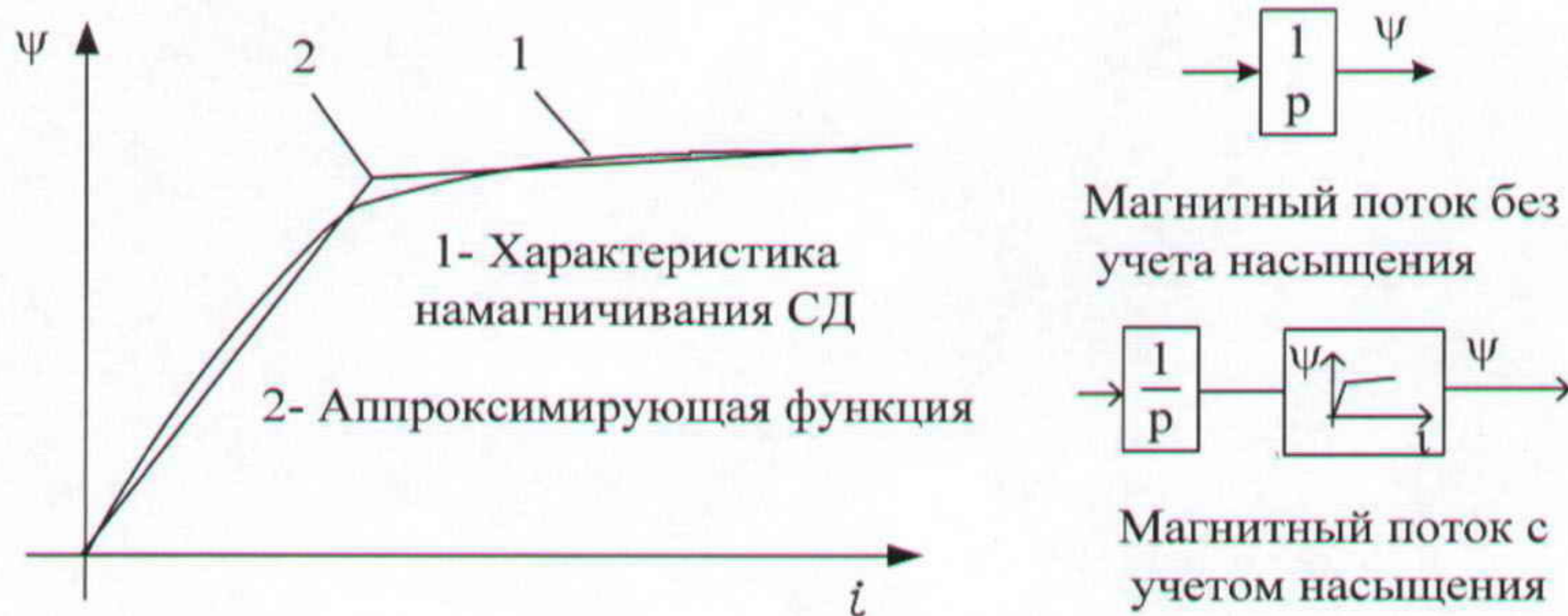


Рис. 1. Учет насыщения в модели

Насыщение по потокам рассеяния значительно меньше влияет на режимы и параметры синхронного двигателя. Заметное влияние проявляется только при повышенных кратностях токов якоря и возбуждения. Точный учет насыщения синхронного двигателя весьма сложен. Поэтому в работе был предложен приближенный учет насыщения, введением нелинейного аппроксимирующего звена в структурную схему синхронного двигателя, рис. 1. Таким образом, была получена структурная схема электромеханической системы черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя с учетом действия демпферных контуров и насыщения магнитной цепи, рис. 2.

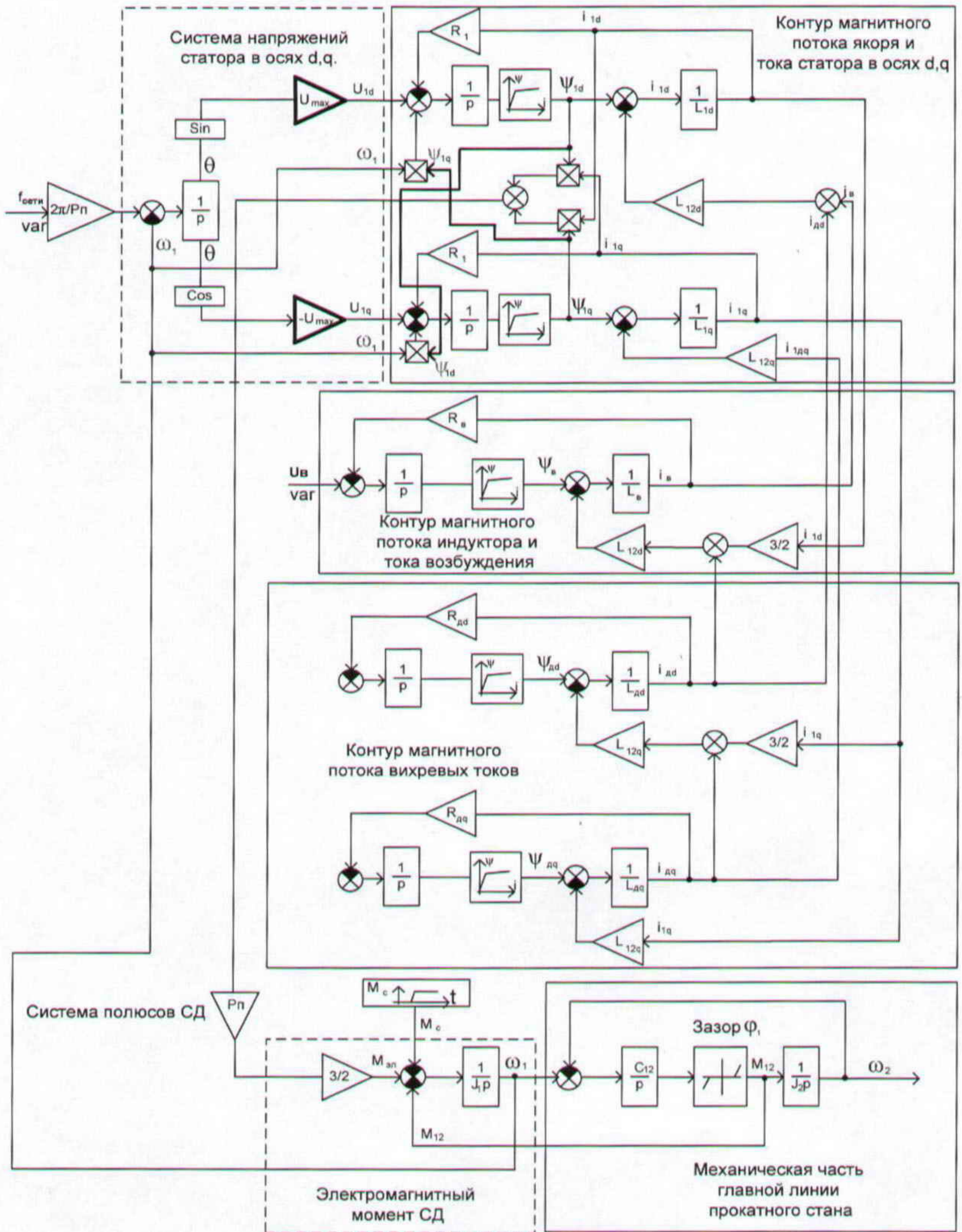


Рис. 2. Структурная схема ЭМС черновой клетки с ЭП от СД

Для рассмотрения адекватности электромеханических преобразований энергий главной линии прокатного стана, были рассмотрены два случая: адекватность основным зависимостям СД; адекватность реальным переходным процессам (п/п) по осциллограммам.

В третьей главе диссертации выполнено исследование на модели черновой клетки с ЭП от СД схемных решений ограничения динамических нагрузок.

Обосновано, что уменьшение динамических нагрузок главных линий прокатных станов с приводами от мощных СД следует производить одновременно двумя способами:

- уменьшать величину раскрытия зазора в кинематической цепи клетки, путем её натяжения за счет изменения скорости вращения двигателя или валков клетки на холостом ходу перед захватом металла;

- снижать колебания ротора относительно поля статора СД при нагрузке, используя электромагнитное влияние на параметры двигателя.

Моделирование схемы АРВ-СД по рис.3, которая помимо закрытия зазора устраняет собственные колебания двигателя, показало, что динамические нагрузки уменьшаются на 15...20%.

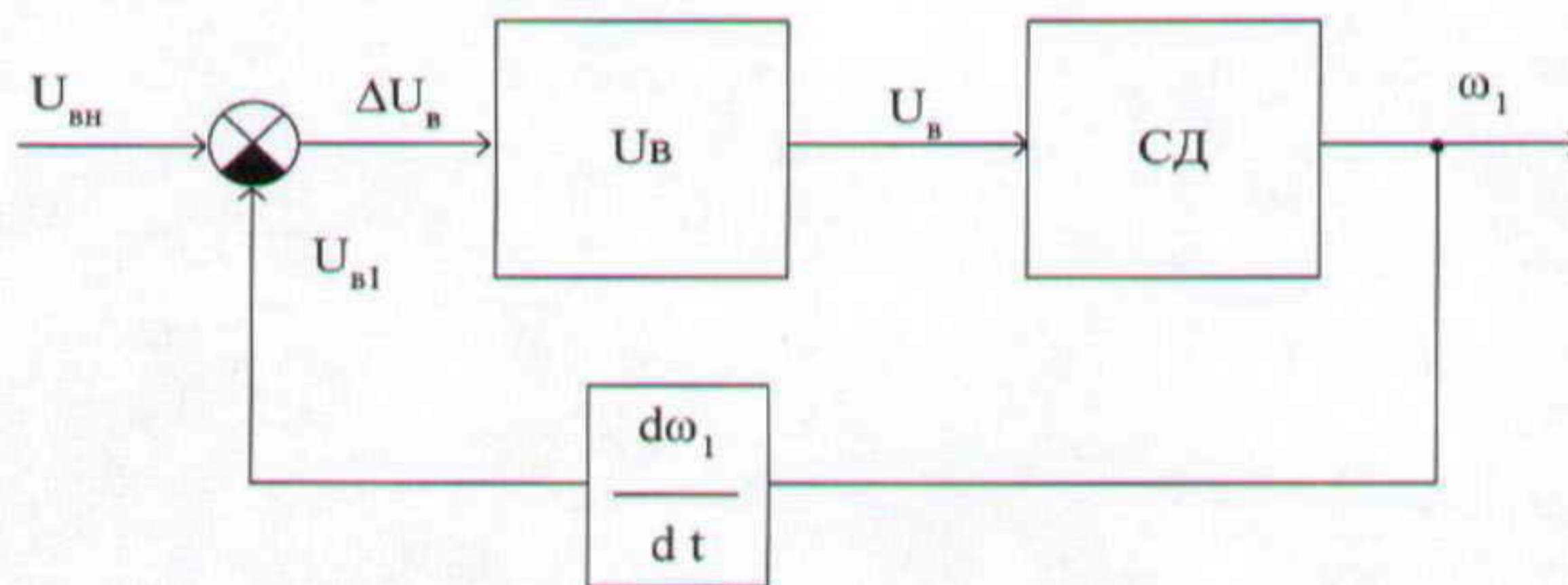


Рис. 3. Структурная схема АРВ-СД

Моделирование ограничения динамических нагрузок с помощью установки системы ПЧ-СД производилось согласно структурной схеме рис. 4. Данная схема в модели позволяет закрывать зазор за счет предварительного ускорения двигателя и уменьшать собственные колебания двигателя за счет автома-

тического регулирования частоты питания двигателя. Таким образом, динамические нагрузки снизились в 2 раза.

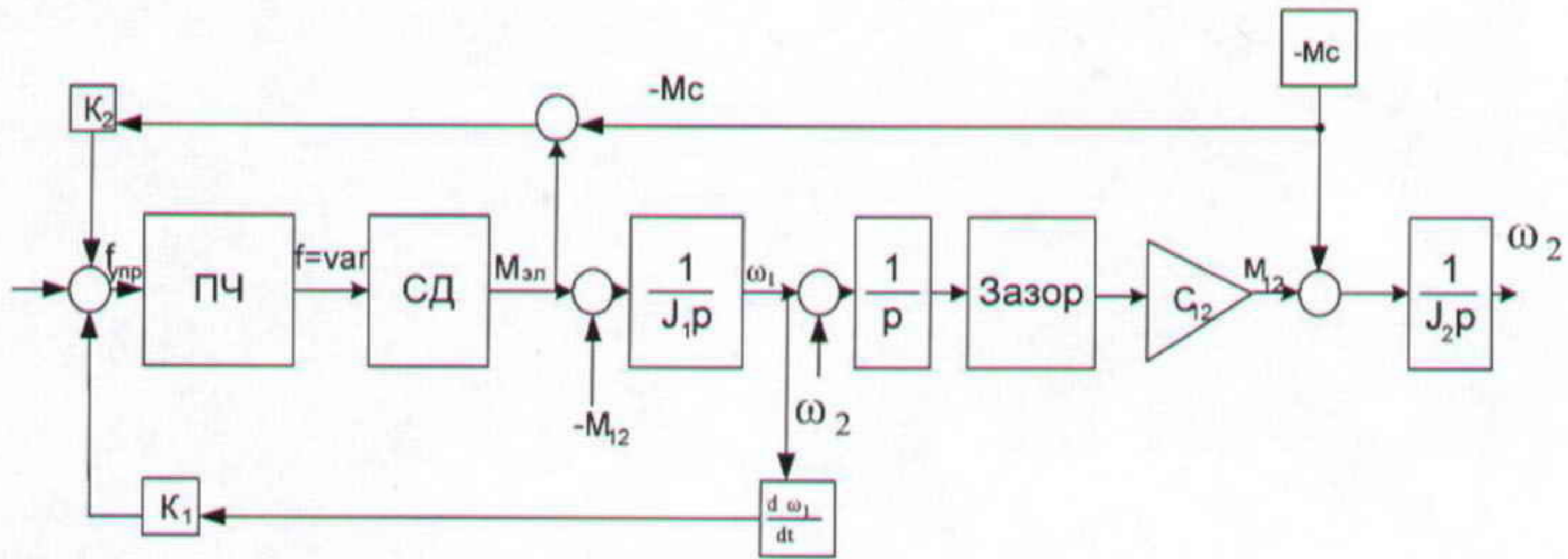


Рис. 4. Структурная схема системы ПЧ-СД прокатной клетки

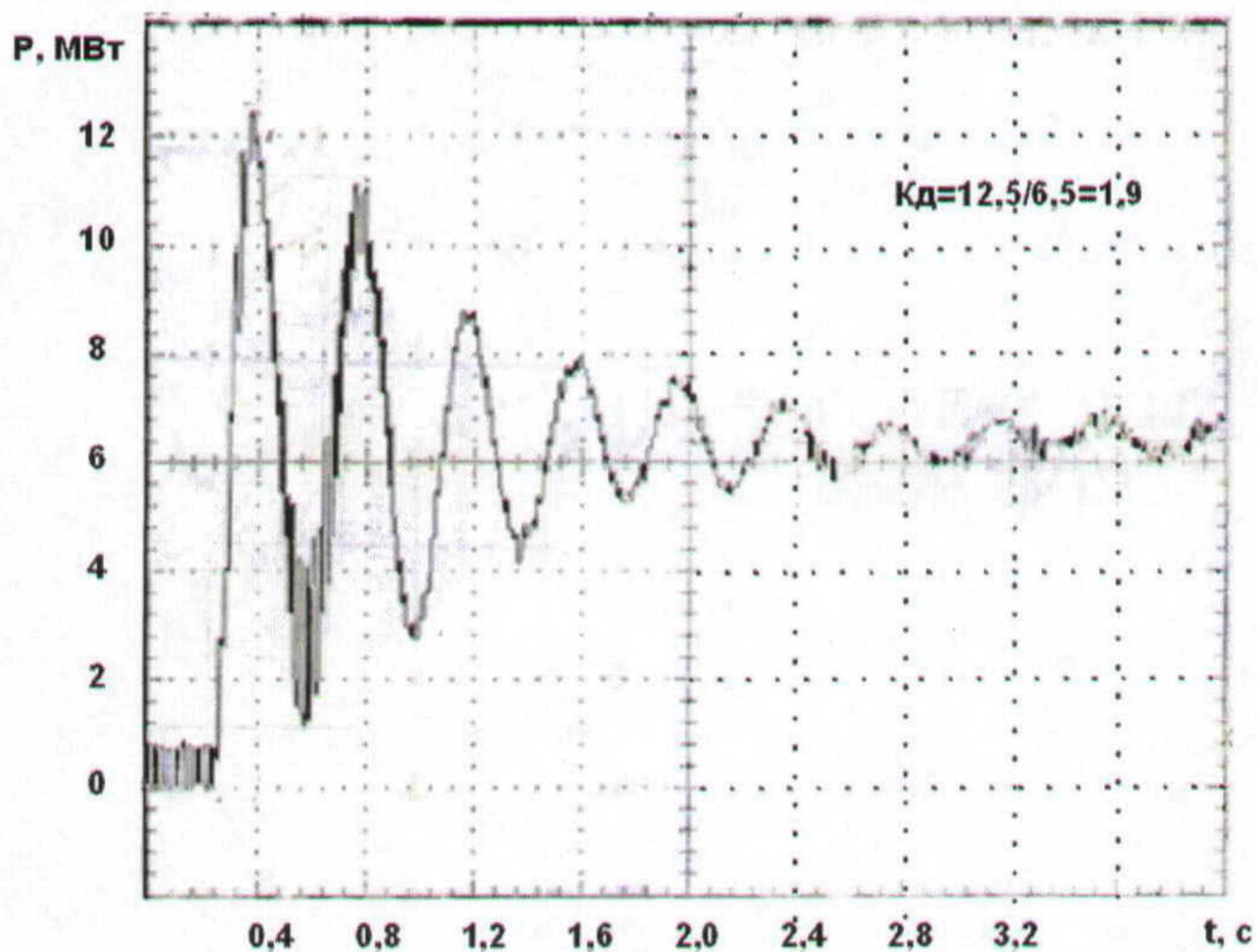
Четвертая глава диссертационной работы посвящена экспериментальному исследованию динамических нагрузок черновых клеток стана 2000 ОАО «НЛМК», описанию устройства выборки люфтов в линии привода прокатного стана и исследованию побочных факторов, в частности взаимосвязи установки ротора относительно статора на разрушение фундамента черновых клеток стана 2000 ОАО «НЛМК».

Далее приводятся результаты моделирования от использования схемы, которая позволяет совместно использовать устройство торможения валков, с целью закрытия зазоров в кинематической схеме черновой клетки и устройство АРВ, устраняющей собственные колебания двигателя. Данные моделирования показывают, что динамические нагрузки уменьшаются на 30...35%.

Величина зазора кинематической цепи черновых клеток влияет на динамические нагрузки клеток. Для подтверждения данного утверждения была собрана схема тормозного устройства. Схема позволяет прикладывать пневматический тормоз на опорные валки, с целью закрытия зазоров в кинематической цепи клетки №3 стана 2000.

На рис. 5 приведены сопоставимые осциллограммы работы данной системы в случае прокатывания металла без действия тормозного момента на валки и в случае действия тормозов на валки.

а)



б)

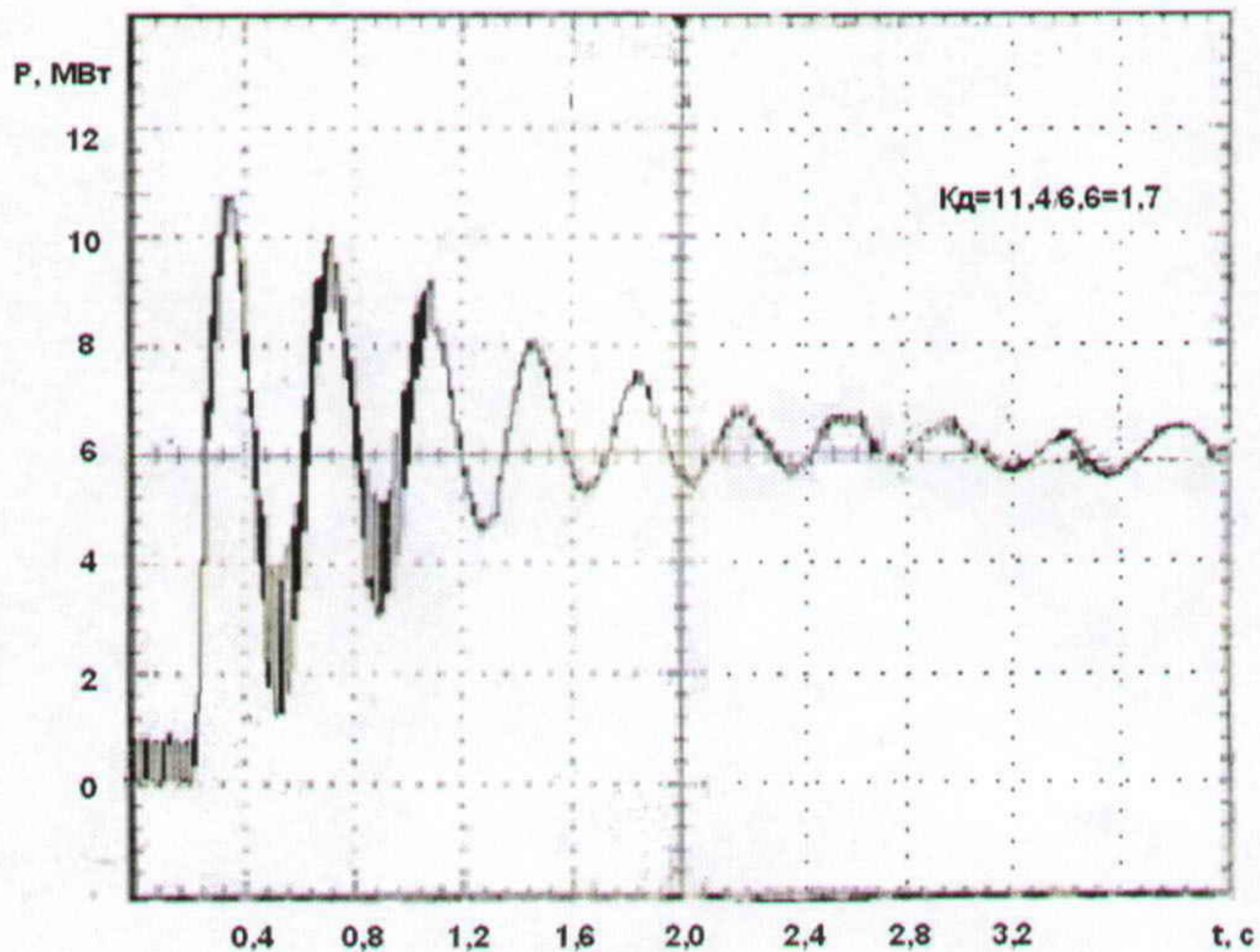


Рис. 5. Осциллограммы переходных процессов мощности в синхронном двигателе клетки №3 прокатного стана 2000:

- а — клеть без использования тормозного устройства;
- б — клеть с использованием тормозного устройства

После проведенного исследования было установлено, что данная система позволяет ограничивать динамические нагрузки на 20...30%.

Далее, в главе приводятся результаты исследования по вопросу разрушения фундамента черновой клетки. Было предположено, что ротор установлен относительно статора ассиметрично, что может вызывать разбаланс электромагнитной симметрии при нагрузке двигателя и привести к биению ротора о подшипники двигателя. Для подтверждения данного обстоятельства производились замеры вибрационного смещения и ускорения на подшипниках двигателя. Измерения проводились в трёх взаимно перпендикулярных направлениях. В результате чего был получен ряд осциллограмм трёх видов. Они снимались как под нагрузкой, так и на х.х. А именно зависимости: смещения в микронах от спектра колебаний с 4 до 200 Гц; смещения в Дб от спектра колебаний с 0 до 25 Гц; ускорения в мм/с² во времени в секундах.

В ходе исследования по выявлению причин приводящих к разрушению фундамента черновой группы со стороны работы ЭМС черновых клеток было установлено, что действия электромеханических сил, за исключением динамических нагрузок, не вносят существенную степень на причины разрушения фундамента стана. В работе рекомендовано подключать специалистов из области строительства фундаментов для совместного решения вопроса разрушения фундамента, т.к. этот процесс является многофакторным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получено новое решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности работы электромеханической системы черновой клетки с мощным синхронным двигателем путем снижения динамических нагрузок кинематической цепи черновой клетки за счет системы преобразователь частоты синхронный двигатель, закона изменения напряжения возбуждения двигателя и устройства торможения валков клетки, что обеспечи-

вает долговечность и работоспособность стана в сложных условиях металлургического производства.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1. Предложена методика расчета модели черновой клетки, основанная на данных электрической и механической части клетки, отличающаяся тем, что в расчете используются табличные значения величин демпферной обмотки, методика позволяет моделировать процессы изменения напряжения возбуждения двигателя и частоты питания двигателя.

2. Разработана компьютерная модель прокатной клетки с приводом от мощного синхронного двигателя на базе уравнений Парка-Горева, отличающаяся учетом влияния демпферной обмотки и насыщения на переходные процессы синхронного двигателя. Модель практически применялась при проектировании НКУ для экскаваторов ЭКГ-10 в ОАО «Рудоавтоматика».

3. Разработаны способы ограничения динамических нагрузок черновых клеток с нерегулируемым СД. При этом получены следующие результаты:

- система ПЧ-СД, позволяет уменьшить динамические нагрузки в 2 раза и позволяет облегчить пуск черновой клетки;

- система АРВ-СД, позволяет уменьшить динамические нагрузки на 15...20%;

- система тормозное устройство-АРВ-СД позволяет уменьшить динамические нагрузки на 30...35%;

4. Проанализирована работа тормозного устройства, установленного на опорные валки черновой клетки, с точки зрения эффективности снижения динамических нагрузок прокатной клетки. Модель данного устройства внедрена при разработке тормозного устройства на стане 2000 ОАО «НЛМК».

5. Изучены причины разрушения фундамента со стороны ЭМС черновой группы стана 2000 ОАО «НЛМК». Исследована связь расположения ротора двигателя относительно статора двигателя с причиной разрушения фундамента черновой клетки.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Бессонов, А.А. Моделирование динамических процессов черновых клеток стана 2000 с нерегулируемым приводом мощного синхронного двигателя [текст] / А.А. Бессонов // Сборник материалов ежегодной научно-технической конференции студентов и аспирантов факультета автоматизации и информатики ЛГТУ: сб. науч. тр. – Липецк: ЛГТУ, 2002. – С. 23-25.

2. Теличко, Л.Я. Снижение динамических нагрузок привода черновой клетки с нерегулируемым синхронным двигателем изменением напряжения возбуждения [текст] / Л.Я. Теличко, А.А. Бессонов, А.Л. Филонов // Интеллектуальные электромеханические системы и комплексы: труды международной научно-практической конференции. – Новочеркасск, 2003. – С. 57-60.

3. Бессонов, А.А. Ограничение динамических нагрузок черновой клетки с приводом от синхронного двигателя [текст] / А.А. Бессонов // Молодые ученые центра России: вклад в науку XXI века: труды научно-практической конференции. – Тула, 2003. – С. 4-6.

4. Бессонов, А.А. Анализ способов снижения динамических нагрузок прокатных клеток [текст] / А.А. Бессонов // Электроэнергетика, энергосберегающие технологии: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Липецк: ЛГТУ, 2003. – С. 67-70.

5. Теличко, Л.Я. Построение модели черновой клетки с электроприводом от синхронного двигателя [текст] / Л.Я. Теличко, А.А. Бессонов // Электроэнергетика, энергосберегающие технологии: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Липецк: ЛГТУ, 2003. – С. 104-106.

6. Теличко, Л.Я. К вопросу разрушения фундамента черновой клетки с приводами от мощных синхронных двигателей [текст] / Л.Я. Теличко, А.А. Бессонов // Материалы научно-технической конференции посвященные 30-летию кафедры электропривода ЛГТУ: сборник статей научно-технической конфе-

ренции кафедры электропривода. Липецкий государственный технический университет. – Липецк, 2004. – С. 19-22.

7. Теличко, Л.Я. Снижение динамических нагрузок черновой клетки с электроприводом от мощного синхронного двигателя [текст] / Л.Я. Теличко, А.А. Бессонов // Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. Часть 2. – Магнитогорск, 2004. – С. 13-15.

Личный вклад автора в работах, написанных в соавторстве, заключается в следующем: [2] показаны результаты исследований снижения динамических нагрузок по каналу возбуждения двигателя; [5] разработана модель черновой клетки с приводом от синхронного двигателя на основании уравнений Парка-Горева, построена структурная схема моделирования динамических и статических процессов клетки, приведена фотография модели, фотографии п/п реального объекта и п/п полученных на модели; [6] рассмотрено исследование по правильной установке ротора синхронного двигателя черновой клетки и определено его воздействие на разрушение фундамента черновой клетки, с точки зрения электромеханических сил, возникающих из-за неправильности установки ротора; [7] сделан анализ снижения динамических нагрузок тремя способами, показано повышение эффективности способа снижения динамических нагрузок воздействием на канал возбуждения двигателя с дополнительным устройством торможения, рассмотрено устройство торможения валков черновой клетки № 3 стана 2000 ОАО «НЛМК», рассмотрен вопрос разрушения фундамента черновой группы прокатного стана.