

**ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
КОМПЛЕКСА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

Назарова Е. С.

Разработан комплекс взаимосвязанных моделей электромеханических систем станов холодной прокатки, который позволяет учитывать упругие связи первого и второго родов между электроприводами прокатной клетки и намоточно-размоточного механизма. Сравнение электромеханических процессов, полученных при моделировании, с данными мониторинга реального оборудования подтверждает их адекватность. Предложенный комплекс моделей может быть использован при разработке новых и реконструкции существующих систем управления станами холодной прокатки, а также для исследования многомассовых взаимосвязанных электроприводов основных механизмов станов холодной прокатки.

Розроблено комплекс взаємопов'язаних моделей електромеханічних систем станів холодної прокатки, який дозволяє враховувати пружні зв'язки першого і другого родів між електроприводами прокатної кліті та намотувально-розмотувального механізму. Порівняння електромеханічних процесів, отриманих при моделюванні, з даними моніторингу реального обладнання підтверджує їх адекватність. Запропонований комплекс моделей може бути використаний при розробленні нових і реконструкції існуючих систем керування станами холодної прокатки, а також для дослідження багатомасових взаємопов'язаних електроприводів основних механізмів станів холодної прокатки.

A complex of interrelated models of electromechanical systems of cold rolling, which takes into account the elastic of first and second kind between drives rolling stand and winding-unwinding mechanism. Comparison of electromechanical processes used in the simulation, with real hardware monitoring data confirms their adequacy. The proposed complex of models can be used in the development of new and reconstruction existing control systems of cold rolling mills, as well as for research multimass interconnected drivers the basic mechanisms of cold rolling mills.

Назарова Е. С.

канд. техн. наук, ст. преп. ЗНТУ
nazarova@zntu.edu.ua

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

УДК 62-83-52:621.771+004.94

Назарова Е. С.

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

При создании систем автоматизации с применением вычислительной и микропроцессорной техники для прогнозирования, проектирования и оптимизации параметров оборудования и технологии холодной прокатки возрастает роль математического моделирования [1]. Разработка методов и универсальных математических моделей для исследования динамических режимов работы электромеханических систем является весьма актуальной задачей, что обуславливается стремлением исследователей наиболее полно отразить в модели особенности объекта (усложнить модель), с одной стороны, и представить его как элемент системы (по возможности упростить модель), с другой [2]. Одним из наиболее распространенных предназначений моделей является их применение при изучении и прогнозировании поведения сложных процессов и явлений. Другое, не менее важное, предназначение моделей состоит в выявлении ими наиболее существенных факторов, формирующих определенные свойства объекта, учет которых необходим при исследовании различных процессов или явлений [3].

Одним из важных этапов математического моделирования является переход от технической и концептуальной постановки задачи к математической, то есть описание исследуемого объекта на языке математических формул и уравнений. Поэтому часто возникает необходимость «разбить» поставленную задачу на несколько более простых подзадач, которые имеют или известные решения, или которые можно решить с помощью апробированных методов. Для этой цели удобно использовать методы структурного моделирования, позволяющие ещё на стадии постановки упростить решаемую задачу путем исследования внутренней структуры рассматриваемого объекта, изучения свойств отдельных элементов объекта и связей между ними. При этом структурные схемы, связи подсистем и их элементов проще изобразить графически, что упрощает анализ объектов исследования [3].

В мире накоплен положительный опыт по созданию математических моделей процесса холодной прокатки или отдельных его координат, однако многие из этих моделей имеют ограниченную область применения, недостаточно полно освещены вопросы моделирования названных систем с учетом переменных параметров многомассовых одновременно взаимосвязанных через обрабатываемый металл и «длинный вал» электромеханических систем (ЭМС) станов холодной прокатки (СХП). Вызывает трудности изменение структуры исследуемых ЭМС как в электрической, так и в механической частях, что не позволяет создать различные по конструкции модели агрегатов прокатного производства для проведения предварительных экспериментов на стадии проектирования новых систем управления.

Целью работы является применение структурного моделирования при разработке комплекса взаимосвязанных моделей электромеханических систем станов холодной прокатки, предназначенного для проведения предварительных экспериментов при проектировании новых и реконструкции существующих систем управления электроприводами названных станов.

Поскольку математическое моделирование является наиболее совершенным и эффективным методом моделирования, который при исследовании и оптимизации основывается на современных методах математического анализа, вычислительной математики и программирования, то исследования электромеханических комплексов целесообразно проводить на математических моделях [4]. Однако, модели большинства ЭМС не всегда адекватны своим оригиналам из-за сложности учета в математическом описании всех обстоятельств и особенностей реальных процессов.

Благодаря высокому уровню современного программирования существует возможность при выборе программного продукта учесть совокупность факторов идентификации ЭМС, таких как вид математического описания исследуемой ЭМС; особенности представления данных; вид представления результатов расчета; возможность гибкого изменения или редактирования математической модели, алгоритмов, точности, выбора и автоматизации применения численных методов при расчете систем дифференциальных уравнений, возможность автоматизации процесса вычисления [5]. Для решения задач исследования систем автоматизированных ЭП используют такие программные средства: MATLAB, MathCAD, Scada, Mathematica и другие.

Достаточно удобно рассматривать ЭМС в виде набора структурных схем, особенно, когда необходимо синтезировать структуру и параметры систем управления. Условно можно выделить агрегаты СХП, которые универсальны для большинства станов: наматывающее и разматывающее устройства, прокатная клетка, правильная машина, режущие прокатанный металл ножницы. Кроме того, все названные агрегаты связаны между собой: разматывающее устройство подает прокатываемую полосу в валки прокатной клетки, из клетки полоса поступает или в последующие клетки (если стан многоклетевой), или в правильную машину, из которой выходит полоса, которая подается или на наматывающее устройство, или на ножницы для последующей разрезки на листы необходимого формата. Каждый из этих агрегатов приводится в движение электрическим двигателем, который упруго связан с исполнительным механизмом через длинный вал. Следовательно, в указанный выше набор основных элементов СХП необходимо добавить такие структурные единицы как «длинный вал» и «прокатываемая полоса», которые представляют собой упругие связи первого и второго родов [6–8]. Структурная схема СХП показана на рис. 1.

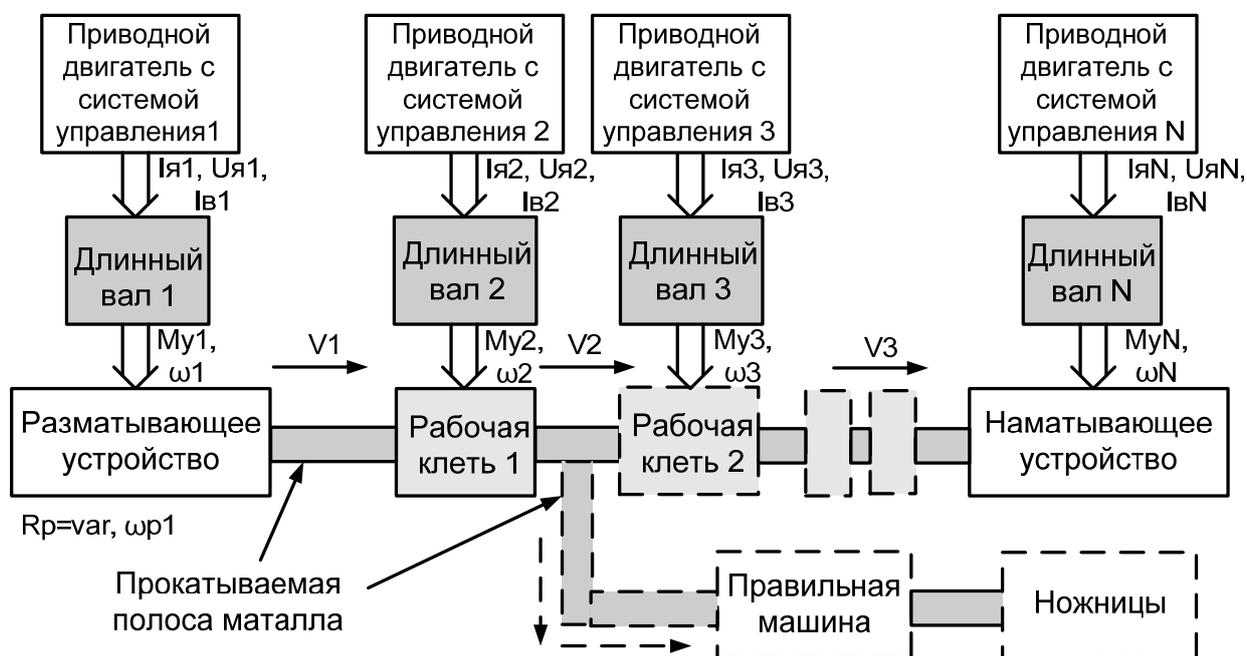


Рис. 1. Структурная схема стана холодной прокатки

В настоящее время в инженерной практике для решения задач исследования и оптимизации используются различные программные продукты: специализированные пакеты; библиотеки программ; математические системы программирования. Хорошо разработаны методики и алгоритмы, позволяющие исследовать режимы работы сложных электромеханических комплексов; анализировать их качество, рассчитывать частотные характеристики и импульсные переходные функции; исследовать динамику сложных систем, содержащих

элементы с нелинейными характеристиками; рассчитывать оптимальные процессы при наличии ограничений. Поэтому, при выборе того или иного программного продукта необходимо учитывать вид математического описания исследуемой электромеханической системы, особенности представления данных модели, каким порядком дифференциальных уравнений или каким порядком и видом матрицы (симметричная, вырожденная и так далее), или каким количеством структурных элементов графа описывается электромеханическая система, вид представления результатов расчета, количество и вид нелинейных характеристик, описывающих управляющие и возмущающие воздействия, возможность гибкого изменения математической модели.

Значительные преимущества имеет прикладной пакет моделирования Simulink среды MATLAB. При моделировании с использованием библиотек Simulink среды MATLAB реализуется принцип визуального программирования по структурным схемам, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков составляет модель объекта и осуществляет расчеты в автоматическом режиме, с возможностью управлять временем вычислений и устанавливать начальные условия. При работе с Simulink-моделями пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создать свои собственные, а также создавать новые библиотеки блоков, что особенно важно при проведении исследований в достаточно узкой отрасли, например, производство холоднокатаного листа.

На основе математического описания электромеханических процессов прокатки полосы металла были разработаны модели [9], имитирующие работу механизмов, которые наматывают или разматывают полосу, рабочей клетки, правильной машины, ножниц, модель прокатываемой полосы с учетом петлевой ямы, возможности обрыва полосы и имитации её разнотолщинности [10]. В качестве примера на рис. 2 показана компьютерная модель механической части наматывающего устройства «Motalka», полученная на основании его математического описания.

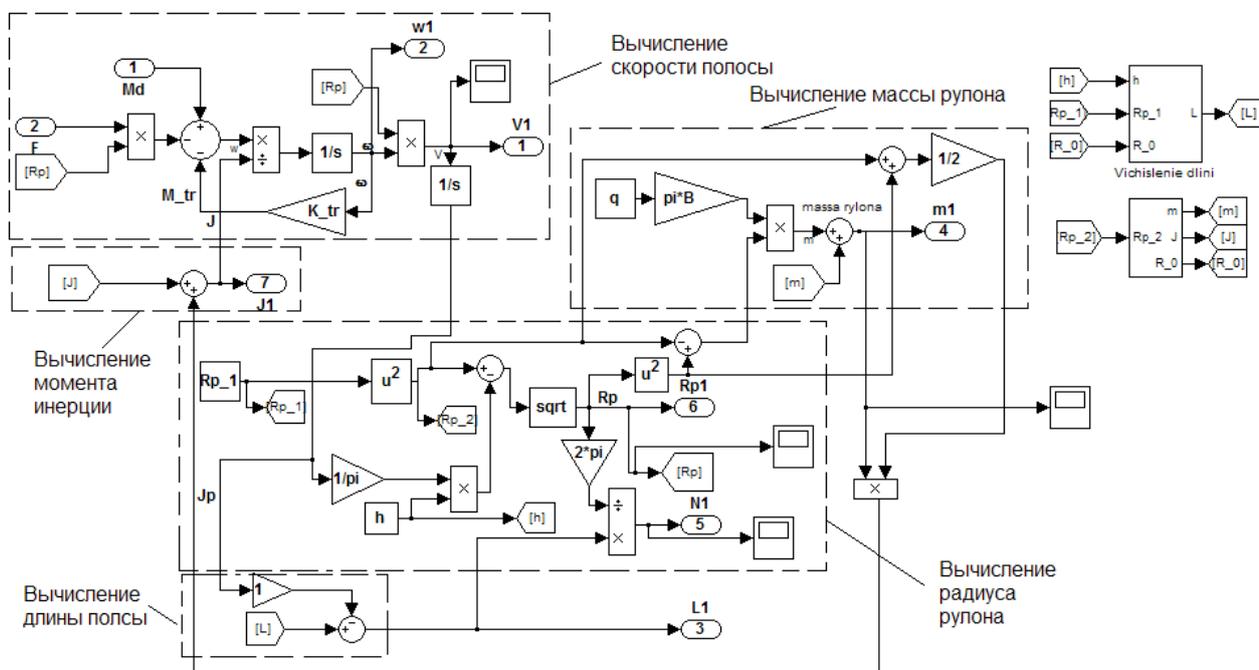


Рис. 2. Компьютерная модель механической части наматывающего устройства «Motalka»

На рис. 3 показан комплекс взаимосвязанных моделей прокатных механизмов. Каждая модель представляет собой самостоятельную подсистему с векторами входных и выходных координат. Для удобства для каждой модели разработаны логотип, интерфейс для введения

и изменения параметров. Каждая подсистема может соединяться с другими по каналам механических и электрических связей. Механическими координатами являются скорость полосы, момент, сила натяжения; электрическими – ток, напряжение, магнитный поток приводного двигателя и другие. Для отображения состояния, разработки и отладки системы управления предусмотрены информационные каналы: длина, масса, относительное удлинение полосы, количество витков, момент инерции, радиус рулона.

Модели соединяются с приводными двигателями или длинным валом по координатам момента и угловой скорости через порты Md и w1, а с прокатываемой полосой по координатам силы натяжения и линейной скорости полосы. Отдельно созданы модели приводных двигателей постоянного тока независимого возбуждения, которые работают как при однозонном, так и при двухзонном управлении.

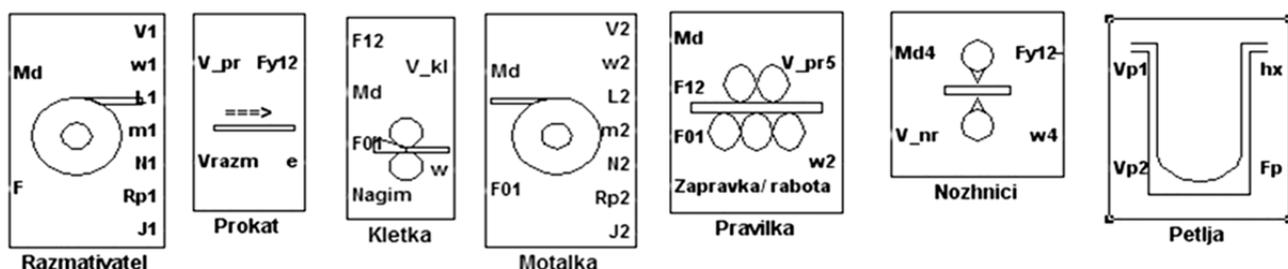


Рис. 3. Комплекс взаимосвязанных моделей прокатных механизмов

Используя разработанный комплекс моделей, в пакете современных прикладных программ были созданы компьютерные модели непрерывного стана «Тандем», реверсивного одноклеточного стана 1680, агрегата поперечной резки, дрессировочного стана 1700. Для примера на рис. 4 и рис. 5 приведены компьютерные модели непрерывного стана «Тандем» и агрегата поперечной резки соответственно.

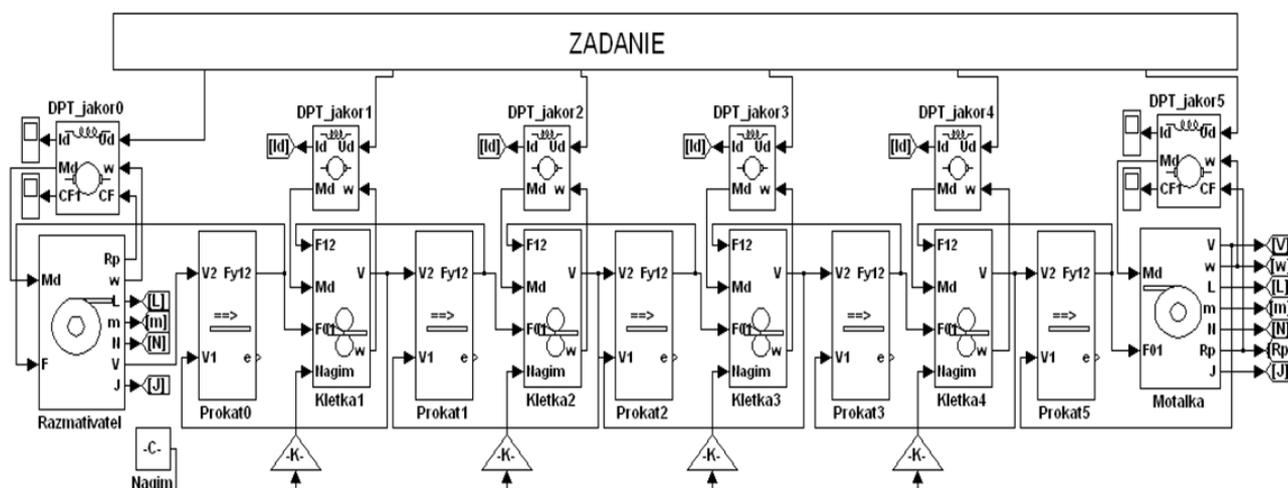


Рис. 4. Компьютерная модель непрерывного стана «Тандем»

Для сравнительного анализа и подтверждения адекватности разработанных моделей реальному оборудованию использованы данные диагностирующего комплекса, установленного на дрессировочном стане 1700-1 цеха холодной прокатки № 1 ОАО «Запорожсталь» (рис. 6) и данные моделирования этого же стана (рис. 7). Комплекс получает информацию

от датчиков скорости, тока и напряжения, производится регистрация таких координат, как напряжение и ток якорной цепи двигателя, напряжение и ток цепи возбуждения, скорость рабочей клетки и моталки [11].

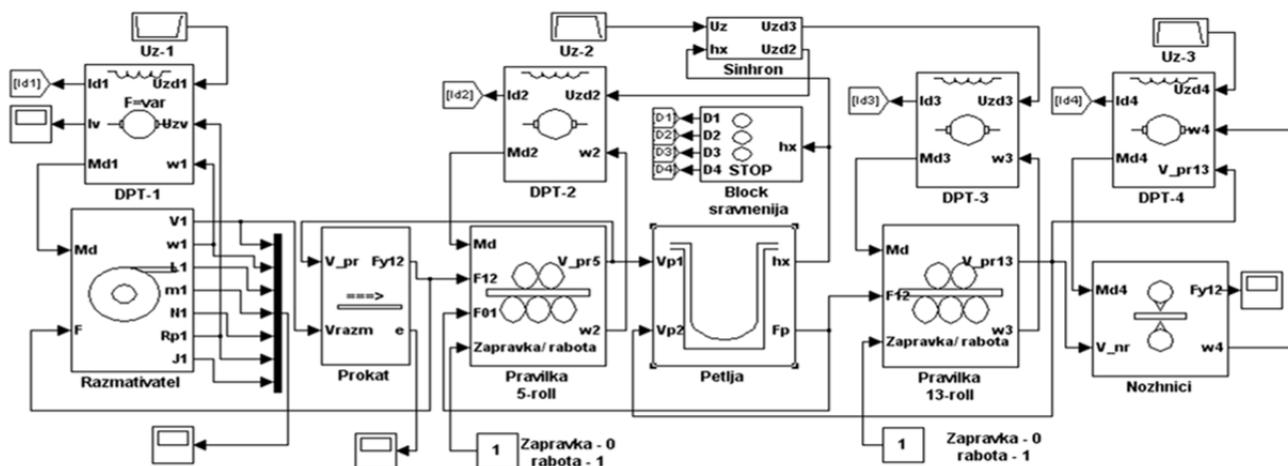


Рис. 5. Компьютерная модель агрегата поперечной резки

Согласно технологической инструкции ТИ 226-П.ХЛ 1-20-05 «Дрессировка холоднокатаных полос на станах 1700 № 1 и № 2» натяжение создается между клетью и разматывающим устройством с момента захвата переднего конца полосы валками. При выходе из рабочей клетки передний конец полосы подается к моталке и заправляется в зев ее барабана, создается необходимое натяжение, все механизмы стана переводятся на максимальную для данного режима скорость. При дрессировке особое внимание обращается на натяжение полосы, которое контролируется при постоянной скорости стана по показаниям амперметров и должно быть постоянным в течение всего времени дрессировки полосы. После окончания дрессировки рулона стан останавливается, разводятся валки клетки, пропускается задний конец полосы и подматывается в рулон.

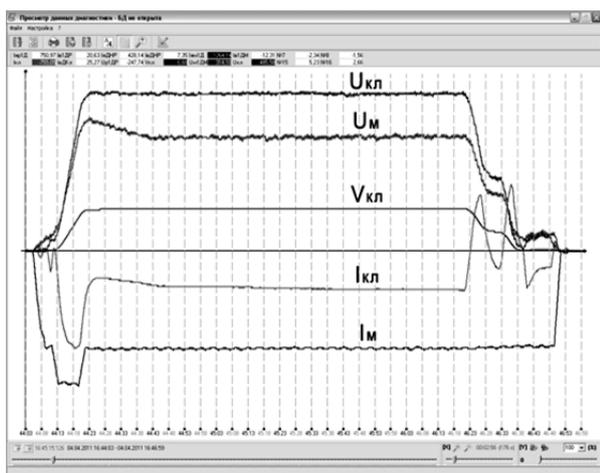


Рис. 6. Реальные электромеханические процессы

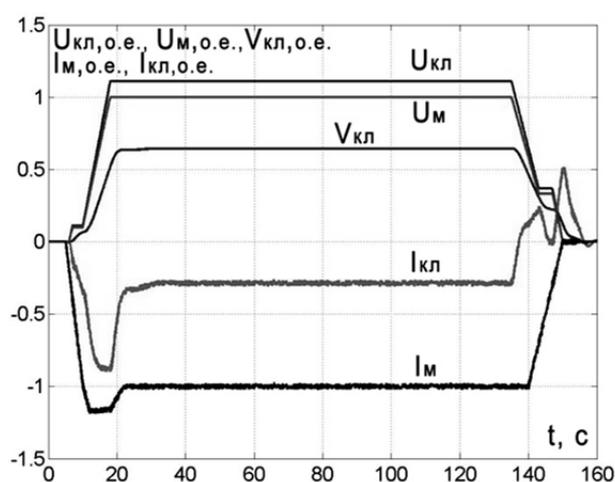


Рис. 7. Результаты моделирования

Таким образом, переходные процессы получены для таких режимов работы стана: разгон до заправочной скорости (5–7 с), работа на этой скорости (7–11 с), разгон до скорости прокатки (11–18 с), работа в установившемся режиме (18–137 с), торможение до пониженной

скорости (137–142 с), работа на этой скорости (142–148 с) и торможение (148–150 с). Проведенная оценка адекватности комплекса разработанных компьютерных моделей элементов прокатного производства путем сравнения электромеханических процессов, полученных на моделях, с результатами мониторинга реального оборудования показала, что относительная погрешность не превышает 9 %.

ВЫВОДЫ

Впервые разработан комплекс взаимосвязанных моделей основных элементов прокатного производства, который позволяет учитывать упругие связи первого и второго родов между электроприводами прокатной клетки и намоточно-размоточного механизма. Комплекс предусматривает возможность имитации переменной толщины прокатываемой полосы и аварийных ситуаций, вызванных её обрывом. Сравнение электромеханических процессов, полученных при моделировании, с данными мониторинга реального оборудования подтвердило их адекватность (относительная погрешность моделирования не превышает 9 %) и возможность использования разработанного комплекса взаимосвязанных моделей для синтеза и исследования систем управления электроприводами основных механизмов станов холодной прокатки. Предложен метод исследования многомассовых взаимосвязанных электроприводов основных механизмов станов холодной прокатки с переменными моментами инерции, статического сопротивления, а также толщины полосы металла путем использования разработанного комплекса математических моделей основных элементов прокатного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василев Я. Д. *Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки* / Я. Д. Василев. – М. : Металлургия, 1995. – 368 с.
2. Иванушкин В. А. *Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов* / В. А. Иванушкин, Ф. Н. Саранулов, П. Шымчак. – Щецин, 2000. – 310 с.
3. *Введение в математическое моделирование* / под ред. П. В. Трусова. – М. : Логос, 2005. – 440 с.
4. *Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем межклетевого промежутка широкополосного стана горячей прокатки* / А. С. Карандаев, В. Р. Храмынин, И. Ю. Андриюшин, В. В. Головин, П. В. Ширяев // *Изв. Вузов. Электромеханика*. – 2009. – № 1. – С. 12–20.
5. Жучков С. М. *Инновационные технологии сортопрокатного производства* / С. М. Жучков, А. П. Лохматов // *Наука та інновації*. – 2008. – № 1. – Т. 4. – С. 49–60.
6. Борцов Ю. А. *Автоматизированный электропривод с упругими связями* / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
7. Назарова Е. С. *Исследование электромеханических процессов многомерных систем прокатного производства с учетом упругостей первого и второго рода* / Е. С. Назарова // *Вісник КДПУ*. – Кременчук : КДПУ, 2010. – Випуск 3/2010 (62). – Ч. 1. – С. 22–25.
8. Бондаренко В. И. *Моделирование систем управления взаимосвязанных электроприводов процесса прокатки с учетом упругостей первого и второго рода* / В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок, Е. С. Назарова // *Техническая электродинамика : спецвыпуск*. – К., 2010. – Ч. 1. – С. 129–134.
9. Бондаренко В. И. *Моделювання електромеханічних процесів в прокатному обладнанні за допомогою бібліотеки підсистем* / В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок, Е. С. Назарова // *Електроінформ*. – 2010. – № 2–3. – С. 22–24.
10. *Учет эффекта обрыва прокатываемой полосы при моделировании электроприводов двух смежных клеток стана холодной прокатки* / Е. С. Назарова, А. В. Пирожок, А. С. Нечпай, П. А. Подпрудников // *Электротехника та електроенергетика*. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – № 2. – С. 37–41.
11. *Диагностирующий многоканальный комплекс стана холодной прокатки* / А. В. Пирожок, Е. С. Назарова, О. О. Супрун, А. Г. Маринченко // *Вісник КДПУ*. – Кременчук : КДПУ, 2008. – Випуск 4/2008 (51). – Ч. 1. – С. 117–122.