

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
СЛОЖНЫМИ МНОГОМЕРНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**TECHNICAL SOLUTIONS FOR OPTIMAL CONTROL
OF COMPLEX MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC OBJECTS
OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

М.С. ИВАНОВ, П.Г. ФРАСЫН, Ю.С. КОМБАРОВ

M.S. IVANOV, P.G. FRASYN, Y.S. KOMBAROV

(Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: ivanov-ms@rguk.ru

В данной статье ставится задача повышения качественных показателей нетканых материалов за счет оптимального управления скоростными режимами электромеханических систем технологического оборудования для их производства. Необходимость оптимального управления обусловлена жесткой стабилизацией технологических параметров в процессе формирования и наматывания текстильных материалов. В статье рассмотрен метод электрического моделирования для анализа и расчета электромеханических систем технологического оборудования. Предложена структура механической модели волокнистого продукта и проведен анализ зоны деформации на основе метода электромеханических аналогий. Выполнено исследование зоны вытягивания на устойчивость и наличие автоколебаний. Осуществлена параметрическая оптимизация режима вытягивания волокнистого продукта с целью получения удовлетворительного качества переходного процесса. Реализована задача повышения производительности чесальной машины посредством функциональной и структурной схем усовершенствованного способа выравнивания линейной плотности волокнистого продукта.

This article sets the task of improving the quality indicators of nonwoven materials. The implementation of indicators is achieved through optimal control of the speed modes of electromechanical systems of technological equipment for the production of nonwoven materials. The need for optimal control is due to the strict stabilization of technological parameters in the process of forming and winding textile materials. The article discusses the method of electrical modeling for the analysis and calculation of electromechanical systems of technological equipment. The structure of fibrous product mechanical model is proposed and an analysis of the deformation zone out based on the method of electromechanical analogies is carried out. A study of the pulling zone for stability and the presence of self-oscillations was made. Parametric optimization of the fibrous product drawing mode was carried out in order to obtain satisfactory quality of the transient process. The task of increasing the productivity of the carding machine has been realized through functional and structural diagrams of an improved method for leveling the linear density of the fibrous product.

Ключевые слова: нетканый материал, скоростной режим, электромеханические системы.

Keywords: non-woven fabric, high-speed mode, electromechanical systems.

Технологическое оборудование для производства нетканых материалов имеет ряд особенностей, влияющих на постановку и методы решения задач энергоресурсосбережения путем управления скоростными режимами [1]. Условия жесткой стабилизации технологических параметров в процессе формирования и наматывания волокнистого материала предъявляют к системам автоматического регулирования (САР) высокие требования в отношении поддержания заданных скоростных режимов и качественных показателей волокнистого материала. При проектировании управляемых электромеханических систем (ЭМС) определяющими факторами являются физико-механические свойства волокнистого продукта – прочность, удлинение, коэффициент заполнения объема, плотность намотки, упругие, эластические и пластические деформации при вытягивании.

Для определения структуры ЭМС рационально использовать кинематический и динамический анализ функционирования оборудования. При учете различных влияющих факторов (электромагнитные процессы, гибкие связи, упругость механических передач и др.) структура ЭМС усложняется, а описание становится более детальным. Следование синергетическому подходу показывает, что совокупность факторов оказывает иное влияние на систему, чем каждый по отдельности. Это подтверждается результатами, приведенными в работе [2]. Поэтому исследование сложных динамических объектов и технологических процессов на этапе проектирования является необходимым для создания эффективного управления.

Наиболее широкодоступным средством теоретического исследования являются математические модели машин и их узлов, описываемые системами дифференциальных и алгебраических уравнений. В боль-

шинстве случаев данные системы дифференциальных уравнений не имеют аналитического решения. Поэтому в основном применяются рекурсивные алгоритмы интегрирования на заданном интервале.

Математические модели позволяют исследовать поведение системы в широком диапазоне амплитуды и спектрального состава управляющих и возмущающих воздействий. Показатели САР, характеризующие статические и динамические свойства ЭМС, выявляют оптимальные величины задающих воздействий, а следовательно, позволяют на их основе сформулировать оптимальные законы управления.

Известные алгоритмы управления рассчитаны на знание математического описания объекта с точностью до конечного числа постоянных параметров. На практике достаточно точную модель объекта построить сложно, а иногда и невозможно. Использование известных на данный момент современных методов и технологий позволяет исключить точное копирование нелинейностей объекта. Система управления при этом рассчитана на большой уровень неопределенности. Это позволяет на порядок повысить динамическую точность управления скоростными режимами сложных динамических объектов с транспортирующими и наматывающими механизмами. Аппаратная реализация современных технологий предусматривает внедрение высокоинтегрированных гибких микроконтроллеров, программируемых логических контроллеров, плат расширения персональных компьютеров и т. д. Высокая стоимость электронных компонентов силового и управляющего оборудования электроприводов препятствует разработке и внедрению интеллектуального управления электротехническими комплексами (ЭТК).

Для построения структуры, проектирования и исследования сложной электrome-

ханической системы производства нетканых материалов разработана соответствующая концепция. В качестве среды для математического моделирования и расчета ЭМС выбраны пакеты современной версии системы Matlab, такие как Simulink, Neural Network Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, а также программа для моделирования электрических схем Multisim.

Поставлена и решена задача разработки метода электрического моделирования для анализа и расчета электромеханических систем технологического оборудования с учетом свойств волокнистого продукта и динамики его движения в процессе формирования и транспортирования. Особенностью разработанной методики является ее физическая направленность на основе метода электромеханических аналогий, то есть представления электромеханических систем в виде эквивалентных электрических цепей [3, 4].

Сравнение модели, построенной в виде электрической цепи, и структурной модели показывает, что первая отличается значительно большей наглядностью, так как каждый механический элемент имеет свое электрическое изображение.

Реализация структурных моделей осуществляется с помощью современных ПЭВМ при соответствующем программном обеспечении.

Достоинство метода электромеханических аналогий проявляется тогда, когда моделируемые системы имеют большое число линейных пассивных элементов (индуктивностей, емкостей, резистивных элементов), то есть содержат разветвленную электрическую цепь и сложную механическую часть.

Электрическая цепь остается наглядным и обобщающим изображением моделируемой системы и при косвенном методе ее реализации благодаря преимуществам электрических аналогий. Для моделирования используется специальный «метод четырехполюсников». При этом модель анализируется и корректируется по частям с помощью постановки дополнительных экспериментов в частных системах, которые можно анализировать в отдельности, напри-

мер, вводя возмущения, проводя линеаризацию и т. д.

Разработана математическая модель формирования волокнистого продукта на чесальном аппарате CR-24 как объекта автоматического управления. Предложена структура механической модели волокнистого продукта и проведен анализ зоны деформации на основе метода электромеханических аналогий.

Выполнено исследование зоны вытягивания на устойчивость и наличие автоколебаний. Осуществлена параметрическая оптимизация режима вытягивания волокнистого продукта с целью получения удовлетворительного качества переходного процесса.

Реализована задача повышения производительности чесальной машины. С этой целью предложены функциональная и структурная схемы усовершенствованного способа выравнивания линейной плотности волокнистого продукта.

Проведенная параметрическая оптимизация системы автоматического регулирования позволила определить оптимальные параметры скоростных режимов исследуемой системы.

Авторами разработана и исследована функциональная схема модернизированной системы управления автоматизированной линией производства объемных нетканых полотен [5, 6]. Поставленной задачей являлось обеспечение заданного качества продукции и энергосбережения управляемого электротехнического комплекса.

Как правило, самовес имеет один электропривод игольчатой решетки, работающий периодически. Остальные органы самовеса приводятся в движение от основного двигателя чесальной машины. Проведенные исследования статических и динамических характеристик самовеса чесальной машины показывают, что качество выходящего настила зависит как от постоянства массы порции волокнистого материала, так и от согласования скоростей рабочих органов самовеса – распределительного эксцентрика, уплотняющего щитка, игольчатой решетки и т. д.

Предлагается использовать двухдвигательный электропривод, который осуществляет синхронизацию скоростных режимов рабочих органов самовеса и последующих машин, входящих в линию. Наличие дополнительного двигателя обеспечивает плавное и независимое регулирование скорости вращения рабочих органов. При этом нагрузка чесальной машины согласуется с требуемым коэффициентом съема.

Исследование точностных показателей релейной системы весового механизма показало возможность уменьшения вариации массы порции волокнистой смеси за счет использования тензодатчиков вместо весового механизма, а также изменения алгоритма управления скоростью игольчатой решетки [7].

Приведение в движение органов преобразователя прочеса от главного двигателя чесальной машины иногда влечет за собой возникновение ударов о станину при смене направления движения кареток. Данная проблема решается двумя способами: сложной настройкой механизма при существующей схеме или применением индивидуальных двигателей. Для плавного и независимого регулирования скоростей выгодно использовать второй способ, хотя возникает необходимость синхронизации скоростей движения прочеса по транспортным лентам.

В разработанной схеме синхронизация скоростей рабочих органов осуществляется датчиками частоты вращения. При этом сигналы задания для электроприводов формируются в микропроцессорном комплексе. В процессе работы поддерживается постоянство загрузки чесальной машины и линейной плотности готового полотна. Наличие контроля качества выпускаемого полотна позволяет осуществлять коррекцию скоростных режимов машин, входящих в поточную линию.

ВЫВОДЫ

Проведена оптимизация скоростных режимов управляемого комплекса для производства нетканых материалов. Применен метод электрического моделирования для

анализа и расчета электромеханических систем технологического оборудования с учетом свойств волокнистого продукта и динамики его движения в процессе формирования и транспортирования. Предложены технические решения, позволяющие улучшить качество выпускаемого полотна и обеспечить рациональное потребление материальных и энергетических ресурсов. Теоретические модели объектов ЭМС и полученные в результате математического моделирования показатели качества работы системы экспериментально подтвердили их адекватность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков А.Е., Поляков К.А. Технологические решения, направленные на модернизацию электропривода текстильного оборудования // Текстильная промышленность. 2005. № 2. С. 28...30.
2. Поляков А.Е. Оптимизация эффективности работы текстильного производства за счет управления скоростными режимами электромеханических систем технологического оборудования: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2001. 438 с.
3. Поляков К.А., Поляков А.Е., Шилов А.В. и др. Метод электромеханических аналогий для характеристики реологических свойств полимерных материалов // Химические волокна. 2008. № 2. С. 24...27.
4. Иванов М.С., Поляков А.Е., Рыжкова Е.А. Разработка научных положений концепции построения структуры и методов исследования многомерных динамических объектов со сложными зонами деформации волокнистых материалов. Применение теоретических основ электротехники, автоматизированного электропривода и положений теории интеллектуального управления для исследования влияния скоростных режимов электротехнических комплексов технологического оборудования на процессы деформации волокнистых материалов: монография. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. 221 с.
5. Дубовицкий В.А., Поляков А.Е. Модернизация автопитателя чесальной машины для производства нетканых материалов // Химические волокна. 2011. № 2. С. 41...44.
6. Поляков А.Е., Рыжкова Е.А., Иванов М.С. Электротехнические комплексы и системы технологического оборудования как объекты управления энергосберегающими режимами. Ч. 1. Основные теоретические положения исследования энергосберегающих режимов сложных многомерных динамических объектов: монография. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. 241 с.
7. Пат. RU 110091 U1. Устройство для управления процессом холстообразования и наматывания.

REFERENCES

1. *Polyakov A.E., Polyakov K.A.* Technological solutions aimed at modernizing the electric drive of textile equipment // *Textile industry*. 2005. No. 2. P. 28...30.
 2. *Polyakov A.E.* Optimization of the efficiency of textile production by controlling the speed modes of electromechanical systems of technological equipment: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2001. 438 p.
 3. *Polyakov K.A., Polyakov A.E., Shilov A.V. et al.* The method of electromechanical analogies for characterizing the rheological properties of polymer materials // *Chemical fibers*. 2008. No. 2. P. 24...27.
 4. *Ivanov M.S., Polyakov A.E., Ryzhkova E.A.* Development of scientific provisions for the concept of constructing a structure and methods for studying multidimensional dynamic objects with complex deformation zones of fibrous materials. Application of the theoretical foundations of electrical engineering, automated electric drives and the provisions of the theory of intelligent control to study the influence of speed modes of electrical complexes of technological equipment on the processes of deformation of fibrous materials: monograph. M.: Kosygin State University of Russia, 2020. 221 p.
 5. *Dubovitsky V.A., Polyakov A.E.* Modernization of the automatic feeder of a carding machine for the production of nonwovens // *Chemical fibers*. 2011. No. 2. P. 41...44.
 6. *Polyakov A.E., Ryzhkova E.A., Ivanov M.S.* Electrical complexes and technological equipment systems as objects for controlling energy-saving modes. Part 1. Basic theoretical principles for studying energy-saving modes of complex multidimensional dynamic objects: monograph. M.: Kosygin State University of Russia, 2017. 241 p.
 7. Pat. RU 110091 U1. A device for controlling the process of canvas formation and winding.
- Рекомендована кафедрой автоматизации и промышленной электроники РГУ им. А.Н. Косыгина.
Поступила 23.05.24.
-