

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Замурагина Юрия Михайловича
на тему «Разработка и анализ механизмов для натяжения и оценки
положений рулонных материалов в упаковочном оборудовании»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.2. Машиноведение.

Актуальность темы исследования

Исследование Замурагина Ю.М. носит прикладной характер и направлено на решение практических проблем, возникающих при работе с ленточными и рулонными материалами в упаковочном оборудовании предприятий. Актуальность темы исследования подтверждается, в частности, внедрением разработанных механизмов в автоматических линиях упаковки ряда предприятий пищевой промышленности.

Автоматические линии упаковки, использующие рулонные и ленточные материалы, широко применяются на огромном количестве предприятий, выпускающих упакованную продукцию как в пищевой промышленности, так и в других отраслях. При этом, одним из важнейших потребительских качеств является аккуратность упаковки готовой продукции: отсутствие дефектов упаковки, совпадение рисунка и тому подобное. Эти качества напрямую зависят от точности работы лентопротяжного механизма, который должен обеспечивать натяжение материала, не выше максимально допустимого и не ниже минимально допустимого значения, а также протяжку определённой длины материала для каждой упаковки, не допуская накопления ошибки. В современных автоматических линиях упаковки эти задачи решаются различными способами.

Ю.М. Замурагин в своей диссертации предлагает оригинальный вариант реализации комплексного решения, включающего механизм разматывания и протягивания рулонного материала в непрерывном и дискретном режимах, электромеханическую систему перемещения, метод оценки положения и позиционирования материала. Таким образом, представленная работа соответствует существующему мировому научно-техническому уровню, является своевременной и актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных соискателем в диссертационной работе, обеспечивается применением методов и подходов в области механики механизмов и машин, математического и имитационного моделирования, оптимизации и проектирования, а также методов планирования экспериментальных

исследований и обработки их результатов. Эти выводы подтверждаются обширным объемом экспериментальных данных и численного моделирования.

Научная новизна исследований

В качестве научных результатов диссертации выдвинуты следующие положения:

- Разработана оригинальная конструкция механизма разматывания с инновационной кинематической схемой, где реализована уникальная система обратной связи через поворотный рычаг. Разработанный механизм автоматически регулирует тормозной момент на барабане рулона в зависимости от силы натяжения ленты, что обеспечивает стабильность процесса разматывания.

- Разработана математическая модель механизма разматывания. Математическая модель реализована в виде расчётного программного обеспечения и включает в себя решение задач кинестатики и динамики. На её основе проведён комплексный параметрический синтез и определены характеристики устройства для различных условий эксплуатации.

- Разработана электромеханическая система одновременного перемещения двух лент с интегрированной системой следящей обратной связи, для которой также разработана собственная математическая модель. Система обеспечивает синхронное движение двух лент с высокой точностью позиционирования.

- Предложен метод оценки состояния технологического оборудования на основе разработанной компьютерной модели, позволяющий прогнозировать положение лент относительно технологических станций и обеспечивать их точное взаимное позиционирование в процессе работы.

- Реализован методологический подход к настройке и оптимизации параметров электромеханических систем перемещения лент, основанный на разработанных математических моделях и методах оценки технического состояния оборудования. Результатом стал перечень рекомендаций для настройки технологического оборудования рассматриваемого типа.

Новизна основного технического решения рассматриваемой работы подтверждается также патентом РФ на изобретение «Устройство разматывания и протягивания рулонного материала»

Полученные результаты существенно расширяют теоретические основы проектирования и эксплуатации оборудования для работы с рулонными материалами, предлагая новые подходы к решению задач натяжения, перемещения и позиционирования лент в автоматических линиях.

Теоретическая значимость результатов исследований

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке новых методологических подходов к проектированию механизмов

разматывания и протягивания рулонных материалов, основанных на принципах кинематической обратной связи и адаптивного управления. Предложенные решения расширяют существующие теоретические основы проектирования подобных систем.

Теоретическую значимость имеют разработанные в исследовании методы математического моделирования процессор разматывания и протяжки рулонных материалов, особенно в части моделирования согласованных процессов перемещения двух лент.

В работе установлены зависимости между конструктивными параметрами механизмов и их эксплуатационными характеристиками. В частности, выявлены закономерности влияния геометрических параметров механизма разматывания на силу натяжения ленты.

Теоретическую значимость имеют также методы диагностики и прогнозирования работы лентопротяжных механизмов на автоматических линиях упаковки на основе разработанных математических и компьютерных моделей. Разработанные методики позволяют оценивать влияние различных факторов на эффективность работы системы.

Полученные теоретические результаты могут быть использованы при проведении дальнейших исследований в области проектирования и оптимизации технологического оборудования для работы с рулонными материалами.

Практическая значимость результатов исследований

Задачи исследования ориентированы на решение реальных практических проблем, возникающих на производственных линиях, а его практическая значимость определяется следующими основными результатами:

- Разработанные решения позволяют модернизировать существующие производственные линии за счет внедрения новой электромеханической системы перемещения двух лент. Система обеспечивает существенное повышение точности позиционирования материалов и, как следствие, качества конечной продукции.

- Разработанные методы оценки технического состояния и рекомендации по выбору параметров системы перемещения рулонных материалов позволяют сократить время наладки и повысить эффективность производства.

- Метод оценки положения и согласованной протяжки двух лент позволяет прогнозировать поведение системы и предотвращать возможные сбои, что способствует повышению надежности технологических процессов.

- В целом разработанные методы способствуют снижению брака, увеличению производительности линий и уменьшению затрат на обслуживание оборудования, что должно обеспечивать значительный экономический эффект.

Практическая ценность работы подтверждается успешным внедрением результатов на предприятиях ООО «Порционные продукты» и ООО Производственная Компания «Мед России».

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании нового оборудования и модернизации существующих производственных линий, работающих с рулонными материалами.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием фундаментальных положений теоретической механики, теории механизмов и машин, теории эксперимента. Все математические модели построены на основе классических научных подходов. Методологическая база исследования включает современные методы вычислительной математики и численного компьютерного моделирования. Экспериментальная проверка разработанных механизмов и методов проведена с использованием производственного оборудования, работающего в реальных условиях эксплуатации.

Результаты диссертации были представлены на достаточно большом количестве российских и международных научных конференций. Все основные положения работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.2. Машиноведение.

В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации и удовлетворяет всем пунктам «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа изложена на 154 страницах, включает в себя 3 таблицы и 71 рисунок. Список литературы включает 105 наименований. К работе приложены три документа: приложение 1 – патент РФ на изобретение, приложение 2 – акт о внедрении электромеханической системы перемещения двух лент, приложение 3 – акт о внедрении механизма разматывания и протягивания рулонных материалов.

Диссертация изложена доступным языком и оформлена в соответствии с требованиями государственных стандартов и ВАК РФ. Структура и содержание соответствует поставленной цели исследования и решаемым задачам. Работа содержит рисунки и таблицы, наглядно демонстрирующие полноту экспериментальных данных и достоверность полученных результатов

Во введении раскрывается актуальность темы исследования, формулируется цель и задачи работы, определяются объект и предмет исследования, формулируется методологическая база исследования. Также обосновывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе выполнен анализ механизмов и методов работы с рулонными материалами в различных отраслях промышленности. Исследование начинается с рассмотрения широкого спектра применения гибких материалов: от полиграфии до пищевой промышленности. Особое внимание уделяется влиянию процессов разматывания и наматывания рулонов на качество конечного продукта. Показано, как натяжение материала влияет на разнотолщинность при прокатке, целостность композитных материалов, точность печати и качество упаковки. В ходе анализа существующих механизмов разматывания выявлены их ключевые недостатки: отсутствие универсальности, сложность настройки, недостаточная адаптивность к изменяющимся условиям работы. При этом установлено, что современные системы не обеспечивают точного позиционирования компонентов и надёжной синхронизации работы различных элементов линии. В результате анализа определены ключевые направления для разработки новых технических решений: создание универсальных механизмов натяжения, разработка методов точного позиционирования, внедрение систем адаптивного управления и создание методов автоматической коррекции положения лент.

Во второй главе диссертации представлена конструкция и принцип работы оригинального механизма разматывания и протягивания рулонных материалов с двумя степенями свободы, включающий колодочный тормоз и систему с поворотным рычагом, которая обеспечивает обратную связь между силой натяжения ленты и тормозным моментом. В начале главы описан процесс синтеза механизма, основанный на модификации существующих решений для обеспечения стабильного натяжения ленты как при постоянной скорости, так и в дискретном режиме работы. Далее выполнен кинематический, статический и динамический анализ механизма. Статический анализ позволил установить зависимости между основными параметрами механизма: силой натяжения ленты, усилием пружины, геометрическими характеристиками рычагов и тормозным моментом. Динамический анализ механизма выявил влияние инерционных сил на процесс разматывания и позволил определить условия, при которых обеспечивается плавное движение ленты без проскальзывания. В результате исследований были получены математические модели, описывающие поведение механизма в различных режимах работы.

В третьей главе диссертации рассматривается разработка и исследование системы согласованного перемещения двух лент. Основное внимание уделяется созданию комплексной электромеханической системы, способной эффективно управлять движением двух лент одновременно. В

главе подробно описываются основные элементы системы перемещения, включая сервопривод и связанные с ним компоненты. Разрабатывается математическая модель процесса перемещения лент, учитывающая различные факторы влияния и взаимодействия между элементами системы. Применение электромеханического привода для перемещения лент позволило существенно упростить конструкцию механизма, отказавшись от механических ограничителей хода транспортной системы, и заменив их цифровыми ограничителями, что также позволило сделать эти ограничения регулируемыми. Сделан вывод о необходимости разработки алгоритма расчета величины перемещения лент.

В четвертой главе описываются и анализируются предложенные автором алгоритмы расчета перемещения лент, необходимость которых была сформулирована в третьей главе. В исследовании разработаны три алгоритма расчета величины перемещения двух лент приводом протягивания на автоматической упаковочной линии, позволяющих позиционировать ленты относительно технологических станций и друг относительно друга. Алгоритмы 1 и 2 основываются на усреднении показаний измерительной системы каждый по своему правилу. Разработанные алгоритмы обеспечили попадание контейнеров в инструменты станций термосваривания и вырубки, а также удержание изображения (этикетки, метки) в определенном положении. Однако они не смогли обеспечить смещение изображения в заданную позицию, то есть совместить этикетку и контур контейнера. Эту задачу решает алгоритм 3, построенный на базе ПИ-регулятора. Далее в работе выполнен анализ эффективности предложенных алгоритмов расчета перемещения методом компьютерного моделирования. Следует отметить большое количество представленных результатов моделирования.

В пятой главе диссертации представлены результаты экспериментального исследования разработанных механизмов и методов. Исследование проводилось на специально созданной экспериментальной установке. В ходе экспериментов была проведена комплексная проверка механизма разматывания и протягивания лент, включая оценку его работы как в постоянном, так и в дискретном режимах. Особое внимание уделялось исследованию стабильности натяжения ленты и плавности её движения при различных скоростях и нагрузках. Экспериментальное исследование системы перемещения двух лент подтвердило работоспособность разработанной электромеханической системы на основе сервопривода. Полученные в ходе экспериментальных исследований данные были сопоставлены с результатами математического моделирования, что позволило подтвердить адекватность разработанных математических моделей и точность теоретических расчётов. Экспериментальные результаты подтвердили корректность теоретических предположений и обоснованность выбранных конструктивных решений. На основании проведённых экспериментов были сформулированы рекомендации по практическому применению разработанных механизмов и методов, а также определены направления для их дальнейшего совершенствования.

Главы диссертации заканчиваются соответствующими выводами, в заключении работы представлены основные результаты и рекомендации. Материалы диссертационной работы и автореферата изложены грамотным техническим языком.

Автореферат полностью раскрывает содержание диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1. При разработке математической модели материал предполагается нерастяжимым. Между тем, ленточные и рулонные материалы должны испытывать значительные упругие деформации материала под действием натяжения со стороны механизмов разматывания и протягивания, которые могут значительно влиять как на точность протягивания материала, так и на динамику механизма в целом. Возможно, учёт упругости материала значительно упростил бы управление системой.

2. В работе декларируется необходимость обеспечить отсутствие провисания материала. Но обеспечить полное отсутствие провисания невозможно. На любом участке, имеющем горизонтальную протяжённость, гибкий материал будет провисать под действием силы тяжести при любых значениях натягивающих его сил. Можно лишь говорить о некоторой допустимой величине провисания.

3. В главе 4 разработаны три различных алгоритма управления движением лент. Причём с учётом дополнительного алгоритма коррекции положения одной ленты относительно другой, необходимого для алгоритмов 1 и 2, можно считать, что все три способа решают один и тот же набор задач. Из текста работы остаётся неясным, в каком случае тот или иной алгоритм является предпочтительным. Если же алгоритмы полностью взаимозаменяемы, то остаётся неясной целесообразность решения задачи разными способами.

4. В главе 5, посвященной экспериментальным исследованиям, отсутствует достаточно подробное описание используемых измерительных инструментов и получающихся погрешностей измерений, что несколько снижает ценность полученных результатов.

5. В некоторых случаях отсутствуют пояснения величин, использованных в формулах.

6. В выводах указано, что сила натяжения ленты при использовании разработанного механизма увеличивается в 1,6 раз, в то время как при использовании исходного механизма она уменьшается в 3 раза. Не понятно какой «исходный механизм» имеется в виду и с чем он сравнивается. В целом, в работе не уделено должного внимания сравнению разработанных механизма, методов, алгоритмов управления с другими системами, особенно с лучшими из автоматических линий упаковки.

Замечания и отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертации. Диссертационная работа Замурагина Ю.М., является законченной работой, выполненной самостоятельно на должном уровне.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Замурагина Юрия Михайловича «Разработка и анализ механизмов для натяжения и оценки положений рулонных материалов в упаковочном оборудовании» соответствует областям исследований, указанным в паспорте специальности 2.5.2. Машиноведение.

Диссертационная работа имеет научную и практическую значимость в рассматриваемой области исследований, является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Основные ее результаты опубликованы в 14 научных работах и 1 патенте, а также прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях.

Диссертационная работа соответствует пунктам 9, 10, 11, 13, 14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Замурагин Юрий Михайлович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение.

Официальный
оппонент

Малолетов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук (специальность 01.02.01 – «Теоретическая механика»), научный руководитель Центра автоматизации роботизации, директор Института робототехники и компьютерного зрения, профессор АНО ВО «Университет Иннополис».

420500, Российская Федерация, Республика Татарстан, Верхнеуслонский муниципальный район, город Иннополис, улица Университетская, д. 1. Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис». Тел.: +7 (843) 203-92-53, e-mail: a.maloletov@innopolis.ru

Согласен на обработку персональных данных.

08.07.2025 Александр Васильевич Малолетов

Подпись Малолетова Александра Васильевича заверяю:
Директор по развитию и кадровой политике
АНО ВО «Университет Иннополис»

Валиев Р.Ф.

