

На правах рукописи

ЛАБАЙ НИКИТА ЮРЬЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ
В ПРИЁМНО-НАМОТОЧНЫХ МЕХАНИЗМАХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН**

**Специальность 05.02.13
Машины, агрегаты и процессы
(текстильная и легкая промышленность)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре теоретической и прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Научный руководитель **Палочкин Сергей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», профессор кафедры основ конструирования

Официальные оппоненты **Панин Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ООО «Нефтегазовые технологии МИФИ» (г. Дмитровград), генеральный директор

Терешин Валерий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования, «Санкт-Петербургской политехнический университет Петра Великого», доцент кафедры теории механизмов и машин

Ведущая организация ООО Научно-производственный комплекс «ЦНИИШерсть» (г. Москва)

Защита диссертации состоится «26» сентября 2017 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, дом 18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, <http://sutd.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Полякова Екатерина Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основными тенденциями совершенствования приёмно-намоточных механизмов (ПНМ) текстильных машин в настоящее время являются рост скорости намотки нити и увеличение массы паковок, которые ведут к росту динамической нагруженности ПНМ и влияния колебательных процессов на них и их работу, а, следовательно, и на качество нарабатываемой паковки и конечного текстильного продукта. Поэтому всё большую роль в ходе разработки новых и совершенствования уже существующих высокоскоростных ПНМ играет такой критерий их работоспособности как виброустойчивость.

Для построения адекватных динамических моделей и оценки виброустойчивости ПНМ, а также выработки конструктивных решений по её повышению, необходимо знать не только инерционные и упругие, но и диссипативные характеристики их колебательных систем, а также учитывать технологические режимы и условия работы механизмов и влияние, оказываемое на их динамику формируемыми текстильными паковками.

В связи с этим тема настоящей работы, посвящённой исследованию и определению количественных характеристик рассеяния энергии колебаний в ПНМ текстильных машин с учётом диссипативных свойств формируемых паковок, является актуальной и обоснованной.

Цель работы. Определение особенностей и количественных характеристик процесса рассеяния энергии колебаний в ПНМ и в формируемых им текстильных паковках для комплексной оценки его демпфирующей способности и выбора рациональных параметров конструкции.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

1. Анализ данных литературного обзора результатов исследований в области демпфирования колебаний в материалах и сопряжениях деталей узлов обшмашиностроительного назначения, применяемых в конструкциях ПНМ, а также в формируемых ими текстильных паковках.
2. Разработка опытного стенда и методики проведения испытаний для экспериментального исследования демпфирования колебаний в различных текстильных паковках, формируемых ПНМ.
3. Экспериментальное определение количественных характеристик рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках различной массы, формы, сырьевого состава нитей и структуры намотки, формируемых ПНМ.
4. Создание математической модели и аналитическое определение количественных характеристик рассеяния энергии колебаний в текстильной паковке при радиальных вибрациях в узле бобинодержателя ПНМ с учётом структуры намотки, переменной по толщине тела намотки линейной силы давления между витками нити и деформации её поперечных сечений.
5. Расчётно-экспериментальная оценка влияния демпфирования колебаний в текстильной паковке на общее рассеяние энергии колебаний в узле бобинодержателя ПНМ с целью оптимизации его конструкции.

Методы исследований. Экспериментальные исследования демпфирования колебаний выполнены на базе известных методов «затухающих колебаний» и «статической петли гистерезиса». Обработка результатов всех видов испытаний выполнена с использованием методов математической статистики.

При проведении аналитического исследования демпфирования колебаний в текстильных паковках использованы методы теоретической механики, сопротивления материалов, текстильного материаловедения, теории колебаний, интегрального и дифференциального исчислений, вычислительной математики, а также метод определения рассеяния энергии колебаний, основанный на анализе потерь энергии на трение при относительном проскальзывании и давлении в контакте сопряженных поверхностей деталей машин.

Научная новизна. В ходе выполнения диссертационной работы впервые получены и выносятся на защиту следующие результаты:

1. Экспериментальным путём определены количественные характеристики рассеяния энергии колебаний в виде коэффициентов поглощения в текстильных паковках, различных по форме, массе, сырьевому составу нитей и структуре намотки.
2. Разработана математическая модель рассеяния энергии колебаний в текстильной паковке при радиальных вибрациях в узле бобинодержателя ПНМ, учитывающая распределение давления между слоями витков нити и её радиальную податливость.
3. Выполнена расчётно-экспериментальная оценка влияния демпфирования колебаний в текстильной паковке на общее рассеяние энергии колебаний в узле бобинодержателя.

Практическая значимость результатов работы. Экспериментально полученные значения коэффициентов поглощения в текстильных паковках с учетом их структуры позволяют дать реальную оценку рассеяния энергии колебаний в ПНМ текстильной машины и уточнить коэффициенты демпфирования, непосредственно используемые в уравнениях, моделирующих динамику этого механизма при его проектировании и практическом применении.

Разработанная на базе созданной математической модели компьютерная программа для расчёта рассеяния энергии колебаний за цикл в текстильной паковке при радиальных вибрациях бобинодержателя ПНМ позволяет определять влияние параметров структуры формируемой паковки на его демпфирующую способность.

Результаты исследования приняты к использованию в системе расчётно-конструкторских работ ОАО «ЦНИИМашдеталь», г. Москва.

Апробация работы. Основные результаты работы прошли положительную апробацию на международных научно-технических конференциях: «Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности» (ПРОГРЕСС-2010 и ПРОГРЕСС-2012) в ИГТА, г. Иваново; «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ-2010 и ТЕКСТИЛЬ-2011) в МГТУ им. А.Н. Косыгина, г. Москва; «Инновационные технологии развития текстильной и лёгкой промышленности»,

в МГУТУ, г. Москва, 2014 г.; «Актуальные проблемы науки в технологиях текстильной и лёгкой промышленности» (ЛЕН-2016) в КГУ, г. Кострома, 2016 г., а также на заседании кафедры теоретической и прикладной механики Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина в 2017 г.

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 12 научных публикациях, в число которых входят 4 статьи в журнале «Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности», рекомендованном ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 118 страниц машинописного текста, включает 45 рисунков и 6 таблиц. Список использованной литературы содержит 96 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. Приложение представлено на 1 странице.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов работы.

В первой главе дан обзор публикаций по результатам исследований в области демпфирования колебаний машиностроительных конструкций и рассеяния энергии в текстильных паковках, формируемых ПНМ.

Установлено что одной из ведущих мировых тенденций в области разработки и реализации высокоскоростных ПНМ в машинах ведущих зарубежных фирм: Barmag AG KG (Германия), SSM Schaerer Schweiter Mettler AG (Швейцария) и др., стал переход к созданию мотальных головок револьверного типа с осевым приводом и консольным расположением вала бобинодержателя, являющегося исполнительным органом ПНМ, виброустойчивость которого оказывает наиболее существенное влияние на качество формируемой текстильной паковки и количество отходов дорогостоящего сырья.

Анализ демпфирующей способности конструкции узла бобинодержателя данного типа показывает, что рассеяние энергии его радиальных колебаний происходит за счёт внутреннего трения в материалах деталей и бобины (патрона), а также при внешнем трении и (или) контактных деформациях сопряженных поверхностей деталей, к числу которых относятся: плоские затянутые стыки, стыки цилиндрических и конических соединений с натягом, резьба и стыки деталей резьбовых соединений, стыки деталей шпоночных и шлицевых соединений, стыки в подшипниковых опорах качения вала и стыки деталей муфты, соединяющей вал бобинодержателя с выходным валом его привода. Кроме того, на демпфирование колебаний бобинодержателя оказывает влияние рассеяние энергии колебаний в формируемой текстильной паковке, связанное в основном с трением между слоями витков наматываемой нити.

Большой вклад в изучение демпфирования колебаний внесли известные отечественные учёные: Я.Г. Пановко, Д.Н. Решетов, Г.И. Писаренко, И.И. Вульфсон, Г.И. Страхов и др., а также зарубежные исследователи: Т.Н.Н. Pian, F.C.

Hallowell, I. Nashif, D. Johnes, J. Henderson (США), Y. Ito, N. Nishiwaki, M. Mak-suko (Япония), M. Weck, W. Kleipzig (ФРГ) и др. Обобщение и анализ результатов их исследований, приведённые в рассматриваемой главе, показали, что имеются достаточно обширные расчётно-экспериментальные данные, позволяющие определить рассеяние энергии колебаний в материалах и контактах деталей соединений и узлов общемашиностроительного применения, входящих в конструкцию узла бобинодержателя.

Публикаций по результатам исследований рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках и его влиянию на демпфирующую способность узла бобинодержателя ПНМ, оказалось существенно меньше. Отдельные данные по этой проблеме имеют место в работах Я.И. Коритыцкого, Э.А. Попова, И.И. Матюшева и Л.С. Мазина, посвящённых исследованиям динамики мотальных механизмов текстильных машин. Следует также отметить работы С.Н. Титова, С.Г. Степанова и В.П. Ильчука, в которых коэффициенты демпфирования паковок рассчитаны в ходе решения дифференциальных уравнений динамических систем вибростендов с учётом опытных амплитудно-частотных характеристик.

В цикле работ С.В. Палочкина, П.Н. Рудовского и А.Ю. Колягина впервые определены экспериментальные коэффициенты поглощения в различных по массе и составу нитей початках пряжи, формируемых крутильно-мотальным механизмом, а также разработана математическая модель рассеяния энергии радиальных колебаний в початке пряжи. Однако, эти исследования не затрагивают другие по форме и структуре намотки текстильные паковки, а математическая модель не учитывает деформационные свойства нитей и изменение давления между слоями их витков по толщине тела намотки.

Поэтому представленные в работе исследования направлены на экспериментальное определение коэффициентов поглощения цилиндрических и конических паковок, соответственно с параллельной и крестовой намоткой нити, формируемых ПНМ, а также создание математической модели рассеяния энергии радиальных колебаний в этих паковках, но уже с учётом механических характеристик деформируемых нитей и изменения давления между слоями их витков по толщине тела намотки.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках, формируемых ПНМ.

В качестве основного метода исследований был выбран метод «затухающих колебаний». При дополнительных испытаниях для проверки данных, полученных по методу «затухающих колебаний», и определения жесткости колебательной системы применялся метод «статической петли гистерезиса».

Для проведения экспериментов по методу «затухающих колебаний» был разработан специальный опытный стенд (рис. 1), в котором за базовую принята конструкция, использованная для аналогичных исследований в початках пряжи, формируемых веретенном крутильно-мотального механизма.

В конструкции стенда для уменьшения потерь энергии на колебания фундамента и самого стенда обеспечены: массивность и высокая жесткость основания; минимальное число стыков деталей; высокие напряжения затяжки всех стыков.

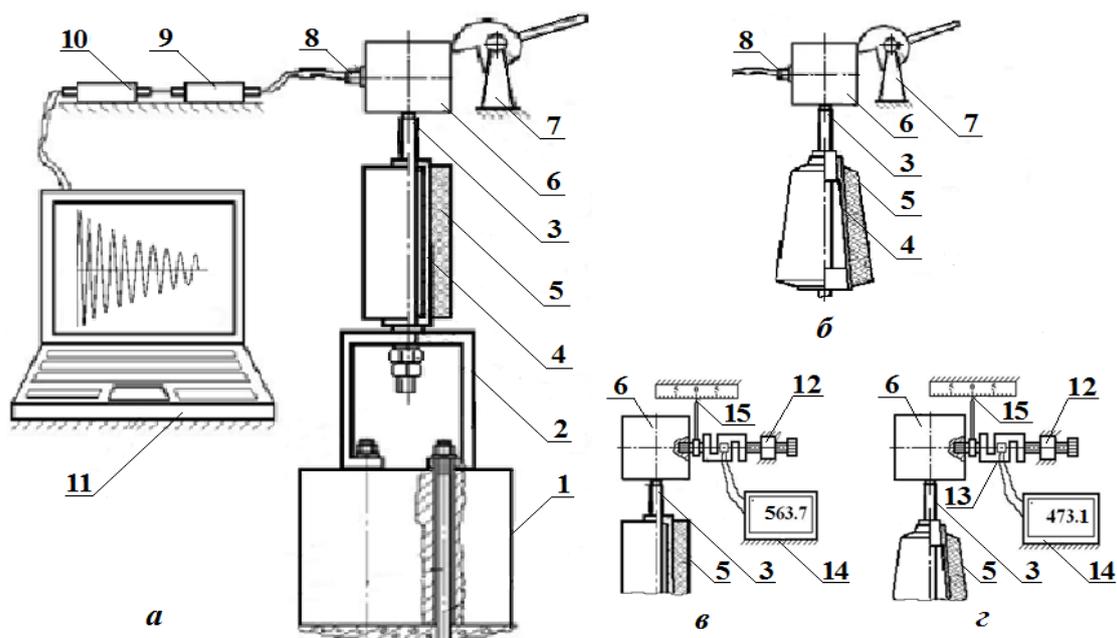


Рис. 1. Экспериментальный стенд

1 – основание; 2 – кронштейн; 3 – стальной стержень; 4 – патрон; 5 – паковка; 6 – груз; 7 – «улитка»; 8 – датчик; 9 – блок усиления сигналов; 10 – конвертер цифровой; 11 – ноутбук; 12 – передача винт-гайка; 13 – динамометр; 14 – индикатор; 15 – мерительная шкала

Роль упругого элемента колебательной системы стенда выполняет свободная консольная часть стального стержня с опорными участками под патрон цилиндрической (рис. 1а) или конической (рис. 1б) паковки. Для устранения ортогональных вибраций и колебаний высших тонов система стенда приближена к одномассовой путём установки на свободном конце стержня груза, масса и момент инерции которого относительно точки заделки стержня существенно выше масс и моментов инерции самого стержня и опытных образцов. Воздействием на груз с помощью устройства типа «улитка» запускаются свободные затухающие радиальные колебания опытного образца, регистрацию и обработку виброграмм которых осуществляет автоматизированная виброизмерительная система.

Для проведения испытаний по методу «статической петли гистерезиса» конструкция стенда была подвергнута изменению. Вместо устройства типа «улитка» на стенде установлена передача «винт-гайка» скольжения для двухстороннего ступенчатого смещения в радиальном направлении свободного конца упругого стержня с грузом и опытным образцом цилиндрической (рис. 1в) или конической (рис. 1з) паковки. Величину смещения определяют по мерительной шкале. Для измерения величины силы, приложенной для создания смещения, используют электронный динамометр, показания которого выводятся на экран цифрового индикатора. По результатам выполненных измерений строят графические изображения петли гистерезиса и обрабатывают их методом планиметрии.

В качестве опытных образцов для проведения исследований были выбраны широко распространённые в текстильной промышленности цилиндрические с параллельной намоткой нити и конические с крестовой намоткой нити паковки. Все различные по массе, размерам и сырьевому составу нитей паковки были

наработаны в лаборатории кафедры прядения Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина.

Разработанная методика проведения испытаний основана на следующих допущениях: при конструкционном демпфировании частота колебаний практически не влияет на величину относительного рассеяния энергии, жесткость одно-массовой колебательной системы стенда при всех испытаниях остаётся постоянной, общее рассеяние энергии колебаний в конструкции стенда равно сумме потерь энергии в контактах её элементов.

С учётом этих допущений в методике использована базовая зависимость

$$\psi_{\Sigma} = \frac{W_{\Sigma}}{E} = \frac{W_c + W_{\Pi}}{E} = \frac{W_c}{E} + \frac{W_{\Pi}}{E} = \psi_c + \psi_{\Pi}, \quad (1)$$

где ψ_{Σ} и W_{Σ} - коэффициент поглощения и рассеяние энергии за цикл колебаний при установке на упругий элемент патрона с намотанной на него паковкой; ψ_c и W_c - коэффициент поглощения и рассеяние энергии за цикл колебаний при установке на упругий элемент только патрона; W_{Π} и ψ_{Π} - коэффициент поглощения и рассеяние энергии за цикл колебаний в самой текстильной паковке; $E = 0,5ca_{max}^2$ - наибольшее значение потенциальной энергии упругого элемента конструкции стенда, зависящее от жесткости c этого элемента и его максимальной амплитуды перемещений a_{max} .

Тогда, выполнив статистическую обработку данных экспериментов, определяют средние значения и доверительные интервалы параметров ψ_{Σ} , ψ_c , c и рассчитывают с учётом этих значений согласно (1) искомые коэффициенты поглощения в текстильных паковках как

$$\psi_{\Pi} = \psi_{\Sigma} - \psi_c. \quad (2)$$

В ходе выполненных исследований, подтвердивших правомочность принятой допущений и методики поведения испытаний, определены:

- значение коэффициента поглощения конструкции стенда при установке на упругий элемент того или иного вида только патрона: $\psi_c = 0,125 \pm 0,007$;
- значения коэффициентов поглощения конструкции стенда при установке на упругий элемент патрона с намотанной на него паковкой того или иного вида: $\psi_{\Sigma} = 0,146 \dots 0,532$ с доверительными интервалами $\pm 0,04 \dots 0,09$;
- жесткость колебательной системы стенда: $c = 70 \pm 4$ Н/мм - при установке в стержня с опорными участками под патрон цилиндрической паковки, $c = 67 \pm 3$ Н/мм - при установке в стержня с опорными участками под патрон конической паковки;
- точность совпадения результатов испытаний, полученных по методу «затухающих колебаний» и по методу «статической петли гистерезиса», которая в основном лежит в диапазоне 5...10%;
- средние значения коэффициентов поглощения ψ_{Π} в различных по массе и составу пряжи цилиндрических паковках с параллельной намоткой нити и конических паковках с крестовой намоткой нити, формируемых ПНМ (табл. 1).

Таблица 1.

Состав нитей	Масса цилиндрической паковки с параллельной намоткой нити				Масса конической паковки с крестовой намоткой нити		
	0,035	0,070	0,105	0,140	0,100	0,150	0,300
Значения коэффициентов поглощения $\psi_{\text{п}}$							
Нитрон	0,021	0,031	0,043	0,057	0,089	0,122	0,234
Лавсан	0,025	0,038	0,053	0,070	0,107	0,148	0,272
Полушерсть*	0,029	0,043	0,059	0,086	0,129	0,178	0,315
Шерсть	0,034	0,066	0,101	0,132	0,188	0,256	0,445
Хлопок	0,031	0,052	0,074	0,098	0,161	0,225	0,407
Лён	0,033	0,054	0,079	0,106	-	-	-
Примечания:	Длина намотки – 100 мм				Длина намотки – 150 мм		
	* Шерсть (50%) + Капрон 50%						

Анализ результатов проведённых экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

- подтвержден предполагаемый рост демпфирования колебаний в конструкции экспериментального стенда с увеличением числа контактов его деталей;
- полученное значение коэффициента поглощения конструкции стенда $\psi_c = 0,125$ достаточно хорошо совпадает с результатами других исследований по рассеянию энергии колебаний в плоских затянутых стыках и резьбовых соединениях, что говорит о корректности проведённых испытаний;
- экспериментальные коэффициенты поглощения различных текстильных паковок лежат в диапазоне $\psi_{\text{п}} = 0,06 \dots 0,4$ и соответствуют конструкционному демпфированию, т.е. рассеяние энергии колебаний в паковках происходит в основном за счёт потерь энергии на трение в контактах между витками нити;
- демпфирование колебаний в текстильной паковке увеличивается с ростом её массы, а, значит, диаметра и длины тела намотки и, следовательно, зависящего от этих параметров числа слоёв тела намотки и контактов их витков;
- рассеяние энергии колебаний в паковке зависит от сырьевого состава нитей: в паковках нитей из натуральных волокон оно выше, чем в паковках из синтетических нитей, что связано с большим коэффициентом трения между натуральными волокнами; при этом в паковках шерстяной пряжи рассеяние энергии больше, чем в паковках хлопчатобумажной и льняной пряжи, что, видимо, вызвано повышенным трением между чешуйчатыми волокнами шерсти;
- рассеяние энергии $W_{\text{п}}$ колебаний за цикл в конических паковках с крестовой намоткой нити при одинаковом составе пряжи, массе и амплитуде колебаний верхнего края тела намотки, как показали сравнительные расчёты на базе данных табл. 1, в среднем на 7...9% выше, чем в цилиндрических паковках с параллельной намоткой нити, что объясняется наличием большого числа поперечных контактов между соседними слоями витков по толщине тела намотки и большим относительным проскальзыванием нитей в этих контактах.

В третьей главе представлено теоретическое исследование рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках при радиальных колебаниях бобинодержателя ПНМ.

При разработке математической модели демпфирования колебаний в паковке принято, что она имеет цилиндрическую форму с параллельной намоткой гибкой нити постоянного круглого поперечного сечения, слои которой не перекрещиваются. Смещение слоя витков нити на поверхности бобины относительно неё отсутствует. Трение между витками нити определяется законом Кулона – Амонтона. Радиальные деформации бобинодержателя с бобиной малы.

Исследованием демпфирования колебаний в початках пряжи с параллельной намоткой нити установлено, что рассеяние энергии W_1 в одном контакте двух соседних витков тела намотки за цикл изгибных радиальных колебаний патрона с амплитудой v будет равна суммарной работе сил трения в контакте

$$W_1 = 4fF_n s = 4f\pi y d q R s \sin \alpha, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения между витками; $F_n = 2\pi R q s \sin \alpha$ – сила нормального давления в контакте витков; $s = 0,5d\gamma$ – путь трения в контакте витков за четверть цикла колебаний; R – радиус витка в рассматриваемом слое намотки; $q = T/R$ - линейная сила давления на виток от силы натяжения нити T ; $\alpha = \arccos(0,5t/d)$ - угол между линией центров сечений контактирующих витков нити и осью тела намотки; d – диаметр нити; t – шаг намотки; γ - угол дуги взаимного проскальзывания витков за четверть цикла колебаний, определяемый при известных значениях диаметра D_0 патрона и длины l тела намотки как

$$\gamma = 0,5 \left\{ \arccos \left[0,5t \left(1 - \frac{D_0 v}{v^2 + l^2} \right) / d \right] - \arccos \left[0,5t \left(1 + \frac{D_0 v}{v^2 + l^2} \right) / d \right] \right\}. \quad (4)$$

При намотке витков нити на круглую оправку с внешним радиусом $R_0 = 0,5D_0$ каждый i -й слой витков наматывается с заданной силой натяжения T_i , вследствие чего возникают различные по величине давления между соседними слоями витков нити, а также между первым слоем витков нити и бобиной.

Обозначив через T_{ik} и R_{ik} силу натяжения и радиус i -го слоя после того, как намотан k -й слой, и через q_{ik} нормальную линейную силу давления между i -м и $(i+1)$ -м слоями (рис. 2), из условия равновесия витка имеем систему уравнений

$$T_{i,k} = R_{i,k} (q_{i,k} - q_{i+1,k}), \quad (5)$$

где $i, k = 1, 2, \dots, N$ - номер слоя витков; N - число слоёв в теле намотки; $i, > k$.

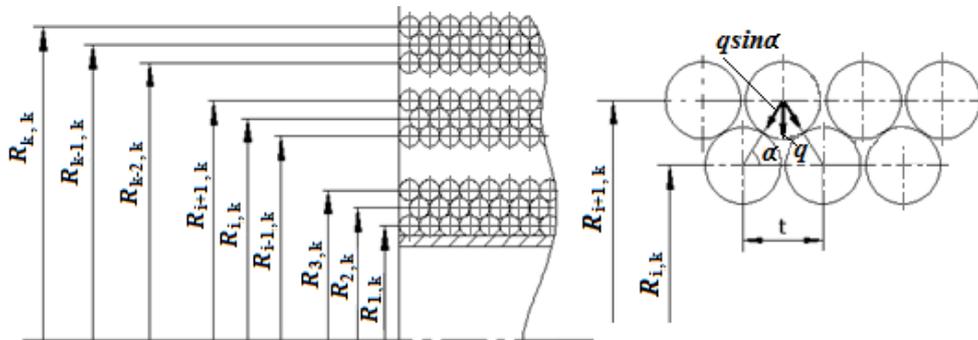


Рис. 2. К выводу зависимости линейной силы давления между витками тела намотки от его толщины и радиуса наматывания

Считая, что сближение двух витков пропорционально давлению между ними, рассчитываем его величину как

$$R_{i+1,k} - R_{i,k} = d \sin \alpha - c q_{i+1,k}, \quad (6)$$

где c – коэффициент, характеризующий контактную податливость нити.

Принимая, что изменение радиуса слоя пропорционально изменению действующей на него со стороны соседних слоев нормальной нагрузки, имеем

$$R_{i,k} = R_{i,i} + (q_{i,k} - q_{i+1,k} - q_{i,i})R_{i,k}^2/(EA), \quad (7)$$

где EA – продольная жесткость нити.

Предполагая, что число слоев велико и значения искомых величин T_{ik} , R_{ik} и q_{ik} медленно изменяются при переходе от слоя к слою, приводим систему уравнений (5...7) при $x = i$ и $y = k$ к системе дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} T(x, y) &= -R(x, y) \frac{dq(x, y)}{dx}, \\ \frac{dR(x, y)}{dx} &= dsin\alpha - cq(x, y), \\ R(x, y) &= R(x, x) - \left[\frac{dq(x, y)}{dx} + q(x, x) \right] R(x, y)^2 / (EA), \end{aligned} \quad (8)$$

с граничными условиями:

$$T(x, y) = R(x, x)q(x, x) = T(x), \quad R(0, y) = R_0 + 0,5d, \quad R(0, 0) = R_0. \quad (9)$$

Решив (8) для случая жесткой недеформируемой по толщине бобины и постоянной в процессе наматывания силы натяжения нити T_0 , получаем:

$$\begin{aligned} q(x, y) &= \frac{T_0}{R_0 + xdsin\alpha} + \frac{T_0}{dsin\alpha} \left[\left(1 + \frac{xdsin\alpha}{R_0} \right)^{k-0,5} + \left(1 + \frac{xdsin\alpha}{R_0} \right)^{-k-0,5} \right] \times \\ &\times (k - 0,5)^{-1} \left[\left(1 + \frac{xdsin\alpha}{R_0} \right)^{-(k-0,5)} + \left(1 + \frac{ydsin\alpha}{R_0} \right)^{-(k-0,5)} \right], \end{aligned} \quad (10)$$

$$R(x, y) = R_0 + ydsin\alpha - \frac{T_0}{dsin\alpha} \ln \left(1 + \frac{ydsin\alpha}{R_0} \right), \quad (11)$$

где $k = \sqrt{0,5 + cEA/(dsin\alpha)^2}$, $sin\alpha = \sqrt{1 - (0,5t/d)^2}$.

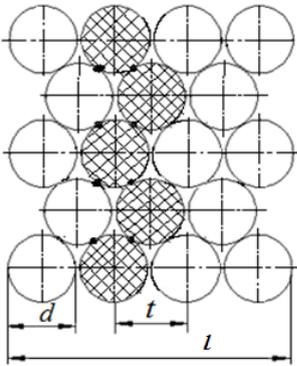


Рис. 3. Радиальный слой паковки

Преобразовав (3) с учётом переменности параметров q и R , получаем

$$W_1(x, y) = 4\pi f \gamma dq(x, y)R(x, y)sin\alpha. \quad (12)$$

Тогда рассеяние энергии колебаний за цикл в элементарном радиальном слое паковки (рис. 3) при известном значении числа слоев Y тела намотки можно рассчитать, как

$$W_c = \int_0^Y W_1(x, y) dx, \quad (13)$$

или с учётом (12) и (11) имеем

$$W_c = 4\pi f \gamma dsin\alpha \int_0^Y q(x, y) \left[R_0 + ydsin\alpha - \frac{T_0}{dsin\alpha} \ln \left(1 + \frac{ydsin\alpha}{R_0} \right) \right] dx, \quad (14)$$

где значение Y определяется из решения уравнения

$$Ydsin\alpha - \frac{cT_0}{dsin\alpha} \ln \left(1 + \frac{Ydsin\alpha}{R_0} \right) = R - R_0. \quad (15)$$

Полное рассеяние энергии колебаний за цикл в цилиндрической паковке с параллельной намоткой нити можно рассчитать по формуле

$$W = mW_c, \quad (16)$$

где $m = 2(l - d)/t$ - число контактов между элементарными радиальными слоями нити, уложенными на длине l тела намотки.

С учётом результатов экспериментальных исследований, показавших, что при прочих равных условиях рассеяние энергии W колебаний за цикл в паковках

с крестовой намоткой нити в среднем на 7...9% выше, чем в паковках с параллельной намоткой нити (глава 2), в формулу (16) введён коэффициент k_n , учитывающий вид намотки и позволяющий распространить разработанную математическую модель на паковки с крестовой намоткой нити.

Тогда окончательная формула для расчёт полного рассеяния энергии в текстильной паковке за цикл радиальных колебаниях бобинодержателя приёмно-намоточного механизма будет иметь вид

$$W = k_n m W_c, \quad (17)$$

где $k_n = 1$ при параллельной намотке; $k_n = 1,08$ – при крестовой намотке.

Для изучения влияния параметров паковки на её диссипативные свойства математическая модель рассеяния в ней энергии колебаний была реализована в виде компьютерной программы, использующей численные методы расчёта в системе «MATLAB». Анализ расчётных зависимостей (19...21) и результатов выполненных численных расчётов, пример одно из которых дан на рис. 4, позволили сделать выводы о том, что, что рассеяние энергии W в текстильной паковке:

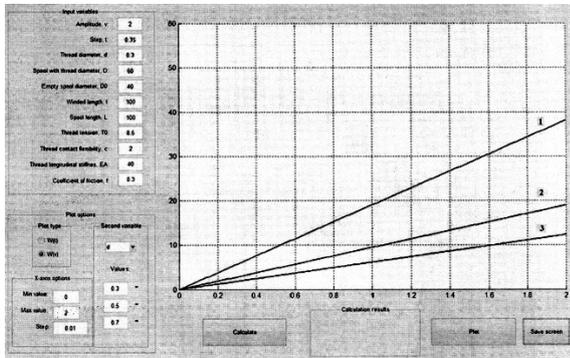


Рис. 4. Пример расчёта

- увеличивается с ростом амплитуды ν колебаний бобинодержателя;
- возрастает с увеличением силы натяжения T_0 наматываемой нити, коэффициента трения f между витками; шага t их намотки, внешнего диаметра D и длины l тела намотки;
- уменьшается с ростом диаметра d нити и внешнего диаметра D_0 бобины;
- зависит от деформационных свойств наматываемых нитей и падает с увеличением их продольной жесткости EA и коэффициента c , характеризующего контактную податливость нити;

Результаты теоретических расчётов W достаточно хорошо совпадают данными по определению этой величины на базе полученных экспериментальных коэффициентов поглощения, что подтверждает адекватность разработанной математической модели.

В четвёртой главе рассмотрены вопросы расчётно-экспериментальной оценки влияния диссипативных свойств формируемой текстильной паковки на демпфирующую способность узла бобинодержателя ПНМ.

Для проведения испытаний был использован лабораторный стенд, имеющий приёмно-намоточный механизм с консольной осью бобинодержателя. Испытания проводились в два этапа. На первом из них с помощью виброизмерительной системы, регистрировались радиальные колебания бобинодержателя с бобиной и сформированной текстильной паковкой, имеющей конечную массу 2 кг., при отсутствии контакта последней с прижимным цилиндром. На втором этапе для исключения влияния рассеяния энергии колебаний в паковке на характер вибраций системы паковку заменяли равным ей по массе стальным цилиндром и записывали аналогичные виброграммы. Обработка результатов эксперимента проводилось путём взаимного наложения виброграмм, полученных на

первом и втором этапах испытаний, и сравнения значений амплитуд a_6 и a колебаний установившихся вибраций (рис. 5) бобины и цилиндра.

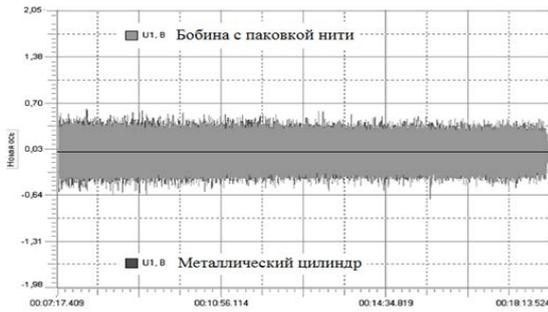


Рис. 5. Наложенные виброграммы

Установлено, что в условиях проведения испытаний среднее значение коэффициента снижения амплитуды $K_{aэ} = \frac{a_6}{a} = 0,9$ с доверительным интервалом $\pm 0,02$. При этом точность определения абсолютных значений амплитуд установившихся колебаний не влияет на полученное значение.

Теоретическое значение этого коэффициента может быть определено в соответствии с базовыми зависимостями теории колебаний по формуле

$$K_a = \frac{a_6}{a} = \frac{\sqrt{(1-K_\omega)^2 + (\frac{\psi}{2\pi})^2}}{\sqrt{(1-K_\omega)^2 + (\frac{\psi}{2\pi})^2(1+K_\psi)^2}} \leq 1, \quad (18)$$

где $K_\psi = \psi_{п}/\psi$ – коэффициент соотношения относительного рассеяния $\psi_{п}$ в паковке и относительного рассеяния ψ в остальной конструкции механизма; $K_\omega = \omega/\omega_0$ – коэффициент соотношения вынужденной ω и собственной частот ω_0 колебания системы.

На базе (18) были выполнены численные расчёты и построены графики (рис. 6) теоретических зависимостей $K_a = f(K_\psi, K_\omega)$ при характерном для типовых конструкций ПНМ с консольным бобинодержателем среднем значении коэффициента поглощения $\psi=0,6$ и частотах вращения ω , близких к максимально допустимой частоте $0,77\omega_0$, при которых бобинодержатель во время разгона не проходил бы через первую зону критических частот вращения.

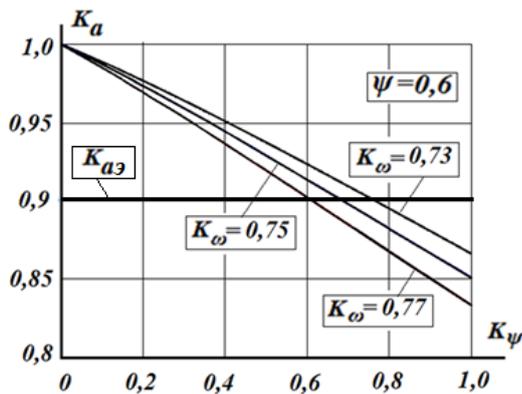


Рис. 6. Графики теоретических зависимостей $K_a = f(K_\psi, K_\omega)$

Из графиков видно, что при $K_{aэ} = 0,9$ значения коэффициента K_ψ лежат в диапазоне от 0,6 до 0,75. Следовательно, коэффициент $K_{дп}$ влияния диссипативных свойств паковки на демпфирующую способность узла бобинодержателя ПНМ составляет

$$K_{дп} = \frac{\psi_{п}}{\psi + \psi_{п}} = \frac{\psi K_\psi}{\psi + \psi K_\psi} = \frac{K_\psi}{1 + K_\psi} = \frac{0,6}{1 + 0,6} \dots \frac{0,75}{1 + 0,75} = 0,38 \dots 0,43. \quad (19)$$

Таким образом можно сделать вывод о том, что при частоте вращения, близкой к допустимой, диссипация энергии колебаний в формируемой текстильной паковке в условиях проведённого исследования может достигать до 40% от общего рассеяния энергии колебаний в узле бобинодержателя ПНМ

Приложение содержит справку о внедрении результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Литературный обзор научных публикаций по теме работы позволил установить и обобщить обширные экспериментальные данные и расчётные зависимости, достаточные для определения количественных характеристик рассеяния энергии колебаний в материалах и сопряжениях деталей общемашиностроительного применения, используемых в приёмно-намоточных механизмах текстильных машин.
2. В диссертации исследованы недостающие характеристики демпфирования колебаний в формируемых приёмно-намоточным механизмом текстильных паковках, необходимые для реальной комплексной оценки диссипативных свойств этого механизма при его динамических расчётах.
3. Для проведения экспериментального исследования рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках спроектирован и изготовлен испытательный стенд, оснащённый автоматизированной системой сбора опытных данных, и разработана методика проведения экспериментов, позволяющая вести обработку полученных результатов измерений на базе относительных, а не абсолютных величин измеряемых параметров.
4. Для исследуемых цилиндрических с параллельной намоткой нити и конических с крестовой намоткой нити текстильных паковок, различных по массе и сырьевому составу наматываемых нитей, впервые найдены экспериментальные коэффициенты поглощения, значения которых в условиях проведения испытаний лежат в диапазоне $\psi = 0,06 \dots 0,4$ и сопоставимы с относительным рассеянием энергии колебаний при конструкционном демпфировании, следовательно, потери энергии колебаний в паковках происходят в основном за счёт внешнего трения между витками нитей.
5. Разработана новая математическая модель рассеяния энергии колебаний в текстильной паковке с учётом переменной по толщине тела намотки линейной силы давления между витками и деформации поперечных сечений нити, позволяющая определять абсолютное рассеяние энергии W колебаний за цикл в теле намотки и проводить оценку влияния различных параметров структуры паковки на её диссипативные свойства.
6. На практике разработанная модель реализована в виде компьютерной программы, использующей численные методы расчёта в системе «MATLAB», адекватность модели подтверждена достаточно хорошим совпадением расчётных данных с результатами проведённых испытаний.
7. Результаты экспериментального и аналитического исследований показывают, что рассеяние энергии колебаний в текстильных паковках:
 - увеличивается с ростом силы натяжения наматываемой нити, коэффициента трения между витками и амплитуды колебаний бобинодержателя из-за увеличения сил трения и относительных проскальзываний в контактах витков тела намотки;
 - возрастает с увеличением массы паковки, её внешнего диаметра, длины и шага намотки, а также с уменьшением диаметра нити и внешнего диаметра

бобинодержателя, т.к. при этом возрастает суммарное число контактов трения между витками тела намотки;

- уменьшается с ростом продольной жесткости нити и её контактной податливости, потому что способствующее этому влияние снижения относительных проскальзываний в контактах витков, очевидно, превышает противоположное влияние роста суммарного числа этих контактов;
 - зависит от состава пряжи, при этом в паковках нитей из натуральных волокон оно выше, чем в паковках из синтетических нитей, что связано с большим коэффициентом трения в контактах натуральных волокон;
 - зависит от вида намотки и в конических паковках с крестовой намоткой нити при одинаковом составе пряжи и массе оно в среднем на 7...9% выше, чем в цилиндрических паковках с параллельной намоткой, что связано с наличием большого числа поперечных контактов трения между соседними слоями витков по толщине тела намотки и большим относительным проскальзыванием нитей в этих контактах.
8. Выполнена расчётно-экспериментальная оценка влияния диссипативных свойств текстильной паковки на демпфирующую способность приёмно-намоточного механизма, результаты которой, в первом приближении, доказывают, что в балансе рассеяния энергии колебаний в узле бобинодержателя при частоте его вращения, близкой к максимальной допускаемой, диссипация энергии колебаний в формируемой паковке может достигать до 40% от общего рассеяния энергии колебаний в узле в зависимости от его конструкции, параметров тела намотки и условий её формирования.
9. Полученные в работе экспериментальные значения коэффициентов поглощения в текстильных паковках пряжи с параллельной и крестовой намоткой нитей различного сырьевого состава приняты к использованию в системе расчётно-конструкторских работ ОАО «ЦНИИМашдеталь», г.°Москва.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журнале, рекомендованном ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций

1. Рудовский П.Н., Палочкин С.В., Колягин А.Ю., Лабай Н.Ю. Демпфирование колебаний в цилиндрическом теле намотки при изгибе оправки // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2010. № 5. С. 95-100.
2. Лабай Н.Ю., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Расчёт рассеяния энергии колебаний в цилиндрической текстильной паковке с параллельной намоткой нити // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 4. С. 61-65.
3. Лабай Н.Ю., Палочкин С.В. Экспериментальные исследования демпфирования колебаний в приёмно-намоточном механизме // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2013. № 2(344). С. 121-125.
4. Палочкин С.В., Лабай Н.Ю., Рудовский П.Н. Экспериментальные исследования демпфирования колебаний в текстильных паковках с крестовой намоткой

нити // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 3(357). С. 141-145.

Монография

5. Рудовский П.Н., Палочкин С.В., Колягин А.Ю., Лабай Н.Ю. Диссипативные свойства текстильных паковок: монография. Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2016. 83 с.

Доклады и тезисы докладов на конференциях

6. Лабай Н.Ю., Палочкин С.В. Демпфирование колебаний в приёмно-намоточном механизме // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2010): Сб. материалов международной научно-технической конференции, Иваново 25-28 мая 2010 года. Ч. 1. Иваново: ИГТА, 2010. С. 251-252.
7. Лабай Н.Ю., Колягин А.Ю., Палочкин С.В., Рудовский П.Н. Рассеяние энергии колебаний в цилиндрическом теле намотки // Сб. Тезисы докладов Международной научно – технической конференции "Современные технологии и оборудование текстильной промышленности" (ТЕКСТИЛЬ-2010). М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2010. С. 174.
8. Лабай Н.Ю., Палочкин С.В. Экспериментальные исследования рассеяния энергии колебаний в текстильных паковках // Сб. Тезисы докладов Международной научно – технической конференции "Современные технологии и оборудование текстильной промышленности" (ТЕКСТИЛЬ-2011). М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011. С. 183.
9. Лабай Н.Ю., Палочкин С.В. Влияние радиальной жёсткости текстильной бобины на её демпфирующие свойства // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2012): Сб. материалов международной научно-технической конференции, Иваново 30 мая - 1 июня 2012 года. Ч. 2. Иваново: ИГТА, 2012. С. 27-28.
10. Лабай Н.Ю. Демпфирование колебаний бобинодержателя приёмно-намоточного механизма // Студенты и молодые учёные КГТУ - производству: материалы 64-ой межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвящённой 80-летию Костромского государственного технологического университета. В 2-х томах. Т.2 Кострома: Изд-во КГТУ, 2012. С. 76-77.
11. Лабай Н.Ю., Палочкин С.В. Диссипативные свойства паковок с крестовой намоткой нити / Н.Ю. Лабай, С.В. Палочкин // Инновационные технологии развития текстильной и лёгкой промышленности: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. М.: МГУТУ, Экон-информ, 2014. С. 219-220.
12. Палочкин С.В., Лабай Н.Ю., Рудовский П.Н. Исследование радиальной податливости текстильной паковки с параллельной намоткой нитей // Актуальные проблемы науки в технологиях текстильной и легкой промышленности (Лен-2016): сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. Костром. гос. ун-т. Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2016. С. 136-138.