

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Афанасьева Владислава Сергеевича
«ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОДОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
УПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04. –
«Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность работы.

Актуальность работы связана с тем, с потребностью проведения теоретических исследований процессов, в которых задействованы движущиеся материалы. Это конвейерные ленты, пластины, диски, полотна продукции и прочие упругие продольно движущиеся системы. Чем быстрее движутся такие материалы, тем больше продукции может быть произведено в единицу времени. Однако увеличение скорости может привести к потере устойчивости и дестабилизации процессов. Поэтому важной задачей является установление предельных критических параметров продольного движения упругих материалов, при достижении которых движение будет оставаться стабильным.

Отметим, что ранее в этой области исследований рассматривались упрощенные системы, не учитывающие многие важные параметры. В работе учитываются различные особенности технологических процессов, связанных с движущимися материалами: ортотропия, непостоянная продольная скорость, термомеханические воздействия, неоднородность структуры материала. Исследуются два способа повышения стабильности движения материала: поиск критических значений параметров движения, при которых материал теряет устойчивость и гашение возникающих колебаний материала с помощью активного воздействия. Для отыскания значений критических параметров движения материала в работе решаются задачи, позволяющие определить критические значения скоростей и температур, при которых

материал теряет устойчивость. Для гашения неустановившихся колебаний, возникающих во время движения, применяются воздействия на движущийся материал в форме системы актюаторов. Разработаны и исследованы алгоритмы вычисления оптимальной схемы воздействия на материал с помощью гасящих нагрузок. Результаты работы были получены в рамках выполнения темы Госзадания ИПМех РАН (AAAA-A20-120011690132-4) и проектов 17-19-01247 (РНФ), 17-08-00775а, 20-08-00082а (РФФИ), что также подчеркивает их значимость.

Цель работы.

Целью работы является разработка методов повышения стабильности продольного движения материалов на основе определения безопасных диапазонов изменения параметров, влияющих на динамический процесс, определения оптимальной структуры материала, а также оптимальной программы приложения управляющих воздействий, гасящих возникающие колебания.

Структура работы.

Диссертация включает в себя введение, три главы и заключение. Каждая глава диссертации содержит вводную часть. В конце каждой главы формулируются выводы, сделанные на основе проведенных исследований.

Содержание работы.

Введение содержит подробный обзор исследований в области механики движущихся материалов. Сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы, а также обоснованы научная и практическая значимость исследования, его актуальность, новизна и достоверность полученных результатов. Описана структура работы и перечислены основные публикации по теме диссертации.

В первой главе для исследования динамики движущихся упругих материалов в Эйлеровой системе координат разработаны механические модели и получены основные соотношения, которые применены в

последующих главах для решения сформулированных конкретных задач. В представленных моделях учитываются термомеханические воздействия, ортотропность материала и непостоянство транспортной скорости. Также предложен метод расчета неустановившихся поперечных термоупругих колебаний на основе разложения в ряды по Галёркину, что позволяет получать приближенные аналитические оценки для колебательного процесса.

Во второй главе на основе разработанных механических моделей решены задачи об устойчивости продольного движения материалов в стационарной постановке (дивергенции). Исследованы критические параметры устойчивости движения материала, и даны рекомендации по повышению стабильности. Для термоупругой неразрезной панели, а также для ортотропной термоупругой панели получены соотношения для критических температуры и скорости продольного движения, вызывающих явление дивергенции. Также данные критические параметры (температура и скорость) были определены при рассмотрении движения полотна вдоль гладкой цилиндрической поверхности, где материал моделировался растягиваемой нагретой струной. Неустойчивость рассматривалась как «отлипание» и выпучивание материала в радиальном направлении при движении материала вокруг кругового цилиндра. В последнем параграфе второй главы приведены в первом приближении некоторые оценки устойчивости для одномерного движения растягиваемой струи (волокна) из вязкого материала.

Третья глава посвящена применению оптимизационных подходов к проблеме повышения стабильности движения упругих материалов. Для гашения возникающих неустановившихся поперечных колебаний предполагается наличие системы атьюаторов, которые могут оказывать на колебания гасящие воздействия в направлении, перпендикулярном направлению движения материала. Качество гашения колебаний оценивается с помощью введенного интегрального функционала. Предложен итерационный алгоритм для построения программы оптимального подавления колебаний на конечном интервале времени. Алгоритм базируется на введении

сопряженных переменных, выводе необходимых условий оптимальности и применении метода Галёркина для приближенного аналитического решения на каждом шаге алгоритма начально-краевых задач с частными производными. Решены задачи для быстро вращающихся стержней и дисков. Описанный оптимизационный подход к стабилизации можно назвать «активным». В работе также рассмотрен «пассивный» оптимизационный подход на примере определения наилучшей структуры слоистого движущегося полотна с целью максимизации транспортной скорости в безопасном с точки зрения потери устойчивости режиме. Полотно моделировалось тонкой неразрезной слоистой пластиной, и было определено оптимальное распределение по толщине пластины слоев из заданного множества материалов. Для решения задачи была разработана вычислительная программа на основе генетического алгоритма.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна.

Научная новизна работы обосновывается ее основными результатами.

Для описания процесса движения упругих материалов разработаны математические модели, принимающие во внимание такие особенности технологических процессов как термомеханические воздействия, структурная неоднородность и ортотропия материала, непостоянной скорости продольного движения. На основе представленных моделей решены механические задачи и разработаны системы активного подавления возникающих колебаний с помощью актюаторов.

Проведены исследования критических параметров движения упругого материала, таких как критическая скорость и критическая температура. На основе этих результатов применены методы оптимизации, позволяющие повысить стабильность движения.

Был разработан итерационный алгоритм построения оптимальной программы гашения возникающих во время движения материала колебаний.

Этот алгоритм применен для решения задач поиска оптимальной системы гашения поперечных колебаний вращающихся упругих стержней и дисков.

Применен итерационный генетический алгоритм поиска нелокального экстремума. Для поиска оптимальной структуры слоистого материала с учетом ограничений на суммарную массу движущегося материала использовался итерационный генетический алгоритм.

Теоретическая и практическая значимость.

Важными теоретическими аспектами работы являются разработанные новые механико-математических модели продольного движения упругих материалов, принимающие во внимание важные факторы движения упругих материалов в реальных системах такие как влияние температуры, неоднородность скорости движения и структуры материала, ортотропия. Эти модели могут быть применены для решения различных задач, связанных с движением упругих материалов и могут быть расширены с учетом конкретных дополнительных факторов в будущих исследованиях. Разработанные системы гашения возникающих колебаний могут быть использованы для поиска оптимальных характеристик повышения стабильности в различных технологических процессах и могут быть использованы для решения задач стабилизации движения материала за счет поиска оптимальной системы активаторов подавления возникающих колебаний.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных моделей и методов для поиска оптимальных параметров движения материала позволяющих повысить эффективность производства и количество продукции различных технологических процессов. Повышение максимальной скорости движения материалов позволяет напрямую увеличить количество производимой продукции, а повышение стабильности движения позволяет минимизировать риск возникновения аварий, которые могут привести к повреждению оборудования и большим финансовым издержкам.

Достоверность результатов.

Исследования в данной работе были проведены в Эйлеровой системе координат с помощью таких классических математических методов решения задач как метод Галеркина, метод малого параметра, методы оптимизации систем с распределенными параметрами. Автор использовал многократно апробированный эволюционный численный метод поиска нелокального экстремума (генетический алгоритм) для решения задачи оптимизации внутренней структуры слоистого материала.

Автор представляет свои выводы логично и обоснованно, а полученные результаты совпадают с теми, что уже имеются в литературе для более частных случаев.

Замечания.

По диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1. Качество процесса подавления колебаний вращающихся стержней и дисков оценивается значением функционала J_g (формулы (3.5) и (3.36), соответственно), которое учитывает вклад распределений прогибов и скоростей в поперечном направлении в конечный момент рассматриваемого временного интервала. В рассмотренных примерах второе слагаемое под знаком интеграла, то есть вклад скоростей, исключается из рассмотрения. Это, конечно, позволяет упростить выкладки, но приводит к более грубым оценкам для подавляющего воздействия. Интересно было бы оценить на конкретном примере эффект учета влияния скоростей и представить для сравнения зависимость функционала J_g от величины временного интервала t_f на рис.3.2.
2. Не приводятся реальных значений движения полотна в конкретных производствах, например в бумагоделательной машине. Было бы интересно сравнить эти данные с результатами, полученными в работе.
3. Графики, приведенные на рисунках, выполнены в цвете и являются хорошей иллюстрацией полученных в работе результатов, однако

значения по осям на некоторых графиках слишком мелкие и трудно читаются.

4. В целом материал диссертации изложен хорошим литературным языком, представлен ясно, с правильным использованием научной терминологии. Имеются небольшие замечания по стилистике (например, на стр. 20 дважды подряд употребляется слово «взаимодействия») и форматированию.

Сделанные замечания не умаляют научной и практической значимости диссертационной работы и не могут влиять на ее положительную оценку.

Апробация работы.

Работы диссертанта были опубликованы в 10 рецензируемых периодических научных изданиях и материалах конференций, входящих в перечень ВАК РФ и индексируемых в Web of Science, Scopus.

Автореферат диссертации Афанасьева В. С. правильно и с достаточной полнотой отражает ее содержание.

Общее заключение по работе.

Представленная к защите диссертационная работа Афанасьева В. С. «Повышение стабильности продольного движения упругих материалов» выполнена по актуальной теме на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой. Полученные результаты, несомненно, обладают достоверностью, новизной и имеют большое значение как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Считаю, что диссертационная работа Афанасьева Владислава Сергеевича соответствует всем требованиям ВАК РФ и критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Афанасьев

Владислав Сергеевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

Профессор кафедры
«Цифровые технологии управления
транспортными процессами»
Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Российский университет транспорта»
д.ф.-м.н., профессор

А.С. Братусь

Почтовый адрес: Братусь Александр Сергеевич,
127055, Москва, ул. Образцова, д.9 стр. 9.
Электронная почта: alexander.bratus@yandex.ru
Тел.: 8 (495) 684-29-27

Подпись А.С. Братуся заверяю:

Должность

Насилькин



подпись, печать

ФИО

Федюхин И.В.