

ОТЗЫВ

официального оппонента Югова Анатолия Михайловича
на диссертацию Царенко Сергея Николаевича на тему
«Численно-аналитические исследования динамики и устойчивости
неклассических моделей упругих стержневых конструкций»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 01.02.04 – Механика
деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертационной работы

Развитие строительной и машиностроительной отраслей, а также использование новых материалов в конструкциях и сооружениях требуют совершенствования расчетных методик с целью повышения достоверности и точности оценки параметров напряженно-деформированного состояния элементов и конструкций. Частично решение данной проблемы представляют многочисленные существующие программные комплексы систем автоматизированного проектирования отечественных и зарубежных разработок. Однако имеются определенные сложности в использовании этих комплексов, что связано не только с объективным ограничением по вычислительным мощностям вычислительной техники, но и с рядом субъективных факторов, таких как корректное построение расчетных схем, тип конечного элемента, густота сетки, верификация результата расчета. Применяемое в настоящее время решение данной проблемы за счет выполнения альтернативных расчетных оценок в различных программных комплексах далеко не всегда дает достоверный либо достаточно точный результат.

Основным средством для преодоления данных трудностей является использование альтернативных, прежде всего аналитических, подходов к решению поставленных задач. Известен ряд научных трудов, посвященных рассмотрению данной проблематики, где в качестве тестовых примеров для

различных программ рассматриваются известные задачи сопротивления материалов, строительной механики и теории упругости.

Тема диссертационной работы посвящена актуальной проблеме разработки новых численно-аналитических методик анализа статического и динамического деформирования стержней с усложненной структурой, которые позволяют проводить исследования напряженно-деформированного состояния элементов и конструкций с применением хорошо апробированных подходов и методов математической физики. Также математические модели и методики, представленные в диссертационном исследовании, могут использоваться для оценки результатов, полученных с применением современных средств автоматизированного проектирования и расчета.

Актуальность диссертационной работы подтверждается тем, что исследования выполнены в рамках тематических планов научно-методических работ ДонНТУ: № НЗ.1-10 «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния длинномерных наземных конструкций и сооружений, как систем с распределенными параметрами»; № Н-4.13 «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния систем с распределенными параметрами в расчетах на устойчивость и динамическую нагрузку»; № Н-5.16 «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния упругих систем».

Основные научные результаты и их новизна

Диссертационная работа содержит 314 страниц и состоит из введения, семи разделов, заключения, списка литературы из 362 источников на 38 страницах.

Объектом исследования в диссертационной работе является математическая модель статического и динамического деформирования упругого стержня с усложненными геометрическими и физико-механическими свойствами.

Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние и устойчивость стержневых конструкций при статическом и динамическом нагружении.

Во **введении** представлена общая характеристика работы, ее актуальность, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, приведены научные положения и их новизна, дана оценка практической и теоретической значимости работы.

В **первом разделе** диссертации представлен обзор литературных источников по направлению исследования. Рассмотрено современное состояние теории расчета стержневых систем (более 80% ссылок на литературные источники не старше 10 лет). На основании обзора дается заключение о степени разработанности выбранного направления исследования и приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы.

Во **втором разделе** рассматриваются задачи продольно-поперечного изгиба и устойчивости стержней с неоднородностью физико-механических и геометрических свойств. Для стержневых систем со ступенчатым изменением свойств дается общее решение уравнения изгиба с использованием специальных функций. На основе этой модели разработана методика исследования устойчивости весомых конструкций с непрерывно изменяющимися физико-механическими характеристиками. Соискателем получено новое аналитическое решение для задачи продольно-поперечного изгиба и устойчивости стержня с квадратичным законом изменения изгибной жесткости при одновременном учете распределенных и сосредоточенных нагрузок.

В **третьем разделе** разработана методика анализа продольно-поперечного изгиба и устойчивости невесомых стержней с произвольной степенной неоднородностью механических и геометрических характеристик. Для построения расчетных зависимостей вводятся новые функции, которые по назначению и свойствам аналогичны функциям Крылова, применяемых в

задачах статического и динамического изгиба однородных балок. Выполнены исследования основных свойств этих функций.

Четвертый раздел работы посвящен проблемам исследования продольных и крутильных колебаний и ударных процессов в неоднородных стержнях. Соискателем разработана методика анализа динамического деформирования упругих стержней с осевой неоднородностью физико-механических свойств на основе метода Фурье. Проведен анализ результатов численно-аналитических исследований ряда прикладных примеров.

В **пятом разделе** представлены исследования моделей динамического изгиба упругих стержней с переменной линейной плотностью и изгибной жесткостью. Разработан общий подход к решению задач динамики изгибных колебаний упругих неоднородных стержней, в том числе в условиях, когда собственные функции граничной задачи ортогональны с весом. Рассмотрена асимптотика собственных функций ряда граничных задач.

В **шестом разделе** исследуется модель изгибных колебаний стержня с квадратичным законом изменения изгибной жесткости и постоянной линейной плотностью, предварительно загруженного продольной силой. В частности, такая модель стержня может использоваться для исследования динамических процессов в конструкциях решетчатых башен. Соискателем проведены исследования влияния продольной нагрузки на амплитудно-частотные характеристики консольной конструкции. Проведен анализ моделей динамической неустойчивости для некоторых видов граничных условий.

Результаты исследования, которые имеют, по большей части, практическое значение, а также могут быть использованы в инженерных расчетных методиках, представлены в **седьмом разделе**.

В **заключении** подведен итоговый вывод по работе и представлены наиболее существенные результаты исследования.

Научная новизна полученных результатов исследования заключается в том, что:

- в работе получила развитие теория продольно-поперечного изгиба упругих весомых стержневых систем со ступенчатым изменением геометрических и физико-механических характеристик, а также разработана методика для анализа устойчивости моделей упругих стержней с непрерывным изменением физико-механических свойств;

- впервые рассмотрена математическая модель продольно-поперечного изгиба и устойчивости весомого стержня с квадратичным законом изменения изгибной жесткости в зависимости от продольной координаты, при одновременном учете распределенных и сосредоточенных продольных сил. Решение уравнения изгиба получено в функциях Бесселя и Ломмеля, что позволяет рассматривать любой вид граничных условий;

- поставлена и получила новое решение в аналитической форме задача для продольно-поперечного изгиба невесомых упругих стержней, изгибная жесткость которых изменяется по произвольному степенному закону от продольной координаты под совместным действием распределенных и сосредоточенных нагрузок. В случае локальных нагрузок для решения краевых задач методом начальных параметров введены новые функции и исследованы их основные свойства;

- получены новые аналитические решения задач о продольных и крутильных колебаниях стержня на основе волновой теории удара, а также разработано применение метода Фурье для динамических расчетов упругих стержней со степенной неоднородностью геометрических и физико-механических характеристик;

- разработана прикладная методика решения задач динамики продольных и крутильных колебаний на основе упрощения математической модели путем усреднения переменных коэффициентов для упругих стержней с произвольной конфигурацией физико-механических свойств;

- разработан общий подход на основе метода Фурье к решению математических моделей поперечных колебаний упругих балок с переменной

изгибной жесткостью и линейной плотностью на основе функций, аналогичных функциям Крылова;

- получены асимптотические представления для собственных функций граничных задач динамики поперечных, продольных и крутильных колебаний неоднородных стержней;

- получено новое решение задачи динамического изгиба и выполнены численно-аналитические исследования модели поперечных колебаний предварительно нагруженных стержней с квадратичной осевой неоднородностью изгибной жесткости;

- получены результаты численно-аналитических исследований ударных процессов в неоднородных стержнях, на основе которых разработаны рекомендации к определению коэффициента восстановления при ударе упругих стержней с учетом их геометрической формы.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные автором результаты предоставляют возможность моделирования и оценки НДС при статическом и динамическом нагружении различных стержневых систем объектов машиностроения и строительства, таких как: валы сложной конфигурации, бойки и волноводы силовых импульсных систем, бурильные трубы и обсадные колоны, ракеты, буровые вышки, опоры линий электропередач, стойки ветрогенераторов, башни теле- и радиосвязи, грануляционные башни предприятий по производству минудобрений, вытяжные трубы и пр. Представленные в работе аналитические решения задач механики упругих стержней также можно использовать для построения эталонных моделей и верификации расчетных данных при работе с программными комплексами объектного и имитационного моделирования. Предложенные алгоритмы расчетов могут применяться при разработке инженерных методик и практических рекомендаций при разработке технической и регламентирующей документации.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что результаты исследований были использованы для обоснования параметров стальных

крепей и в разработке технических регламентов спуска обсадных колон на плаву в рамках хоздоговорной темы № 13-189 между ДонНТУ и ГПОАО «Донецкое ШПУ» ГП ОАО «ГХК «СШБ», а также при использовании в учебном процессе в высших учебных заведениях технического профиля (ДонНТУ, ДонНАСА, ДонИЖТ).

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность выводов и результатов, полученных в работе, не вызывает сомнений, так как в постановке рассматриваемых задач использовались классические положения и гипотезы сопротивления материалов, строительной механики и теории упругости. Решения задач были получены в рамках известных методов математической физики.

Достоверность результатов работы подтверждается также апробацией на 14 научных конференциях и семинарах с широким географическим охватом. Материалы диссертации в полной мере опубликованы в 29-ти научных трудах, основная доля которых (26 работ) приходится на статьи в научных журналах, из которых шесть индексируется в международных наукометрических базах данных. При этом шесть работ опубликовано без соавторов.

Замечания по работе

1. В диссертации представлено достаточно много примеров по исследованию динамики конструкций при продольных, крутильных и изгибных колебаниях, где анализируется влияние динамических нагрузок на параметры силовых и деформационных факторов с использованием динамических коэффициентов. Однако в автореферате результаты данных исследований практически не отражены.

2. В постановке задач использованы классические положения и допущения, в частности, гипотеза плоских сечений Эйлера-Бернулли. Соискателю следовало бы указать допущения о том, в каких рамках

геометрических, физико-механических свойств объекта возможно применение принятых гипотез.

3. В работе отсутствуют экспериментальные исследования. На мой взгляд, они могли бы усилить некоторые научные положения и отчасти дать ответ на предыдущий вопрос (о рамках применения принятых гипотез), а также повысить уровень достоверности результатов исследований.

4. В общих выводах и по разделам мало указаний на рекомендуемые автором перспективные направления дальнейших исследований в рассматриваемой области.

Следует отметить, что перечисленные замечания не снижают положительной оценки работы в целом.

Заключение

Диссертационная работа Царенко Сергея Николаевича представляет собой самостоятельно выполненную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком профессиональном научном уровне, обладает внутренним единством и цельностью, содержит новые научные результаты и положения, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в науку.

Соискателем разработаны и представлены для защиты теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Представленные в работе результаты имеют важное теоретическое и практическое значение, вносят существенный вклад в развитие теории расчета упругих стержневых систем.

Представленная работа является полностью завершенным содержательным, актуальным научным исследованием. Направление исследования соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа на тему «Численно-аналитические исследования динамики и устойчивости неклассических моделей упругих

