

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский

государственный университет»,

профессор



С. В. Аплонов

« 03 » мая 2018 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию **Андрюковой Вероники Юрьевны**

**«НЕЛИНЕЙНЫЕ И КОНСТРУКТИВНО - НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ
УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела в диссертационный совет Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН

Использование новых высокопрочных материалов обусловило появление все более легких, экономичных, в то же время, сложных, тонкостенных конструкций в строительстве и современном машиностроении. Расчет на прочность таких конструкций зачастую связан с решением контактных задач для гибких элементов конструкции с неизвестной областью их активного взаимодействия. В настоящее время теория и методы решения контактных задач для стержней, пластин и оболочек активно развиваются. Решение таких задач сводится к исследованию вариационных неравенств или к решению неклассических вариационных задач с ограничениями на искомые функции в форме неравенств. Основы теории вариационных неравенств заложены в работах Ж.-Л. Лионса, Г. Дюво, Ж. Моро. Применению неравенств в механике и физике посвящена монография П. Панагиотопулоса. При численных расчетах на прочность контактные задачи сводятся к решению выпуклых задач математического программирования. В настоящее время разработаны эффективные методы их решения.

Расчет конструкций, состоящих из тонкостенных элементов, на устойчивость становится все более важным, ибо разрушение таких конструкций часто связано с общей потерей устойчивости, либо с потерей устойчивости ее отдельных элементов. Классические задачи на устойчивость упругих систем сводятся к нахождению и исследованию точек бифуркации нелинейных уравнений равновесия. Линеаризация этих уравнений приводит к некоторой линейной краевой задаче на собственные значения.

Проблема устойчивости и закритического поведения упругих систем при наличии односторонних ограничений на перемещения сводится к нахождению и исследованию точек бифуркации нелинеаризуемых уравнений или к нахождению параметров, при которых вариационные задачи с ограничениями на искомые функции в форме неравенств имеют неединственное решение. При численном решении таких задач приходится исследовать точки бифуркации задач невыпуклого математического программирования.

Диссертация в основном посвящена исследованию и решению задач устойчивости упругих систем с односторонними ограничениями на перемещения.

Структурно диссертация состоит из введения, 4 глав, и списка литературы из 88 наименований. Общий объем рукописи составляет 93 страницы машинописного текста. Работа содержит 23 рисунка, 7 таблиц.

Во **Введении** приводится обзор литературы по теме диссертационной работы, краткое описание диссертации. **Первая глава** посвящена описанию современного состояния исследований. **Вторая глава** представляет необходимый теоретический материал.

Третья глава посвящена устойчивости упругих систем с односторонними связями.

В разделе **3.1** приведены решения задачи устойчивости сжимаемых продольной силой стержней, находящихся в упругой среде, прогибы которых с одной стороны ограничены жестким препятствием при граничных условиях жесткой заделки и шарнирного опирания, полученные научным руководителем.

В разделе **3.2** аналитически решена задача устойчивости сжимаемого продольной силой стержня, находящегося в упругой среде, при односторонних ограничениях на перемещения при граничных условиях свободного края. Решение этой задачи существенно отличается от случая граничных условий жесткой заделки и граничных условий шарнирного опирания. Рассмотренные задачи эквивалентны задаче об устойчивости сжимаемой продольной силой цилиндрической оболочки, находящейся в жесткой обойме. Экспериментальному исследованию ее посвящена работа Алфутова Н.А., Еремичева А.Н. "Влияние односторонних связей на устойчивость цилиндрических оболочек при осевом сжатии." Расчеты на прочность. (М.: Машиностроение, 1989. с. 179-188.) Там указано, что в экспериментах форма потери устойчивости часто является осесимметричной.

В **разделе 3.3** приведены аналитические решения задачи устойчивости круговых колец с односторонним подкреплением нерастяжимыми нитями, так, что расстояние между точками кольца и неподвижным центром не может увеличиваться. Рассматривается случай центральных сил и сил нормального давления. Эти задачи сводятся к поиску минимального параметра нагрузки, при котором некоторая вариационная задача при условии, что прогиб будет неположительным, имеет нетривиальное решение. Показано, что при таком подкреплении значение критической силы увеличивается в несколько раз: в случае центральных сил значение безразмерного критического параметра для кольца без подкрепления равно 4.5, а с подкреплением - 18.60; для нормальной нагрузки соответственно 3.0 и 8.0.

Также в разделе рассматривается задача устойчивости колец, подкрепленных нерастяжимыми нитями, расположенными по сторонам правильного многоугольника и при комбинированном подкреплении. Данная задача решается численным методом.

Аналитические решения, полученные в предыдущих разделах используются также для проверки численного алгоритма. Показано, что при подкреплении нитями по сторонам правильного многоугольника критическая нагрузка может существенно возрасти.

В разделе 3.4 рассмотрена задача устойчивости прямоугольных пластин, односторонне взаимодействующих с жесткими ребрами. На боковых кромках пластины рассматриваются граничные условия свободного края. Результаты вычислений показывают, что наличие всего двух ребер существенно увеличивает критическую силу.

В разделе 3.5 рассматриваются задачи устойчивости торообразной и сферической оболочек в осесимметричном случае. Применяется вариационный подход. Для вычисления работы внешних сил нормального давления используется точная термодинамическая формула. Для определения упругой энергии деформации используется формула, предложенная А.В. Погореловым в монографии «Геометрическая теория устойчивости оболочек». Приводится сравнение результатов, с полученными ранее другими авторами, а также для торообразной оболочки сравнение с экспериментальными данными.

В главе 4 проводится сравнительный анализ линейных и нелинейных колебаний прямоугольных пластин. Нелинейная теория основана на уравнениях Кармана. Рассматриваются граничные условия шарнирного опирания. Численный анализ подтвердил известный эффект Ферми-Пасты-Улама. В случае нелинейных колебаний прогиб пластины, пройдя ряд последовательных стадий восстанавливается в исходном состоянии с точностью до нескольких процентов.

Отметим главные достижения автора:

- Аналитически решена задача устойчивости сжимаемого продольной силой стержня, находящегося в упругой среде, при односторонних ограничениях на перемещения при граничных условиях свободного края;
- Аналитические решены задачи устойчивости круговых колец с односторонним подкреплением нерастяжимыми нитями в случаях нормальной и центральной нагрузок;
- Численным методом исследована задача устойчивости колец, подкреплённых нерастяжимыми нитями, расположенными по сторонам правильного многоугольника и при комбинированном подкреплении;
- Численным методом исследована задача устойчивости прямоугольных пластин, односторонне взаимодействующих с жесткими ребрами;
- Предложен и реализован метод решения задачи устойчивости оболочек вращения в уточненной теории тонких оболочек;
- Численно проведен сравнительный анализ линейных и нелинейных колебаний прямоугольных пластин.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием апробированных теорий стержней пластин и оболочек, сравнением с экспериментальными данными, а также с результатами, полученными ранее другими авторами.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях проводимых в Институте проблем механики РАН (Москва), институте проблем РАН (Санкт-Петербург), Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете на кафедре Вычислительных методов механики деформируемого тела, Институте механики сплошных сред УрО РАН (Пермь), и других учреждениях, занимающимися вопросами прочности и устойчивости упругих систем.

По работе имеются замечания:

1. При анализе результатов расчета на устойчивость торообразной оболочки не обосновано принятое на основании рис.3.16 значение критической нагрузки $\tilde{P}_* = 0.13$ (стр.69-70).
2. Недостаточно приведено результатов при расчете сферической оболочки; при численных экспериментах на устойчивость оболочек вращения не рассмотрена линеаризованная задача и не определены собственные числа матрицы вторых частных производных.
3. При анализе устойчивости сферической оболочки не обосновано принятое на основании рис. 3.17 значение критической нагрузки $\tilde{P}_{кр} = 0.35$ (стр.73).
4. В работе имеются повторения: сначала кратко описывается теория криволинейных тонких стержней в общем случае, а потом в параграфе, где решается задача устойчивости подкрепленного кольца при внешнем нормальном давлении формула для упругой энергии выводится снова.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации, дает ясное представление о предмете и методах исследования. Основные результаты своевременно опубликованы в ведущих российских журналах, и в трудах международных конференций.

Считаем, что диссертация В.Ю. Андрюковой "Нелинейные и конструктивно-нелинейные задачи механики тонкостенных конструкций" представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком уровне, содержащее существенное продвижение в теории устойчивости упругих систем.

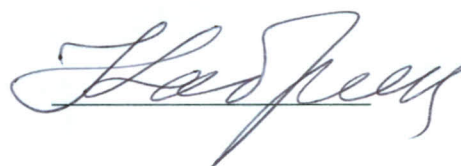
Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела, а ее автор, Вероника Юрьевна Андрюкова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Отзыв составлен доцентом С.А.Кабрицем, заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела(ВММДТ) 26 апреля 2018 г., протокол № 85.08/2-04-8.

Зав. кафедрой ВММДТ, доктор физ.-мат.наук,
профессор, Юлия Григорьевна Пронина



Доцент кафедры ВММДТ, канд. физ.-мат. наук,
Сергей Александрович Кабриц



Сведения о ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет».

Адрес: 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9.

Тел.+7(812)328-20-00, e-mail: spbu@spbu.ru, Веб-сайт <http://spbu.ru>

