



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение**  
**Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук**  
**Институт механики им. Р.Р. Мавлютова**

450054, г. Уфа, проспект Октября, 71. Тел./факс: (347) 235-52-55, e-mail: [imran@anrb.ru](mailto:imran@anrb.ru)  
Код организации 81, ОГРН 1030204207582, ИНН 0274064870, КПП 027645005

18.01.2021 № 17149-03

На № 11504/02-6215-595 от 11.12.20

В Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

Отзыв на диссертационную работу Подопросветовой А.Б.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора Института механики Уфимского федерального исследовательского центра РАН

к.ф.-м.н., доцент Галимзянов М.Н.

«18» января 2021 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук

на диссертационную работу Подопросветовой Анастасии Борисовны «Теоретическое и экспериментальное исследования устойчивости упругой трубки с протекающей внутри жидкостью», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа состоит из четырех глав, изложена на 136 страницах.

Глава 1 посвящена обзору литературы по движению упругой трубки и неньютоновской жидкости. Он является довольно детальным. Здесь же приводятся уравнения, которые далее используются в работе. Уравнение

движения трубки используется без учета изгибной жесткости стенки, что справедливо для мягких оболочек.

В главе 2 приводится теория существования и единственности осесимметричных деформаций трубки с протекающей жидкостью. Показано, что для случаев вязкой жидкости единственным является нестационарное движение. Указаны условия, в том числе значение числа Рейнольдса, при которых эти движения реализуются.

В главе 3 рассматривается устойчивость течения неньютоновской жидкости со степенным законом в упругой трубке. Даны критерии локальной неустойчивости и абсолютной неустойчивости. Здесь исследуется неустойчивость в зависимости от длины трубки и вязкости. Был проведен численный анализ с учетом натяжения трубки разной длины.

В главе 4 изложено экспериментальное исследование. Проведено сравнение типов колебаний в зависимости от режима потока, а именно ламинарного и турбулентного течений. Изучены четыре типа колебаний при равных перепадах давления. Проведена визуализация режимов колебаний трубки.

#### **Актуальность.**

Теории движения упругих трубок с протекающей жидкостью посвящена огромная литература. Анализ распространения осесимметричных волн в трубке, наполненной вязкой несжимаемой жидкостью, учитывающий радиальную и продольную инерцию трубки, а также трение о стенки, дал в 1883 году выпускник Московского университета и профессор Казанского университета И.С. Громека. Это во многих отношениях замечательная работа. В ней использованы уравнения осесимметричных колебаний оболочки, условия равенства давлений и скоростей жидкости и оболочки на колеблющейся поверхности. В дальнейшем проведены исследования с учетом многих дополнительных факторов. В частности, учет сжимаемости жидкости позволил получить значение скорости распространения волны по жидкости в работах Кортвега и Жуковского.

Однако до сих пор исследования проведены в основном для упругих трубок с протекающей ньютоновской жидкостью. Это направление составляет значительную долю исследований по биомеханике. В советское время биомеханика весьма успешно развивалась в Институте механики МГУ (С.А. Регирер и другие).

Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений, поскольку в ней обнаружены новые виды потери устойчивости упругих трубок с протекающей нелинейно-вязкой жидкостью (не имеющих места при течении ньютоновской жидкости в трубке), которые имеют широкий спектр применений в различных областях. В свою очередь, экспериментальные результаты являются важными для современных исследований течений в тонкостенных упругих трубках, поскольку позволяют уточнить возможность применения ранее известных экспериментальных данных для турбулентных течения к ламинарным биологическим течениям.

#### **Обоснованность и достоверность полученных результатов.**

Обоснованность и достоверность полученных теоретических результатов обусловлены использованием известных и изученных моделей упругой трубки и неньютоновских жидкостей. Использование установки для циркуляции жидкости через упругую трубку, имеющей принципиальную схему «Starling resistor», а также теоретическое обоснование полученных экспериментальных данных, позволяет судить о достоверности полученных экспериментальных результатов диссертационной работы.

#### **Научная новизна результатов.**

В работе предложены новые теоретические задачи, направленные на изучение влияния на устойчивость системы «трубка – жидкость» нелинейно-вязких свойств протекающей среды, длины трубки, продольного натяжения и поверхностной плотности трубки. Для бесконечно длинной трубки без учёта продольного натяжения трубки условия неустойчивости движения нелинейно-вязкой степенной жидкости, имеют качественную разницу с устойчивостью течения ньютоновской жидкости: в зависимости от

показателя нелинейности в пространстве параметров появляются новые области неустойчивости, отсутствующие в случае ньютоновской жидкости. В диссертационной работе проведены теоретические исследования влияния реологии жидкости на границы устойчивости, в том числе учтено натяжение трубки (повышающее порядок системы дифференциальных уравнений и существенно усложняющее задачу), а также и конечная длина деформируемой трубки.

В экспериментальной части диссертационной работы было выявлено влияние режимов течения на устойчивость упругой трубки Пенроуза. Детальное построение областей разных видов колебаний при течении в упругих трубках линейно-вязкой жидкости было проведено на основе экспериментальных данных для турбулентного и ламинарного течения. Данные, полученные в диссертационной работе, являются новыми и ранее не изучались.

#### **Практическая ценность.**

Практическая значимость полученных результатов обусловлена большим количеством возможных приложений в различных биологических и промышленных областях. Наиболее перспективным применением результатов является биомеханическое моделирование течения крови по сосудам человека, а также объяснение различных видов высокочастотных пульсаций сосудов животных и человека.

#### **Соответствие автореферата диссертации.**

Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Результаты диссертации Подопросветовой А.Б. могут быть использованы в теоретических и прикладных исследованиях, проводимых на механико-математическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, на кафедре вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике МФТИ, в НИИ Механики МГУ, ИГиЛ СО РАН, ПНИПУ,

ИММ ФИЦ КазНЦ РАН, ИМех УФИЦ РАН и других, занимающихся данной и смежными тематиками.

### **Замечания по диссертации.**

1. В работе отсутствует прямая связь между теоретическими исследованиями, представленными в третьей главе, и экспериментальными исследованиями, приведенными в четвертой главе.
2. В четвертой главе деление на режимы колебаний произведено на основании зависимости перепада давления от времени. Хотя в некоторых работах подобного типа изменение режима определяется существенным скачком частоты колебаний. Представляется интересным обосновать переход между режимами альтернативным методом.

Работа изложена хорошим языком, четко, на современном научном уровне. Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

### **Заключение.**

Сказанное выше позволяет заключить, что рассматриваемая диссертационная работа Подопросветовой Анастасии Борисовны на тему «Теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости упругой трубки с протекающей внутри жидкостью» является определенным вкладом в научное направление по биомеханике (в целом – по механике). Полученные результаты диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах международного и всероссийского уровня.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, А.Б. Подопросветова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

физико-математических наук по научной специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв заслушан на научном семинаре (протокол № 1 от 15.01.2021) лаборатории «Механика твердого тела» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук

Отзыв составил:

Доктор физ.-мат. наук,  
член-корреспондент РАН



Ильгамов М.А.