

Отзыв официального оппонента

Пшеничкиной Валерии Александровны на диссертационную работу Разова Игоря Олеговича на тему: «**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В ВИДЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ТОРОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ НАЗЕМНОМ, ЧАСТИЧНО ЗАГЛУБЛЕННОМ И ПОДЗЕМНОМ РАЗМЕЩЕНИИ**», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика

Актуальность работы Разова И.О. определяется необходимостью совершенствования методов расчета тонкостенных трубопроводов большого диаметра как оболочечных конструкций. Современные тенденции ресурсосбережения диктуют применение труб с отношением радиуса к толщине стенки, достигающим 20-50 и более, что делает некорректным их традиционное моделирование в виде стержня с недеформируемым контуром. В таких конструкциях спектр свободных колебаний формируется не только балочными, но и оболочечными формами, связанными со сплющиванием поперечного сечения и учетом внутреннего рабочего давления, которые не описываются стержневой теорией. Кроме того, трубопроводы функционируют в сложных инженерно-геологических условиях при различных схемах размещения: наземной (контакт по узкой полосе), частично заглубленной (полуподземной) и подземной (взаимодействие по всему контуру). Существующие исследования, как правило, ограничиваются частными постановками задач. Отсутствие единой методологии, позволяющей учитывать совместное влияние продольных сил, внутреннего и внешнего давления, температуры, демпфирования и присоединенных масс среды на динамические характеристики, сдерживает развитие методов расчета и снижает достоверность оценок надежности, что и определяет актуальность представленной работы.

Общая характеристика, структура и завершенность диссертационной работы.

Диссертационная работа представлена на 304 страницах, и состоит из введения, шести глав, заключения, приложений и списка литературы, включающего 320 наименований. Содержание работы полностью соответствует заявленной специальности 2.1.9. Строительная механика.

Во введении диссертации автор доказывает важность и своевременность (актуальность) изучения заявленной проблемы, опираясь на анализ существующих научных трудов. Сформулированы ключевые параметры научной работы: ее цель, задачи, объект и предмет. Во введении также описаны научная новизна полученных выводов, их значимость

для теории и практики, приведены основные положения, выдвигаемые на защиту. Кроме того, зафиксирован личный вклад автора в проведенное исследование.

Содержание *первой главы* составляет критический обзор литературы по теме диссертации. В ней рассмотрены теоретические и прикладные аспекты расчета динамических характеристик стержневых и оболочечных систем, проанализированы возможности аналитических, численных и экспериментальных методов. Также в главе приведена классификация и описание основных типов нагрузок, действующих на оболочки. Выводы, завершающие главу, фиксируют актуальность проблематики и обосновывают принятое автором направление исследований.

Вторая глава посвящена разработке методики определения динамических характеристик (частот и форм) свободных колебаний цилиндрической оболочки, взаимодействующей с упругой средой. Автором сформирована расчетная модель для трех сценариев размещения оболочки — на поверхности (наземный), частично заглубленный в грунте (полуподземный) и полностью заглубленной (подземный) — с описанием действующих нагрузок и температурных факторов. Модель ориентирована на прямолинейные участки трубопроводов с жидкой или газообразной средой. В основе расчетов лежат положения полубезмоментной теории оболочек с учетом геометрической нелинейности. Исследование проведено для стальных и полиэтиленовых труб, определен спектр собственных частот и форм колебаний, в том числе с учетом демпфирования и сил сопротивления со стороны грунта.

В *третьей главе* объектом исследования выступает замкнутая тороидальная оболочка, моделирующая работу криволинейного участка трубопровода. По аналогии со второй главой, здесь рассматриваются уравнения равновесия и записывается система дифференциальных уравнений в усилиях и перемещениях, но уже в тороидальной системе координат, что отражает геометрическую специфику объекта. Нагрузки и температурные факторы задаются аналогично случаю цилиндрической оболочки. Ключевым результатом главы являются аналитические решения, дающие возможность определить спектр частот свободных колебаний тороидальной оболочки в зависимости от волновых чисел m и n .

Четвертая глава посвящена разработке метода определения частот свободных колебаний двухслойной тороидальной оболочки. Теоретической базой исследования служит теория неоднородных изотропных оболочек, применяемая к расчету слоистых конструкций. Полученные аналитические решения позволяют вычислять спектр частот свободных колебаний для двух типов неоднородных оболочек: биметаллических (с двумя металлическими слоями) и стальных оболочек, имеющих защитное внешнее покрытие.

Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей, на основе которых выполнен анализ динамического поведения рассматриваемых конструкций.

В *пятой главе* рассматривается научная проблема динамической устойчивости оболочечных конструкций (цилиндрических и тороидальных) при нестационарных воздействиях. Предложенный автором метод расчета дает возможность оценить параметры динамической устойчивости путем построения диаграмм Айнса-Стретта. Расчеты проведены применительно к наземному, частично заглубленному и подземному расположению оболочек, что позволяет учесть влияние условий контакта с грунтом на возникновение параметрического резонанса.

Шестая глава посвящена верификации полученных в диссертационной работе результатов. В ней выполнено сравнение и сопоставление частных случаев разработанных аналитических решений с известными данными других исследователей. Сопоставительный анализ проведен по трем направлениям: результаты, полученные в рамках классических стержневой и оболочечной теорий, данные численного моделирования, а также экспериментальные материалы, представленные в научной литературе.

В *заключении* на основе полученных результатов сформулированы выводы о характере функционирования расчетных моделей в виде цилиндрических и тороидальных (однослойных и двухслойных) оболочек при различных схемах их размещения в упругой грунтовой среде с учетом заданных нагрузок и температурных воздействий. Выявлены особенности изменения частот и форм свободных колебаний, а также закономерности статической и динамической устойчивости при варьировании параметров нагружения.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

Сформированы расчетные модели трубопровода в виде цилиндрической и тороидальной (однослойной и двухслойной) оболочки подверженной таким внешним нагрузкам как влияние внутреннего и внешнего давления, демпфирующих свойств окружающей среды, скорости потока транспортируемой жидкости, присоединенной массы, продольной сжимающей силы, температурного воздействия, сил инерции, а также упругого отпора окружающей среды на внешнюю стенку оболочки;

На основании геометрически нелинейной теории цилиндрических и тороидальных однородных и неоднородных оболочек среднего изгиба разработан аналитический метод определения частот и форм свободных колебаний прямолинейных и криволинейных участков трубопроводов большого диаметра с потоком жидкости и газа, подверженных комбинированному влиянию заданных нагрузок и температурного воздействия для наземного, частично заглубленного и подземного размещения;

Разработан аналитический метод оценки статической устойчивости тонкостенных трубопроводов большого диаметра на основе критерия динамической устойчивости, позволяющий определять критические значения параметра продольной сжимающей силы и внешнего давления с учётом деформации поперечного сечения и взаимодействия с упругой средой;

Определены критерии выбора расчетных моделей трубопровода при определении частот свободных колебаний в виде безразмерных параметров L^* и R^* , в зависимости от геометрических размеров, параметров внешней нагрузки и условий эксплуатации;

Установлены общие принципы учета влияния геометрических параметров и параметров нагрузки на частотный спектр колебаний цилиндрических и тороидальных оболочек в зависимости типа размещения в упругой среде (наземный, полуподземный, подземный);

Разработан аналитический метод оценки динамической устойчивости тонкостенных цилиндрических и тороидальных (однослойных и двухслойных) оболочек при различных схемах прокладки, основанный на применении уравнений Матье и построении модифицированных диаграмм Айнса–Стретта. В рамках метода установлены общие принципы учета влияния геометрических параметров, нагрузок и температурного воздействия на формирование и расположение областей динамической неустойчивости, что позволяет прогнозировать возникновение параметрического резонанса и обосновывать безопасные режимы эксплуатации трубопроводов большого диаметра.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается использованием апробированных методов строительной механики и вычислительной математики, а также сопоставлением расчетных данных с известными решениями других авторов, полученными в рамках стержневой и оболочечной теорий. Корректность разработанных подходов подтверждена сравнением частных случаев с результатами численного моделирования в программном комплексе ANSYS. Все аналитические преобразования и вычисления выполнены с применением лицензионного пакета MathCAD 15.

Обоснованность научных положений и выводов диссертации обеспечивается глубоким анализом предметной области, теоретической и практической постановкой задач, а также оригинальными теоретическими разработками автора. Достоверность полученных результатов подтверждается графическим и табличным материалом, демонстрирующим характер изменения исследуемых величин в зависимости от параметров нагружения. Разработанные рекомендации аргументированы и согласуются с выводами работы.

Теоретическая значимость диссертации обусловлена развитием научных основ динамического расчета тонкостенных трубопроводов на базе геометрически нелинейной полубезмоментной теории оболочек и теории потенциального течения жидкости. В работе обоснована возможность представления трубопровода большого диаметра в виде цилиндрической или тороидальной оболочки с учетом эксплуатационных нагрузок, температурных воздействий и условий взаимодействия с грунтом (наземная, частично заглубленная и подземная прокладка). Реализованный подход позволил получить аналитические зависимости для определения частот свободных колебаний и разработать метод оценки динамической устойчивости рассматриваемого класса конструкций.

Практическая значимость работы состоит в разработке методического аппарата, позволяющего выполнять динамический расчет тонкостенных трубопроводов большого диаметра с учетом их взаимодействия с грунтовой средой. Предложенные аналитические методы дают возможность с высокой точностью определять спектр частот свободных колебаний и границы динамической устойчивости, что важно для отстройки системы от резонанса при изменении производительности перекачивающих станций. Кроме того, предложены критерии (L^* и R^*), которые служат практическим руководством для инженера при выборе между стержневой и оболочечной расчетными моделями в зависимости от геометрических параметров объекта.

Замечания по работе.

Автором разработаны аналитические методы определения частот и форм свободных колебаний однослойных тонкостенных трубопроводов большого диаметра в виде цилиндрических и тороидальных оболочек конечной длины, подверженных комбинированному воздействию заданных нагрузок, для наземного, частично заглубленного и подземного размещения. При этом для всех поставленных задач принят шарнирный тип закрепления по концам оболочки. При отличных реальных условиях опирания численные значения частот и характер мод могут заметно изменяться, особенно при частично заглублённом и подземном размещении.

В разделе 2.4 автор исследует зависимость частот свободных колебаний наземной цилиндрической оболочки от угловой длины сектора вдавливания и коэффициента упругого отпора k_s . Был ли в расчетах учтен эффект присоединённой массы грунта, влияние которой может быть существенным при $k_s < 4$ МПа/м?

На стр. 81–82 в разделе «Критерий применимости теории цилиндрических оболочек» одна и та же величина — параметр длины трубы — в разных местах обозначена и заглавной и строчной буквой.

На стр. 28 автореферата автор указывает: “Расчетная схема двуслойной оболочки приведена на рис.5”. Однако рис. 5 содержит поперечное сечение оболочки и не является расчетной схемой.

В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки:

Стр.86. «Данные графики построены для сектора вдавливания от $-\pi/4$ до $\pi/4$, что равно общей угловой длине в 45° ». Общая угловая длина составляет 90° .

Стр.17 автореферата. Знаменатель формулы присоединенной массы грунта равен 2, а не π .

Указанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы. Исследование выполнено на хорошем научном уровне, изложение материала отличается стройностью и логикой, работа оформлена в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК.

Диссертационная работа Разова Игоря Олеговича «Аналитические методы динамического расчета тонкостенных трубопроводов большого диаметра в виде цилиндрических и тороидальных оболочек при наземном, частично заглубленном и подземном размещении» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые методы расчета колебаний и динамической устойчивости замкнутых цилиндрических и тороидальных (однослойных и двухслойных) оболочек в упругой грунтовой среде, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Публикации и автореферат полно отражают основные положения диссертации.


Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности ВАК Строительная механика, п.2 – «Линейная и нелинейная механика конструкций, зданий и сооружений, разработка физико-математических моделей их расчета»; п.3 – «Аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях»; п.12 – «Исследование и моделирование нагрузок и воздействий на здания и сооружения».

По результатам научных исследований опубликована 41 научная работа, из них: 19 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 – в научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus и Web of Science, имеется одна монография.

Диссертационная работа отвечает критериям пп. 9-11, 13-14, Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г. (с изм. от 16.10.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Разов Игорь Олегович заслуживает присуждению ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры строительных
конструкций, оснований и надежности
сооружений ИАИС ВолгГТУ.


Валерия Александровна
Пшеничкина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»,
Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1.

Дата формирования отзыва: 06.05.2026

Адрес: 400074, г.Волгоград, ул.Академическая,1
E-mail: vap_hm@list.ru
Тел.: (8442) 96-98-30

Я, Валерия Александровна Пшеничкина, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку


Валерия Александровна Пшеничкина

Подпись В.А. Пшеничкиной заверяю:

Заместитель директора по научной работе ИАиС ВолгГТУ

к.т.н., доцент



Ю.Ю. Юрьев