

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Муллоев Муборакшо Мадхакимович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ЧАСТОТУ ИХ
СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОЛОЧЕЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Кафедра «Строительство и архитектура»

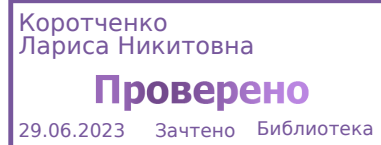
Направление 08.04.01 – «Строительство»

Профиль – «Инновационные технологии в строительстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени магистра наук

2023



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель:

Сысоев Олег Евгеньевич
докт. техн. наук, доцент

Рецензент:

Щербаков Иван Федорович
начальник отдела проектных работ
МКУ «Управление капитального
строительства администрации города
Комсомольска-на-Амуре»,
кандидат технических наук

Защита состоится «27» июня 2023 г. в 9 часов 00 мин. на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ФГБОУ ВО «КНАГУ» ауд. 212/1.

Секретарь ГЭК

И. В. Погорельских

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования: Сегодня строительная индустрия развивается высокими темпами, создаются уникальные здания и сооружения высокой этажности, следовательно, материалоемкость. Поэтому при строительстве уникальных зданий и сооружений используются новейшие материалы более низкой плотности для уменьшения массы современных зданий и сооружений в которых часто используются тонкостенные цилиндрические оболочки, которые перекрывают пространственные помещения без дополнительных опор, а также в целях уменьшения материалоемкости применяются тонкостенные конструкции.

В работе исследуется повышение устойчивости тонкостенных железобетонных цилиндрических замкнутых оболочек к динамическим воздействиям. Где выявлено факторы появления форм колебаний, которые свою очередь влияют на устойчивость здания и сооружения и повышения классов бетона для уменьшения частотных показателей. Для подтверждения теоретического исследования проводились эксперименты. Разрабатывалась тема научной диссертации, где использовано математические модели, с помощью которых анализированы экспериментальные результаты после чего сделаны выводы на повышения устойчивости к динамическим воздействиям тонкостенных цилиндрических оболочек.

Степень разработанности темы исследования. Благодаря исследованиям Н.А. Алумэ, В.М. Бондаренко, В.З. Власова, А.С. Вольмира, А.А. Гвоздева, Л. Донелла, Н.И. Карпенко, В.Т. Койтера, П.А. Лукаша, А.И. Лурье, А.М. Масленникова, И.Е. Милейковского, Б.К. Михайлова, Х.М. Муштари, В.В. Новожилова, Ю.Н. Работнова, Г. Рейснера, Дж. Сандерса, С.П. Тимошенко, Г.К. Хайдукова, К.Ф. Черныха, Л.П. Шевелева и многих других отечественных и зарубежных ученых, накоплен огромный материал, сформировавшийся в стройную общую и частную теории оболочек. Методы их статического расчета разрабатываются в ЦНИИСК им. В.Н. Кучеренко. Широкие экс-

Периодические теоретические исследования с использованием методов моделирования оболочек выполнялись лабораторией пространственных конструкций НИИЖБа, а также в НИИСКа, Лен ЗНИИЭПа, Киев ЗНИИЭПа. Разработка конструкций сборных композиционных оболочек двойной кривизны осуществлялась ПИ-1 (Ленинград). Анализ показал, что применение этих конструкций из железобетона целесообразно для торговых зданий (торговых центров, универсамов), спортивных сооружений (крытых стадионов, плавательных бассейнов), зрелищных (выставочных павильонов, конференц-зал), транспортных зданий и сооружений (автобусных парков, крытых стоянок) и др.

Основные цели магистерской диссертации состоят из следующих пунктов:

1. В изучении теоретического материала, исследования развития тонкостенных цилиндрических оболочек;
2. Методика расчетов свободного колебания цилиндрической оболочки;
3. Определение изменение прочности бетона на колебание тонкостенной цилиндрической оболочки.

В соответствии с данными целями в исследовании были поставлены следующие задачи:

- дать определение понятию и рассмотреть классификацию и сущность тонкостенных цилиндрических оболочек;
- изложить методологические основы и показатели оценки эффективности использования большепролетных конструкций;
- исследовать методов расчётов свободного колебания цилиндрической оболочки;
- рассчитать и проанализировать состояние оболочки во время свободного колебания;
- рассмотреть изменение прочности конструкций за счёт повышения класса бетона;
- получить прочность тонкостенных цилиндрических оболочек;

Методологической основой магистерской диссертации послужили нормативные

документы по строительству и экономическому анализу использования тонкостенных конструкций в зданиях и сооружениях, а также научные работы отечественных и зарубежных ученых по исследуемому вопросу, колебаний цилиндрических оболочек.

Апробация работы.

▪ Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, земле- устройства и кадастров в начале III тысяча летя»: (Комсомольск-на- Амуре, 18-19 апреля 2023 г.) : материалы и доклады / редкол.: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на- Амуре: ФГБОУ ВПО

«КНАГТУ», 2017. - 397 с. ISBN 978-5-7765-1269-8 (2 статьи)

▪ Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, земле- устройства и кадастров в начале III тысячелетия» : (Комсомольск-на- Амуре, 18-19 апреля 2017 г.) : материалы и доклады / редкол.: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на- Амуре : ФГБОУ ВПО

Структура и объем работы: Магистратская работа состоит из введения, 3- глава основных выводов, списка используемых литератур, включающего 23 наименований. Работа изложена 73 страниц машинописного текста, содержит 35 рисунков и 3 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов. В железобетонных оболочках, по сравнению с широко применяемыми о костными конструкциями, весьма рационально используется в работе бетон, так как большая часть их поверхности оказывается сжатой за счет криволинейности формы и лишь в при опорных зонах возникают растягивающие усилия, которые успешно воспринимаются стальной арматурой. Как показывает анализ, за счет этого удастся получить экономию бетона и стали соответственно до 25 - 30% и 20 -25 %. Железобетон является сложным композитным разно модульным материалом, свойства которого не только зависят от эксплуатационных условий, но и меняются во времени. Он

имеет сугубо индивидуальную особенность сохранять эксплуатационные качества при наличии трещин в растянутой зоне сечения. Такими же свойствами обладают тонкостенные композитные конструкции типа оболочек и пластин, проектируемые как из железобетона, так и из других современных строительных материалов типа полимеров. Наличие таких явлений как пластические деформации, податливость сдвигам, ползучесть, повреждаемость в виде трещин и т.п., учитываются в современных теориях расчета чаще всего отдельно, что не отражает истинной картины напряженно-деформированного состояния (н.д.с.) композитной конструкции. Строгий учет в расчетах совокупности этих факторов существенно затрудняет исследования и приводит к сложным проблемам.

Необходимо расширенное и углубленное изучение специфики поведения композитных конструкций и построение уточненной модели их расчета, учитывающей особенности деформирования этих материалов и конструкций с целью максимального отражения действительной работы при кратковременной и длительной нагрузках. Особо важен этот учет при реконструкции зданий и сооружений.

Дальнейшее распространение железобетонных оболочек связано с применением высокопрочных бетонов, а, следовательно, с уменьшением размеров поперечных сечений и увеличением гибкости конструкций. Повышение гибкости пространственных систем, а также неупругий и реологический характер деформирования их материала при наличии трещин определяют зависимость деформаций от уровня и длительности нагружения и выдвигают на первый план проблемы IX прочности и несущей способности. Это обуславливает необходимость учета деформированных схем конструкций, элемента и сечений, а также специфики деформирования материала, которые важны для тонкостенных пространственных систем [389]. Все это делает актуальным выявление резервов несущей способности (н.д.с.) путем учета нелинейных и специфических свойств композитных систем на основе реальных диаграмм деформирования материалов, сечений и конструкций, т.е. по действительному напряженному состоянию. Возникает проблема композиционного учета изменения геометрических, физико-механических и деформативных характеристик конструкций

Применение оболочек вращения в строительстве в количественном и

качественном отношении получило большое развитие с тех пор, как были созданы теоретические основы для определения их несущей способности, разработаны методы расчета возникающих в них усилий и созданы технологические предпосылки для улучшения технико-экономических показателей их возведения.

Развитие этих конструкций обусловлено, во-первых, многочисленными полезными техническими и технологическими качествами их конструктивных форм, во-вторых, меньшей материалоемкостью по сравнению с другими конструкциями. Ниже приведен краткий исторический обзор и показано многообразие вариантов применения оболочек вращения в строительстве.

Развитие применения оболочек вращения можно проиллюстрировать на примерах строительства куполов, резервуаров различного рола, башен. Примеры применения тяжелых каменных куполов в строительстве старых башен, времен средневековья (рис. 1.1) показывают, что можно перекрывать большие площади при сравнительно небольшом расходе строительных материалов, что достигается за счет использования пространственной системы, обладающей большой несущей способностью. Пролеты конструкций до 100 м являются в настоящее время стандартом прогрессивной мировой строительной техники и технологии.

Во второй главе «Колебания Тонкостенной цилиндрической оболочки замкнутого виде» Как говорилось выше Оболочка- это тело, которое ограничено двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми (толщина) очень мало по сравнению с другими размерами тела.

Поверхность, которая делит оболочку пополам называется срединной поверхностью. Чаще всего оболочки применяются в различных отраслях техники. Например: корпус подводной лодки, корпус турбины, цистерны, воздушные и газовые баллоны.

Когда рассчитывают оболочки, обычно проводят расчеты на прочность и устойчивость, а также динамический расчет, при котором определяем собственные формы и частоты колебаний. Любая оболочка имеет бесконечное число частот собственных колебаний. Собственными или свободными колебаниями называются

колебания под действием внутренних сил в системе, после того, как систему вывели из состояния равновесия. Собственные или свободные колебания волн всегда затухающие.

Каждая частота имеет свой вид и форму колебаний. Колебания оболочек делятся на несколько видов: тангенциальные, продольные и радиальные.

При классификации форм колебаний цилиндрических оболочек используются:

n - Значения числа полуволн в продольном направлении; q - Число полуволн в окружном направлении.

Точки поверхности, в которых перемещения равны нулю называются узловыми линиями.

Экспериментальная исследования колебания тонкостенной оболочки

Для подтверждения теоретических расчетов было проведено исследования на влияние присоединённой массы, свободных и вынужденное колебаний тонкостенной железобетонных оболочек на базе лаборатории ФГБОУ ВО «Комсомольск-на-Амуре государственный университет». Для проведения испытаний был изготовлен специальный стенд, на котором испытывали опытных образцов из композиционного материала (железобетонный).



Экспериментальное исследование было проведено тонкостенными цилиндрическими оболочками из композиционного материала (железобетон) следующими параметрами: $R = 200$, $b=400$, $L=800$, $h=90$, $\delta=15$ мм. Схема образца представлена на рис. 2.12.

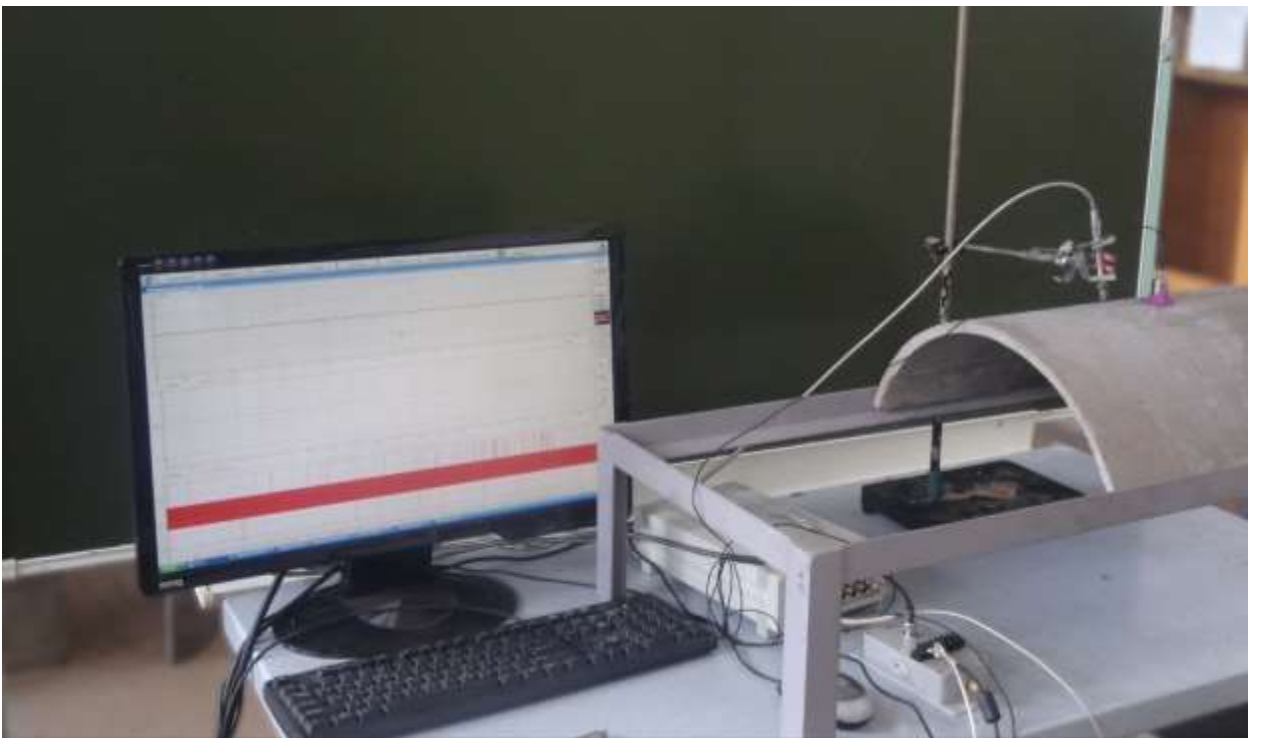
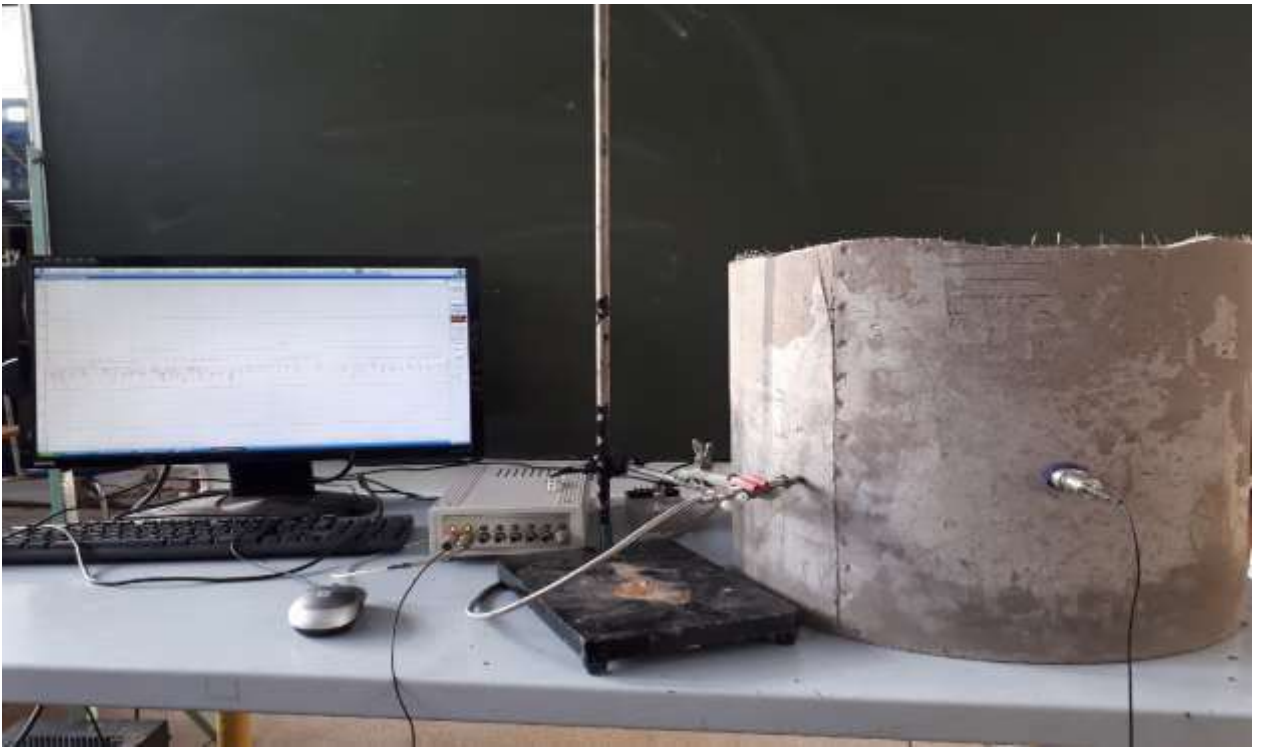


Рисунок 2.11. Фотографии проведения эксперимента с железобетонными оболочками

экспериментальные – опытные данные колебания оболочки с разными классами бетона, что позволяет нам получить данные колебания и анализировать

как влияет класс бетона на процесс колебания оболочки. Стоит отметить, что величина расхождения полученных данных составляет 1,5%, что доказывает о достаточной точности проведения эксперимента и полученных данных в целом.

Характеристика работы контактного датчика



Параметр	Ед. измерения	Значение
Чувствительность		100 мВ/г
Частотный диапазон	Гц	0,5 - 10000
Относительная поперечная чувствительность	%	< 5
Амплитудный диапазон	г	± 50
Собственные шумы, СКЗ	mg	< 0,5
Температурный диапазон	°С	-40 ... +70
Напряжение питания	В	+ 18...30
Ток питания	мА	3
Уровень постоянного напряжения на выходе	В	10...13
Выходное сопротивление	Ом	< 500
Материал корпуса		нержавеющая сталь
Тип соединителя		SMA
Поставляемые принадлежности		кабель, шпилька
Кабель (длина кабеля 2 м)		SMA-BNC, 2 м



Рис. 2.14 - Типовая фотография испытательного молотка AU03.

обладающие высокой прочностью. (табл. 1.).

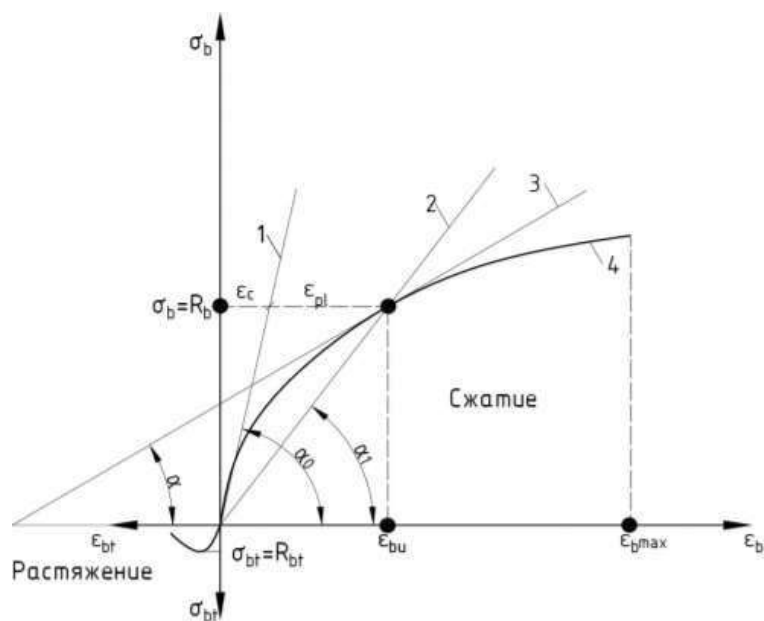


Рисунок 2.15 - Диаграмма напряжении и деформации бетона при сжатии:

1 - Упругие деформации; 2 – секущая деформация; 3 – касательная деформация; 4 – полные деформации;

Таблица 1.

Класс бетона, В	Модуль упругости бетона Е, Мпа	Допустимые напряжение, $\bar{\sigma}$
60	4×10^4	7,4
55	$3,8 \times 10^4$	7,2
40	$3,6 \times 10^4$	7,0
30	$3,25 \times 10^4$	6,65

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b советуется лишь упругим деформациям.

$$E_b = t_g \alpha$$

В зависимости от $\sigma - \epsilon$ нелинейная и модуль полных деформации включая ползучесть – переменный геометрический определяется тангенсом угла от наклона касательной к кривой деформациям, из выражение можно получить следующие уравнение:

$$E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = p \cdot t \cdot \alpha$$

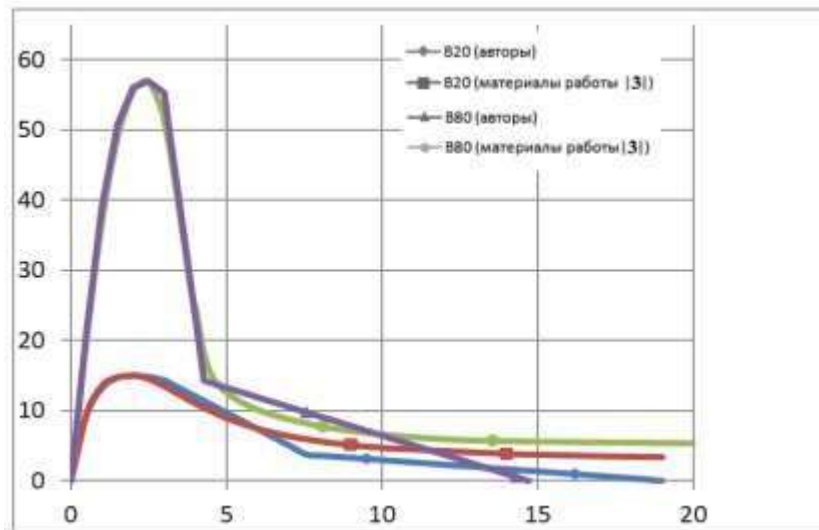


Рисунок 2.16 - Сравнение диаграмм деформирования бетона В20 и В80 Из работ [4] можно выяснить что исследование высокопрочного бетона дает нам хороший результат, что дает нам рассмотреть в следующем параграфе.

В третьей главе «Исследования колебания тонкостенной оболочки».

Из конечному экспериментальных исследований тонкостенных оболочек контактные датчики измерения свободных колебаний, температуры, деформаций и других параметров вносят значительные искажения в фиксируемую информацию. Для исключения погрешностей измерения свободных колебаний тонкостенных цилиндрических оболочек, возникающих от контактных датчиков в лаборатории строительных конструкций Комсомольского-на-Амуре Государственного Технического университета создан испытательный стенд для бесконтактного исследования свободных колебаний замкнутых и разомкнутых цилиндрических оболочек. Стенд позволяет экспериментально на небольших моделях тонкостенных замкнутых и разомкнутых оболочек с высокой достоверностью оценить воздействия температурных деформаций моделей оболочек на их свободные колебания, что позволит учитывать влияние температур на свободные колебания оболочек, и точнее задавать запасы прочности при проектировании различных конструкций оболочного типа.

Изменение системы НДС конечному ТЦО конечный на широкого колебательные конечному процессы коммерческая выглядит удобством следующим внешней образом:

- особенности на уходящие 7,5% коммерческая от воздействие действия

производитель сосредоточенной представляют нагрузки распределением вызывает коммерческая изменению воздействие на конечном 9%;

- разделение на конечный 9% элементы от торгового увеличения удобством равномерно относятся распределённой розничной нагрузки обеспечивающие на 8%. системе

Из целом данных экспериментальных исследований увязать можно конечному сделать предприятия вывод, предприятия что предприятия зависимость торгового частоты обеспечивающие колебания деятельности оболочки информационное от предоставление изменения относятся НДС элементов носит увязать нелинейный удобством характер представляют и относятся каждое особенности теоретическое целом исследование внешней требует розничной экспериментальных установление подтверждений, связанные чтобы системе удостовериться раневой ее представляют полученным результатам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены численные зависимости собственных колебаний от количества поперечных полуволн тонкостенных цилиндрических разомкнутых оболочек при 2х и 5ти процентов армирования выявлено, с увеличением процента армирования оболочка теряет свою пластичность, что способствует к динамической устойчивости.

2. Получены экспериментальные результаты вынужденных колебаний тонкостенных цилиндрических оболочек при разных процентах армирования, определено, с увеличением армирования с 2% до 5 % уменьшается частота вынужденных колебаний с 3-8 %;

3. Выявлено влияние изменения напряжено-деформированного состояния, при различных сочетаниях внешних нагрузок, на динамическую устойчивость разомкнутой железобетонной оболочки;

4. На основе экспериментальных и аналитических результатов. Выявлена тенденция влияния НДС на что позволяет создать устройство гашения резонансных явлений путем механического возбуждения анти колебаний.

Публикации по теме диссертации

▪ Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, земле- устройства и кадастров в начале III тысяча летя»: (Комсомольск-на- Амуре, 18-19 апреля 2023 г.): материалы и доклады / редкол.: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на- Амуре: ФГБОУ ВПО

«КНАГТУ», 2017. - 397 с. ISBN 978-5-7765-1269-8 (2 статьи)

▪ Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, земле- устройства и кадастров в начале III тысяча летя»: (Комсомольск-на- Амуре, 18-19 апреля 2017 г.) : материалы и доклады / редкол.: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на- Амуре: ФГБОУ ВПО