

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образо-
вательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-амуре государственный универ-
ситет»

На правах рукописи

Валиев Фотех Хайриддинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА НА
ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
ОБОЛОЧКИ

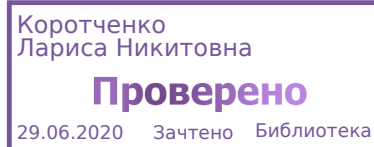
Кафедра «Строительство и архитектура»

Направление 08.04.01 – «Строительство»

Профиль – «Инновационные технологии в строительстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени магистра наук



Работа выполнена на кафедре «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Рецензент: заместитель руководителя департамента экономического развития администрации города, кандидат экономических наук

Гутник Е. А.

Защита состоится «___» июня 2020 г. в часов на заседании государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ФГБОУ ВО «КНАГУ»

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Строительство и архитектура» КНАГУ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: 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 повышение 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-

периментально-теоретические исследования с использованием методов моделирования оболочек выполнялись лабораторией пространственных конструкций НИИЖБа, а также в НИИСКА, ЛенЗНИИЭПа, КиевЗНИИЭПа. Разработка конструкций сборных композиционных оболочек двоякой 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, землеустройства 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 «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, землеустройства 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:** Магстресткая работа состоит из введения, 6-х глав основных выводов, списка используемых литератур, включающего 23 наименований. Работа изложена 66 страниц машинописного текста, содержит 35 рисунков и 3 таблиц.

Г

Т

У

»

,

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

п

е

р

в

о

й

Г В железобетонных оболочках, по сравнению с широко применяемыми
Л Плоскостными конструкциями, весьма рационально используется в работе бе-
а тон, так как большая часть их поверхности оказывается сжатой за счет криво-
В линейности формы и лишь в при опорных зонах возникают растягивающие
е усилия, которые успешно воспринимаются стальной арматурой. Как показы-
вает анализ, за счет этого удастся получить экономию бетона и стали соответ-
ственно до 25 - 30% и 20 -25 %.

С

о Железобетон является сложным композитным разномодульным материа-
лом, свойства которого не только зависят от эксплуатационных условий, но и
с меняются во времени [89, 320, 371]. Он имеет сугубо индивидуальную особен-
Т ность сохранять эксплуатационные качества при наличии трещин в растянутой
О зоне сечения [159, 320]. Такими же свойствами обладают тонкостенные ком-
я позитные конструкции типа оболочек и пластин, проектируемые как из желе-
Н зобетона, так и из других современных строительных материалов типа поли-
И меров. Наличие таких явлений как пластические деформации, податливость
е

и

с

с

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. Особенно 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.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.

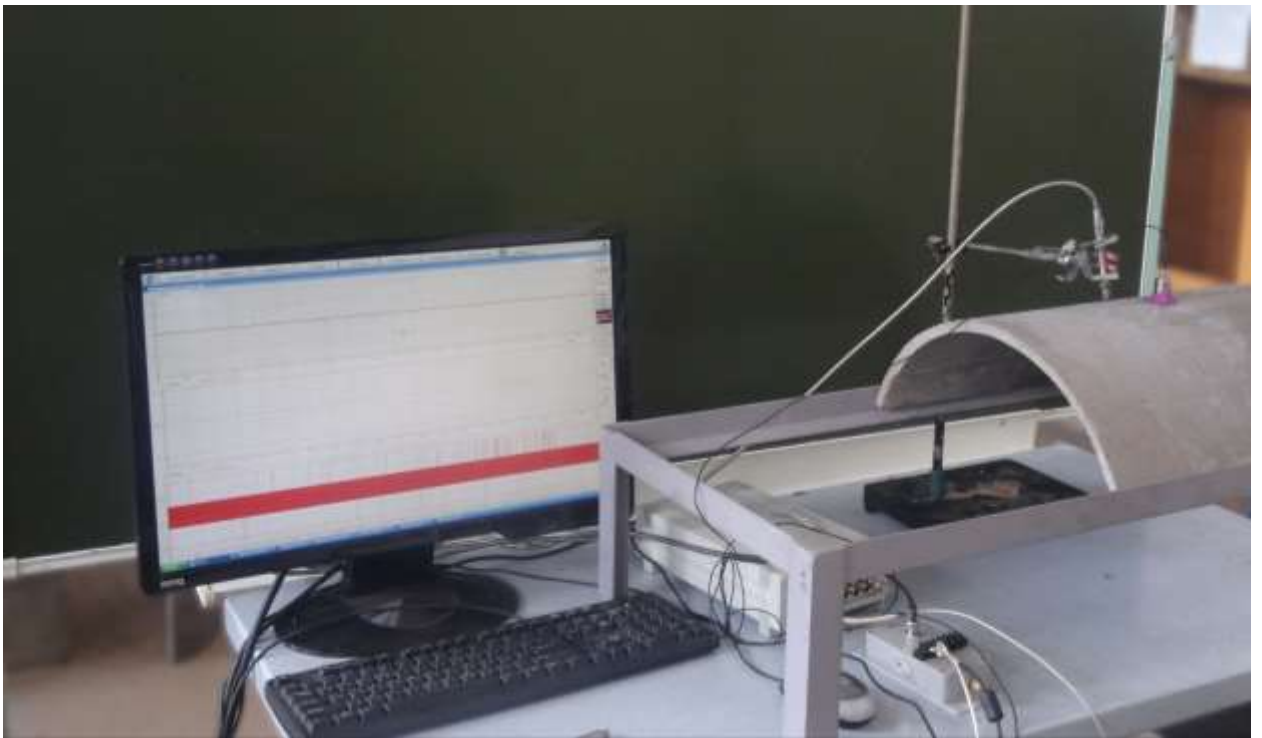
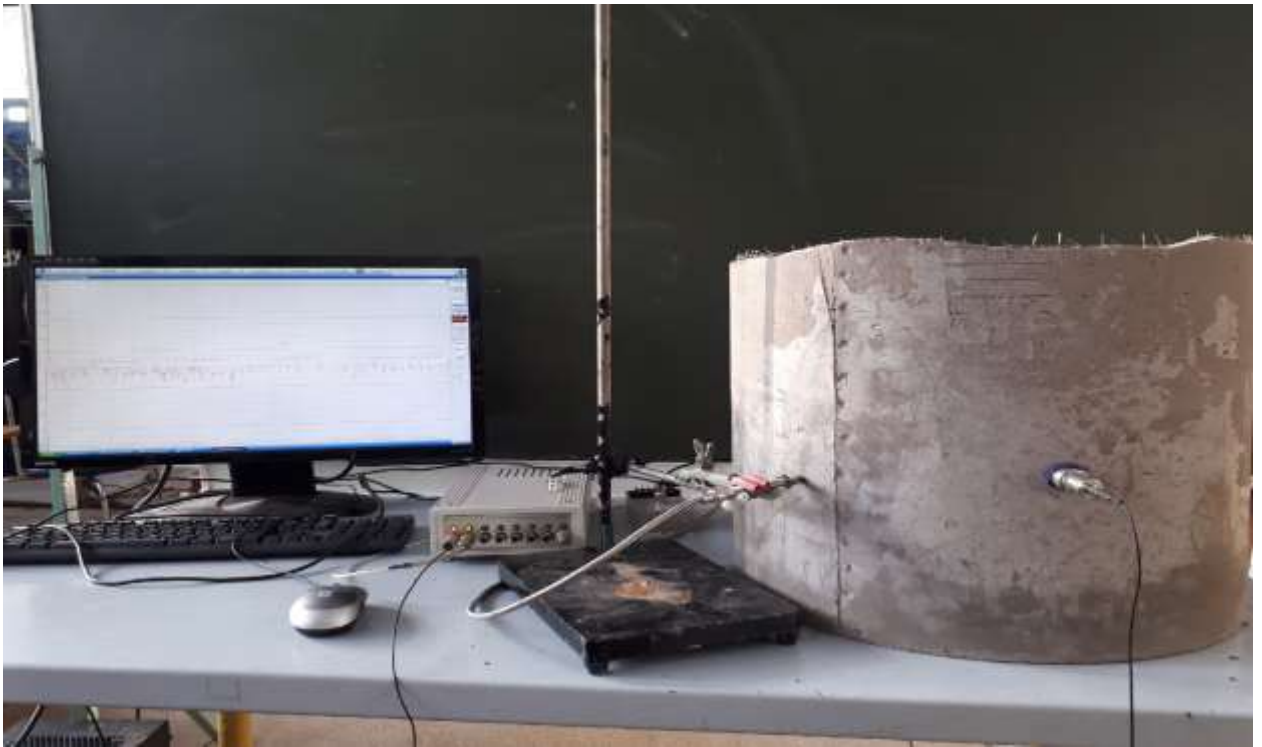


Рисунок 2.11. Фотографии проведения эксперимента с железобетонными оболочками

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	g	± 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.).

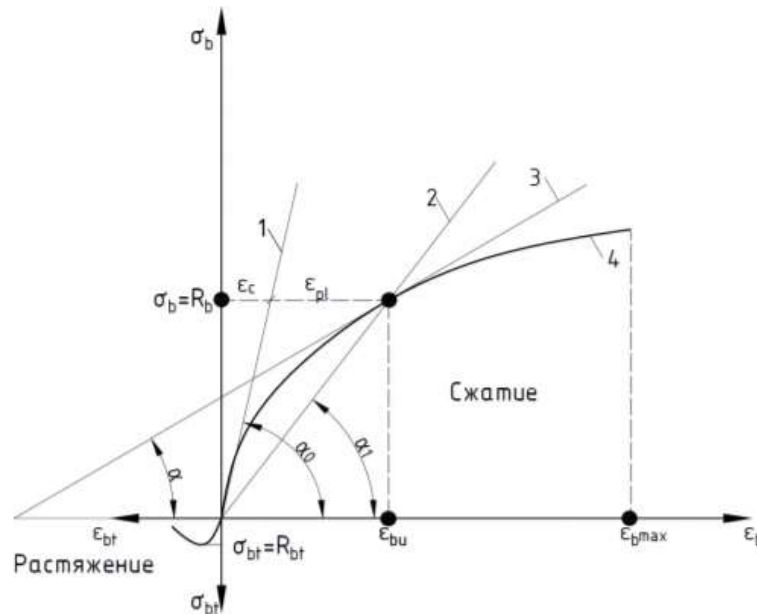


Рисунок 2.15 - Диаграмма напряжения и деформации бетона при сжатии:

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

Таблица 1.

Класс бетона, В	Модуль упругости бетона E, 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:

$$E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = p \cdot t_g \alpha$$

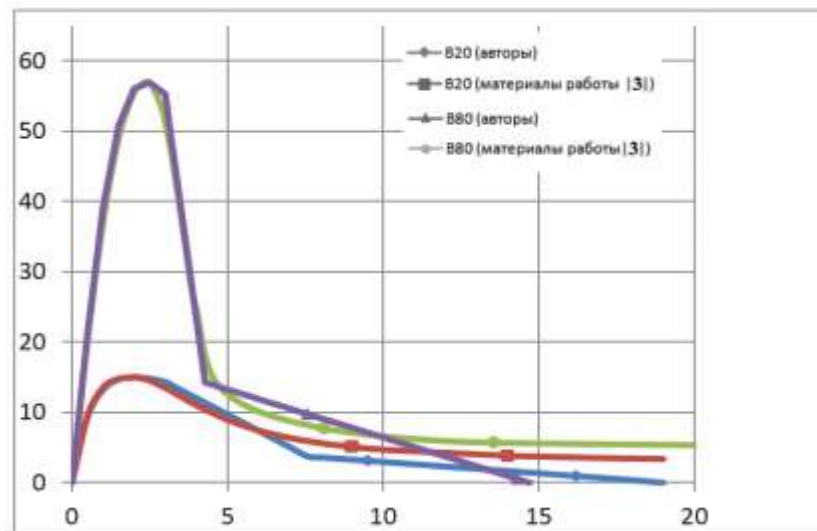


Рисунок 2.16 - Сравнение диаграмм деформирования бетона B20 и B80

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».

Цилиндрическая оболочка замкнутой или разомкнутой формы используется не только в строительстве, но и в ряд других сферах, таких как, самолёта и вертолётостроения, космонавтики и др. В этой главе буду рассматривать колебание цилиндрической оболочки и потери устойчивости от статических нагруженный в программе LIRA – Sapr 2013, что дает нам анализировать модель виртуальном 3d пространстве и определить внутренние силы и изгибные эпюры цилиндрической оболочки. Данный подход может исключить повреждение конструкции и обеспечить долговечность, который повлияет на эксплуатацию здания или сооружения. Колебание происходит за счет неучтённых инженером факторов, что может привести к аварии здания или сооружения. [1]

Некоторые здания и сооружения имеют форму оболочного типа или в качестве покрытия используется форма разомкнутой оболочки, для этого нужно исследовать напряженное деформированное состояние разомкнутых тонкостенных железобетонных оболочек, т.е. статических неопределимых задач необходимо подобрать данные об каждом отдельном элементе конструкции зданий и сооружений, которые

при воздействии статистических и динамических нагрузок были устойчивыми или же наоборот.

Цилиндрические оболочки разомкнутой или же замкнутой формы, широко используется в строительстве формы и их напряжено – деформированное состояние, тонкостенных оболочек в следствие вынужденного колебания дает изучать теорию нелинейных задач и их деформирования.

В примере рассматривается цилиндрическая железобетонная оболочка замкнутой формы, которая была создана в семействе расчетной программы Lira – Sapr. Рисунок 1. вследствие чего определяется углы кручение, т.е. поворота с прогибом, который значительно превышает значение производных $\partial u^z / \partial x, \partial u^z / \partial y$, относящимся к деформациям, также будем полагать, что квадратные производные $(\partial w^z / \partial x)^2$ одного порядка с составляющими $\partial u^z / \partial x, \partial v^z / \partial y$. В результате получим следующие зависимости [1]:

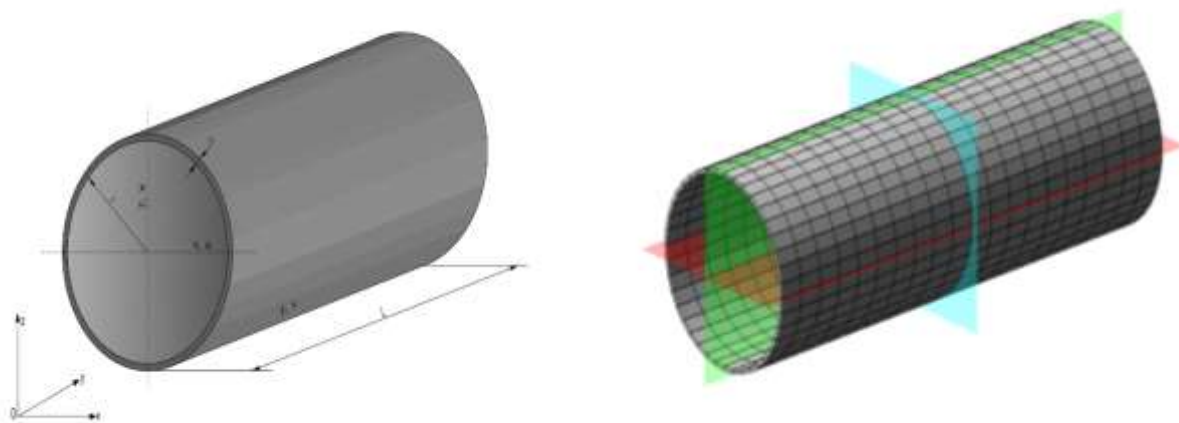


Рисунок – 3.1. Геометрия цилиндрической оболочки замкнутой формы и система координат

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R}; \\ \gamma &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}.\end{aligned}\tag{3.1}$$

На основе соотношений (1) получим следующее уравнение совместности или неразрывности деформации в средней части поверхности оболочки:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x \partial y} = -\frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad (3.2)$$

Будем рассматривать напряженное состояние оболочек в пределах нашего образца и допущенных уравнений, как результат трех взаимодействующих состояний. Первое напряженно - деформированное состояние (НДС) – это мембранные или цепные напряжения, которые происходят в средней поверхности оболочек. Второе НДС – нормальные и касательные напряжения по изгибу, отвечающие за изменение вдоль толщины конструкции по линейному закону, в котором напряжение изгиба равно нулю, которые совпадают со средним, т.е. с первым НДС. Третье состояние отвечает за поперечным – касательным напряжениям.

Будем считать, что соотношения связывающие усилия и момент с деформациями при колебаниях лежат в пределах упругого состояния, т.е., выполняется закон Гука, что дает погонным, нормальным значениям N_1 , N_2 и касательное T усилия связанные с уравнениями деформации в средней части поверхности в зависимости:

$$N_1 = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \quad N_2 = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1); \quad T = Gh\gamma = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \gamma \quad (3.3)$$

где E – модуль Юнга; G – модуль сдвига; μ – коэффициент Пуассона.

С учетом представленных зависимостей деформаций перемещений и напряжений запишем связь между усилиями, действующими в срединном слое оболочки и перемещениями:

В качестве примера были рассмотрены тонкостенные железобетонные разомкнутые оболочки, длиной $l = 4\text{ м.}$ и радиусом $R = 2\text{ м.}$, с такими же исходными данными был сделан расчёт в программном обеспечении семейства Лира – САПР. Цель данного решения в том, что в итоге сравнить результаты аналитического и

компьютерного расчёта чтобы определить погрешность. В первом случае был испытан ТЦО оболочка из бетона марки В20 модулем упругости (Юнга) $E = 2.75 \times 10^4$ МПа, плотностью $\rho = 2100 \text{ кг/м}^3$, толщиной $\delta = 12 \text{ см.}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.2$.

Таблица 1.


Кол-во волн, n	Частота колебаний, ω , Гц	Частота колебаний, Лира, Гц	Относительная погрешность, %
3	95,48	86,37	9,54
5	225,11	216,99	3,61
6	425,5	417,86	1,6

Были определены частоты колебания методом конечных элементов (МКЭ) в ПО семействе Лира – САПР исследуемая оболочка была разбита на элементы 50 по длине и 25 по ширине. Результаты расчётов приведены по таблице 1 и по результатам выявлено погрешность от 9,54 до 1,6 %.

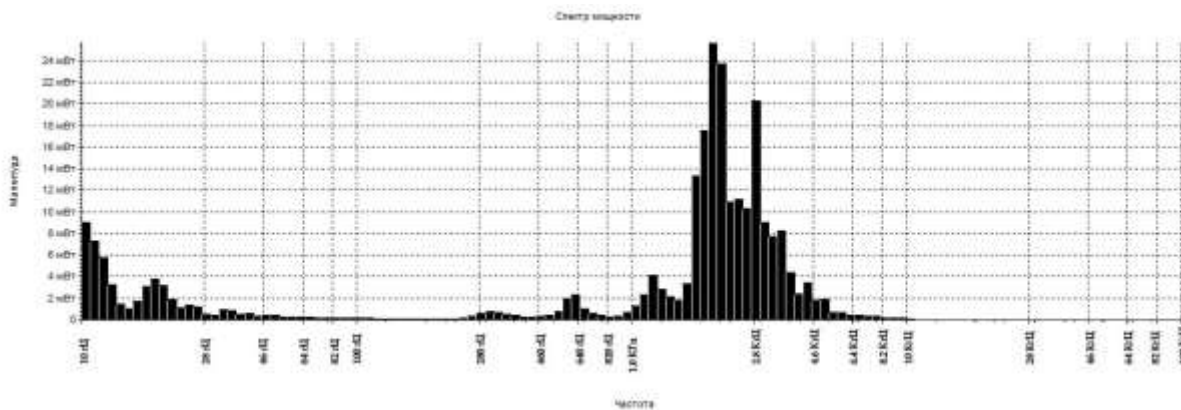
Данные исследование проводится в целях определения физико – механических свойств материала на деформационные и колебательные процессы ТЦО, из – за преимуществ данной и сложившейся ситуации, т.е. строительства уникальных зданий, оболочные формы конструкции используется все чаще. Поэтому исследования ТЦО является актуальным вопросом на сегодняшний день, т.к. исследуя характер данной конструкции мы обеспечиваем надежность и устойчивость чтобы во время эксплуатации небыли аварийных случаев, к несчастью таких случаев было не мало.

При увеличении повышения класса бетона можно проанализировать как уменьшиться частотные показатели колебательного процесса, которые были определены с помощью уравнения (3.18) и МКЭ в ПО Лира - САПР, соответственно. В этом примере толщина оболочки и другие параметры были взяты такими же, как в задаче 1, но разными модулями упругости. Результаты которых приведены в таблице 2.

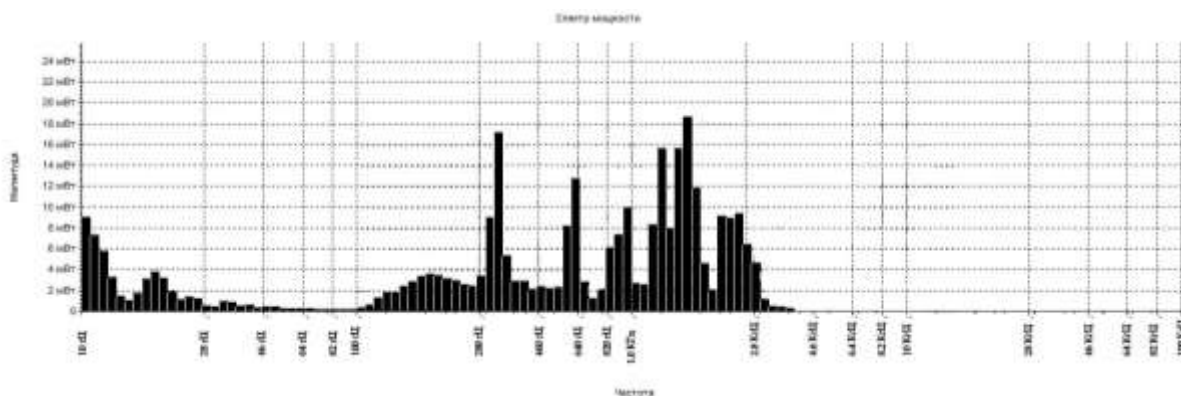
Таблица 2.

Форма колебания	Класс бетона, В	Модуль упругости бетона E , МПа	Допустимые напряжения, $\bar{\sigma}$	Частоты колебания, Гц	
				Лири САПР	Аналитическим методом
	35	3.52x10 ⁴	19,5	95,48	86,37
	30	3.25x10 ⁴	17,0	102,15	97,61
	20	2.75x10 ⁴	11,5	106,2	103,5
	15	2.35x10 ⁴	8,5	115,08	109,61

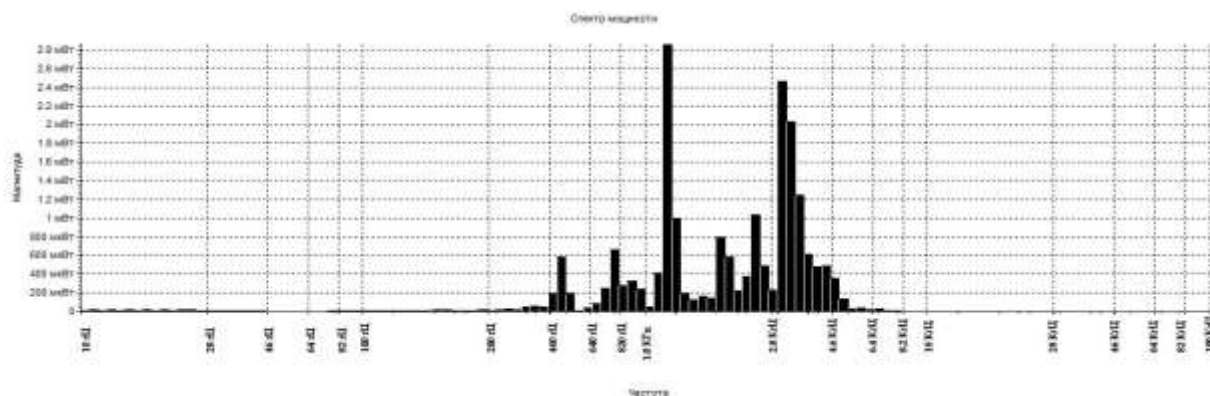
а)



б)



В)



Г)

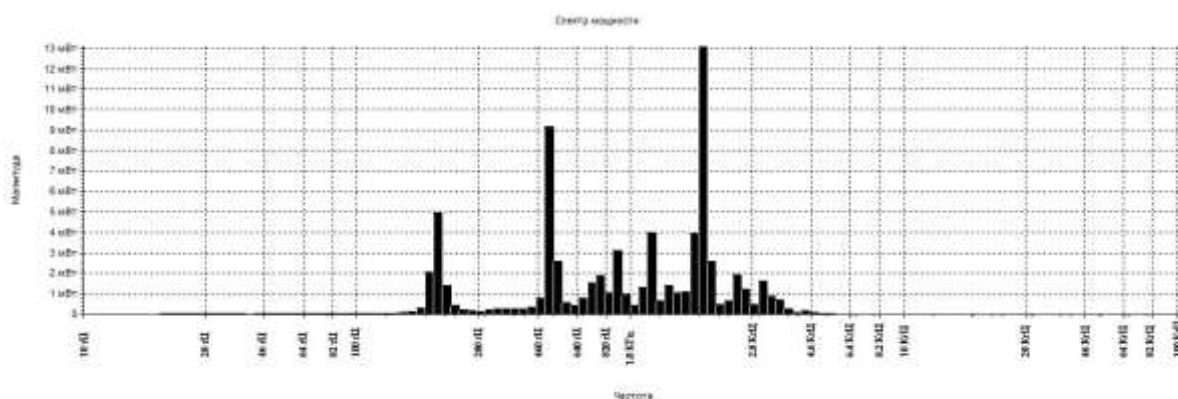


Рисунок 2.14 – Диаграммы частотных спектров, вынужденных колебаний

После проведённых экспериментов над оболочками разными модулями упругости можно сделать следующие выводы:

- из анализов вынужденных колебаний разомкнутых оболочек можно увидеть, что ростом модуля упругости (класс бетона) в диапазоне низких и больших частот от 10 до 460 Гц, колебания почти затухают, так же значительно уменьшается колебание в среднем диапазоне от 460 до 6,40 КГц.

- из полученных результатов получаем, что границы низких и высших частот является отрезком негативной работы конструкции, которые с увеличением класса бетона уменьшается их колебательные показатели, что способствует на устойчивость конструкции во время эксплуатации.

Так же были получены результаты после проведения расчёта тонкостенной разомкнутой оболочки разными модулями упругости в ПО SCAD, LIRA-SAPR которые приведены в табл. 1, 3 главы данной диссертации, что способствует в достоверности проведенных экспериментов, т.е. с ростом значения модуля упругости уменьшается показатели свободных и вынужденных колебаний.

Из теоретического и аналитического исследования можно проанализировать, что с увеличением модуля упругости, также вырастает жесткость конструкции в целом. Поэтому целесообразно в процессе изготовления большепролетных конструкции использовать выше классы бетона.

Изменение НДС ТЦО на колебательные процессы выглядит следующим образом:

- на 7,5% от действия сосредоточенной нагрузки вызывает изменению на 9%;
- на 9% от увеличения равномерно распределённой нагрузки на 8%. Из этих результатов можно сделать вывод, что зависимость частоты колебания оболочки от изменения НДС носит нелинейный характер и каждая теоретическая исследования требует экспериментальных подтверждений, чтобы удостовериться ранее полученным результатам.