

Языев Батыр Меретович

Ростовский государственный строительный университет
Заведующий кафедрой «Сопротивление материалов»
Доктор технических наук, профессор
Yazyuev Batyr
Rostov State University of Civil Engineering
Head of the Department "Strength of Materials"
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-Mail: 277588@rambler.ru

Смирнов Иван Иванович

Ростовский государственный строительный университет
Кафедра «Сопротивление материалов»
Кандидат технических наук, доцент
Smirnov Ivan
Rostov State University of Civil Engineering
Assistant professor of "Strength of Materials"
Candidate of Technical Sciences, Docent
E-Mail: iis1@rambler.ru

Захарова Кристина Вадимовна

Ростовский государственный строительный университет
Студент
Zaharova Kristina
Rostov State University of Civil Engineering
Student
E-Mail: ZkristinaZ@yandex.ru

Строительная механика

**Основные допущения и расчетная схема защитных экранов в виде
трехслойных оболочек с наполнителем в виде слоя упругопластических
энергопоглощающих элементов**

Key assumptions and calculation scheme of protective screens in the form of sandwich shells with a filler in the form of a layer elastic-plastic absorbing elements

Аннотация: В настоящее время активно развивается направление сейсмозащиты, связанное с использованием энергопоглощающих экранов, выполненных в виде трехслойных конструкций. В данной работе приведены основные допущения и расчетная схема, позволяющие получить приближенную методику расчета таких конструкций при динамическом нагружении.

Abstract: Currently actively developing direction of seismic protection associated with the use of absorbing screens made in the form of sandwich structures. In this work are the key assumptions and calculation scheme, allowing to obtain an approximation of the method of calculation of such structures under dynamic loading.

Ключевые слова: Динамическая нагрузка; упругопластическая деформация; диаграмма деформирования; энергопоглощение.

Keywords: Dynamic loading; uprugoplastichesky deformation; deformation chart; power absorption.

При интенсивном динамическом нагружении заглубленных в грунт сооружений для их защиты могут применяться пластические экраны - трехслойные оболочки с наполнителем в виде энергопоглощающих элементов [1].

Исследование поведения трехслойных оболочек с упругопластическим наполнителем, и наружным несущим слоем приобретает не только теоретический, но и практический интерес.

В настоящей работе излагается методика приближенного расчета трехслойной цилиндрической оболочки, наружный несущий слой и наполнитель которой могут работать в зоне пластических деформаций (рис.1). $\mu = \frac{\square}{\square}$

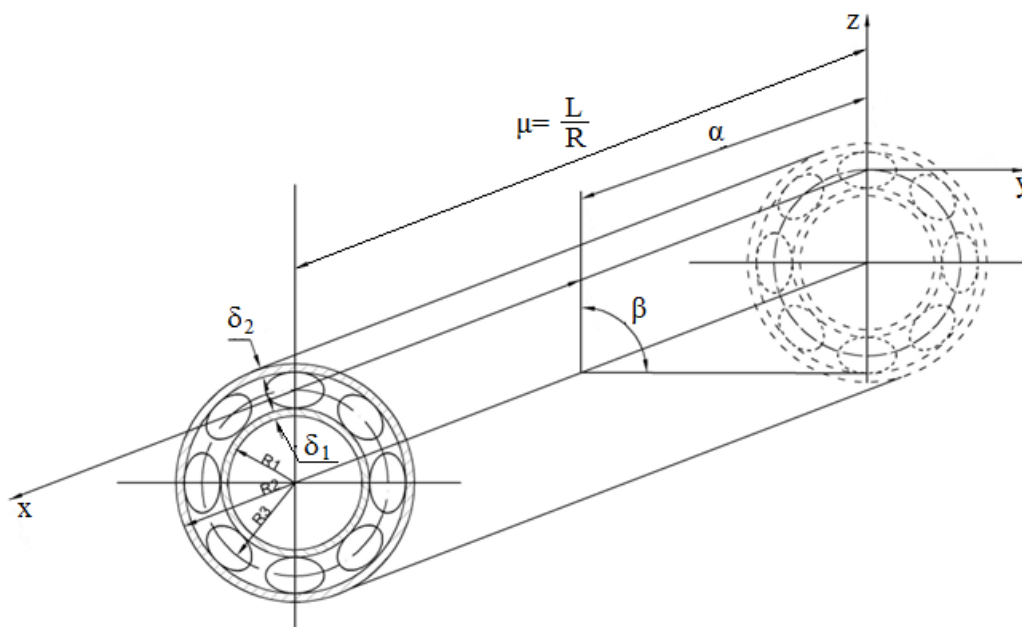


Рис. 1. Расчетная схема

При записи основных соотношений напряженно-деформированного состояния и уравнений движения оболочки используется криволинейная система координат смешанного типа (α, β, z) , где α и β - безразмерные координаты точки на цилиндрической поверхности, представляющие собой:

$\alpha = \frac{x}{R}$ - относительное расстояние в направлении образующей, выраженное в долях радиуса срединной поверхности данного слоя;

$\beta = \frac{\gamma}{R}$ - центральный угол, пропорциональный дуге поперечного круга;

z - расстояние по нормали к срединной поверхности данного слоя до любой рассматриваемой точки.

При исследовании общего случая напряженно-деформированного состояния трехслойных цилиндрических оболочек с наполнителем в виде слоя упруго-пластических энергопоглощающих элементов принимались следующие допущения:

1) толщина трехслойной оболочки мала по сравнению с радиусом, вследствие чего геометрия несущих слоёв может быть принята одинаковой $R_1=R_2=R$;

2) толщина несущих слоев различна (в случае безмоментного напряженного состояния) или одинакова (для моментной теории), а сами они представляют собой тонкостенные оболочки, изготовленные из различных материалов ($\delta_1 \neq \delta_2$; $E_1 \neq E_2$), причем свойства несущих слоев во взаимно перпендикулярных напряжениях могут быть различны ($\nu_{21} \neq \nu_{22}$; $\nu_{11} \neq \nu_{12}$);

3) внутренний несущий слой во всем диапазоне нагружения работает в области малых упругих деформаций, т.е. наличие остаточных (пластических) деформаций в данном несущем слое исключается;

4) материал наружного несущего слоя может выходить за предел упругости, причем в этом случае для него справедливы предпосылки "деформационной" теории пластичности, а условие пластичности принимается согласно энергетической теории;

5) наполнитель рассматривается как ортотропный, состоящий из отдельных упругопластических энергопоглощающих элементов, которые достаточно часто размещены по поверхности оболочек и при воздействии динамической нагрузки на оболочку работают только на сжатие.

На основе этих допущений упругопластическое состояние несущих слоев оболочки описывается следующей системой уравнений:

1) уравнениями движения несущих слоев оболочки, структура которых имеет одинаковый вид для упругой и пластической областей;

2) геометрическими зависимостями, взятыми с учетом геометрической нелинейности;

3) физическими состояниями, взятыми по теории малых упруго-пластических деформаций;

4) состояниями для внутренних силовых факторов;

Решение поставленной задачи осуществляется по следующей схеме:

1) составляются уравнения, описывающие процесс деформирования элементов наполнителя, определяются деформации и реактивная нагрузка;

2) производится расчет несущих слоев как обычных однослойных оболочек, нагруженных системой сил, состоящей из внешней динамической нагрузки и реактивной нагрузки, приложенной со стороны энергопоглощающих элементов наполнителя определяемой для каждого типа элементов отдельно.

Используя эту систему уравнений, можно получить уравнения движения в перемещениях для упругопластического состояние несущих слоев трехслойной цилиндрической оболочки, которые описывают процесс деформирования энергопоглощающих элементов наполнителя. Они имеют вид:

$$\begin{cases} \Omega_1 \Delta U + \Omega_2 \Delta U + \Omega_3 W + \Phi_1 + R^2 B_2^{-1} P_{\alpha 2}^{\Sigma} = R^2 B_2^{-1} \rho_2 \delta_2 \Delta U_{,tt} \\ \Omega_4 \Delta U + \Omega_5 \Delta U + \Omega_6 W + \Phi_2 + R^2 B_2^{-1} P_{\beta 2}^{\Sigma} = R^2 B_2^{-1} \rho_2 \delta_2 \Delta V_{,tt} \\ \Omega_7 \Delta U + \Omega_8 \Delta U + \Omega_9 W + \Phi_3 + R^2 B_2^{-1} P_{z 2}^{\Sigma} = R^2 B_2^{-1} \rho_2 \delta_2 \Delta W_{,tt} \end{cases}$$

Здесь Ω_{1-3} - дифференциальные операторы, относящиеся к линейным членам уравнения;

Ω_{1-3} - дифференциальные операторы, относящиеся к членам, учитывающим геометрическую и физическую нелинейности;

Индексы " Δ " в этих уравнениях обозначают то обстоятельство, что в уравнениях взяты относительные перемещения несущих слоев, т.е. $\Delta U = U_2 - U_1$; $\Delta V = V_2 - V_1$; $\Delta W = W_2 - W_1$.

Кроме того, в них учтено допущение, о работе внутреннего несущего слоя только в зоне упругих деформаций. Выражения дифференциальных операторов Ω_{1-3} , Φ_{1-3} приведены в [1].

Для получения решения эта система уравнений дополнялась граничными и начальными условиями. Граничные условия соответствовали жесткому защемлению торцов оболочки на неподвижных опорах, а начальные условия принимались нулевыми.

Таким образом, для определения деформационного состояния оболочки необходимо проинтегрировать полученную систему уравнений при принятых начальных и граничных условиях. Внешняя нагрузка считается заданной.

Решив эту систему уравнений, можно определить деформацию заполнителя, после чего, выразив реактивную нагрузку на каждый из несущих слоев через деформацию заполнителя можно произвести расчет напряженно-деформированного состояния несущих слоев. Этот расчет может быть проведен обычными методами, причем каждый из несущих слоев должен рассматриваться как тонкостенная оболочка, нагруженная системой сил, состоящей из внешней нагрузки $F = F(t)$ и реактивной нагрузки, зависящей от ΔU , ΔV , ΔW .

Главная трудность при решении поставленной задачи состоит в решении системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, совместно с граничными и начальными условиями. Получить решение этой системы в аналитическом виде не представляется возможным, так как весьма трудно заранее предугадать характер деформирования несущих слоев трехслойной оболочки за пределами упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы.- М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2004.
2. Andreev V.I. Optimization of thick-walled shells based on solutions of inverse problems of the elastic theory for inhomogeneous bodies. Computer Aided Optimum Design in Engineering XII (OPTI XII). WIT Press. 2012, p.189-201
3. Андреев В.И., Потехин И.А. Моделирование равнопрочного цилиндра на основе итерационного подхода// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, v. 4, is. 1, 2008, p. 79-84
4. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. Введение в теорию. Изд. 2, перераб. и доп. – Наука, 1977.
5. Andreev V.I. Minaeva A.S. Creation on the basis of the first theory of strength model equal stressed cylinder exposed to power and temperature loads. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volume 7, Issue 1, 2011. p. 71-75
6. Самарский А.А., Николаев Е.С.. Методы решения сеточных уравнений. М., Наука, 1978.
7. Абовский Н.П., Инжутов И.С., Хорошавин Е.А., и др. О возможности внешних сейсмозащитных устройств // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2011. - № 6.
8. Абовский Н.П., Инжутов И.С., Деордиев С.В., Палагушкин В.И. Необходимость системных исследований по сейсмостойкому строительству//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2011. - № 3.
9. Бурцева С.В., Стрельников Г.П., Авилкин В.И. К расчету оболочек вариационно-энергетическим методом. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», номер 4 (часть 2), 2012.
<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1291>

Рецензент: Дерюшев Виктор Владимирович, заведующий кафедрой ТЭСАО, доктор технических наук, профессор, Ростовский государственный строительный университет.