

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
PIHII (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 05 Volume: 85

Published: 17.05.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



**Ablakul Abdirashidov**  
Samarkand State University  
Corresponding member of International  
Academy, Doctor of Physical and Mathematical  
Sciences, Professor to department of  
theoretical and applied mechanics, Uzbekistan  
[abdira@mail.ru](mailto:abdira@mail.ru)



**Bahrom Aminov**  
Samarkand State University  
Assistant to department of mathematical modeling  
and complex programming, Uzbekistan



**Akmaljon Abdurashidov**  
Samarkand State University  
Researcher, Uzbekistan

## THE DYNAMIC BEHAVIOR OF AN ELASTOPLASTIC DEFORMABLE CYLINDRICAL SHELL OF INFINITE LENGTH UNDER THE INFLUENCE OF RADIAL IMPULSE LOADING

**Abstract:** In this paper, the calculation results are presented, on the basis of which the influence of the load amplitude on the stress-strain state of a cylindrical shell is analyzed. The dynamics of elastoplastic deformation of a circular cylindrical shell of infinite length under pulsed axisymmetric loading are described by the equations of the Kirchhoff – Love theory and the theory of flow. The problem was solved by the finite difference method, and the accumulation of plastic deformation was taken into account using iterative refinement. The calculation results are made for steel and aluminum shells. The influence of a change in the geometric and physical parameters of the shell, as well as the amplitude and shape of the pulse load on the dynamics of the structure, is studied. We also studied the change in the mechanical properties of the material on the stability of calculations and on the residual deflections of the walls of the structure.

**Key words:** cylindrical shell, stress-strain state, finite difference method, elastoplastic deformation, residual deflections.

**Language:** Russian

**Citation:** Abdirashidov, A., Aminov, B., & Abdurashidov, A. (2020). The dynamic behavior of an elastoplastic deformable cylindrical shell of infinite length under the influence of radial impulse loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (85), 401-405.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-85-75> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.05.85.75>

**Scopus ASCC:** 2200.

### ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ БЕСКОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИАЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ

**Аннотация:** В данной работе приводятся результаты расчетов, на основании которых анализируется влияние амплитуды нагрузки на напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки. Динамика упругопластического деформирования круговой цилиндрической оболочки бесконечной длины при

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

импульсном осесимметричном нагружении описаны уравнениями теории Кирхгофа-Лява и теории течения. Задача решена методом конечных разностей, а учет накопления пластической деформации проводилось с помощью итерационным уточнением. Результаты расчетов выполнены для стальной и алюминиевой оболочек. Изучены влияние изменение геометрических и физических параметров оболочки, а также амплитуды и формы импульсной нагрузки на динамику конструкции. Также изучены изменение механических свойств материала на устойчивость вычислений и на остаточные прогибы стенок конструкции.

**Ключевые слова:** цилиндрическая оболочка, напряженно-деформированное состояние, метод конечных разностей, упругопластическое деформирование, остаточные прогибы.

### Введение

Исследованию НДС цилиндрических оболочек при импульсном нагружении посвящены работы [1-4]. Изучение ряда вопросов, связанных, например, с упругопластическим деформированием оболочки, требует более точного определения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций. Динамическая прочность оболочек в ряде случаев оценивается путем испытания натуральных или модельных образцов [4-10]. В работе [5] изложены методы расчета и результаты исследований НДС тонкостенных оболочек при динамическом и импульсном нагружениях. Решения задачи основаны на без моментной и моментной модели оболочки. Важной задачей является разработка методов теоретического исследования импульсного упругопластического деформирования оболочек нагруженным внутренним давлением, а также определение динамической прочности оболочек.

Разработанные в [1] алгоритмы расчета нестационарного упругопластического деформирования пластин могут быть построены и для упругопластических оболочек. Ниже такая процедура выполнена для цилиндрической оболочки. Записывается уравнение оболочки, кратко излагаются алгоритмы численного исследования ее движения под действием внутренних импульсных давлений. Приводятся результаты расчетов, на основании которых анализируется влияние амплитуды нагрузки на НДС цилиндрической оболочки [1, 4, 11, 12].

Следуя методике, подробно описанной в [1, 3, 5, 11] на примере полой оболочки, получаем уравнение движения цилиндрической оболочки.

### Постановка задачи.

Рассмотрим замкнутую круговую цилиндрическую оболочку, радиус срединной поверхности которой равен  $R$ . Случай упругопластического деформирования круговой цилиндрической оболочки бесконечной длины при импульсном осесимметричном нагружении вытекает из [1, 5], если в последних уравнениях приравнять нулю производное по угловой координате:

$$\left[ \frac{1}{R^2} \left( 1 + \frac{h^2}{12R^2} \right) w + \frac{1}{R} \sum_{n=1}^N \Delta_n^\alpha \varepsilon_\varphi \right] = \frac{1-\nu^2}{Eh} \left( q - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right),$$

где  $R$ ,  $h$  – радиус и толщина оболочки, соответственно;  $w$  – нормальная перемещения;  $q$  – внешняя нагрузка;  $E$ ,  $\rho$ ,  $\nu$  – механические характеристика материала оболочки;  $\Delta_n^\alpha \varepsilon_\varphi$  – учет накопления пластической деформации.

Компоненты напряжений выражаются через смещения, с учетом параметров пластического течения, следующим образом:

$$\sigma_\varphi = -\frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{w}{R} + \sum_{n=1}^N \Delta_n^\alpha \varepsilon_\varphi \right); \quad \sigma_s = \nu \sigma_\varphi.$$

Начальные условия задачи – нулевые:

$$w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad \text{при } t = 0.$$

### Численная методика решения задачи.

Конечно-разностная аппроксимация уравнений движения цилиндрической оболочки, согласно методу конечных разностей, записывается следующим образом: линия  $z = 0$  совпадает со срединной поверхностью оболочки [1]. При разностной аппроксимации уравнения оболочки используются центральные разности. В каждой точке оболочки в момент времени  $t = m\tau$  ( $m = 0, 1, 2, \dots, J$ ) уравнение оболочки записывается в конечных разностях, где число  $J$  зависит от интервала времени, в котором проводится численное интегрирование и  $\tau$  – шаг по времени. Для каждой точки оболочки записывается разностное уравнение оболочки относительно сеточной функции на  $(m+1)$ -ом временном слое, выразив ее через значения сеточной функции на  $m, m-1$  слоях:

$$w_i^{m+1} = 2w_i^m - w_i^{m-1} + \frac{q_i^m \tau^2}{\rho h} - \frac{1}{e} \left[ \frac{1}{R^2} \left( 1 + \frac{h^2}{12R^2} \right) w_i^m + \frac{1}{R} \sum_{n=1}^N \Delta_n^\alpha \varepsilon_\varphi \right],$$

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

где  $w_i^m, w_i^{m-1}, w_i^{m+1}$  - сеточные функции;  $q_i^m$  - внешняя нагрузка;

$$e = \frac{(1 - \nu^2) R^2 \rho}{E \tau^2}.$$

Сеточные функции в узлах первых двух временных слоев определяют начальные условия задачи:  $w_i^0 = 0, w_i^1 = 0$ .

Описанная явная разностная схема аппроксимирует исходную дифференциальную задачу с точностью порядка квадрата шага сетки.

На каждом шаге проводилось итерационное уточнение пластической деформации [1]. Отметим только, что расчет упругопластического деформирования и разрушения оболочки проведен по следующему алгоритму: учет пластических свойств материала оболочек требует изменения физических соотношений в уравнениях, описывающих деформированное состояние элементов конструкций. При расчетах пластического состояния оболочек использовались схематизированные диаграммы растяжения с линейным упрочнением. Решение велось методом дополнительных деформаций. При расчете пластических компонент деформации оболочки разбивались по толщине на четыре ячейки. Время нагружения разбивалось на конечное число шагов. На  $N$ -ом шаге упругая деформация выражалась через разности полной и пластической деформации. Это соотношение подставлялось в закон Гука, причем полная деформация выражалась через компоненты вектора смещения. Таким образом, выводились уравнения движения оболочек, учитывающие накопление к  $N$ -ому шагу составляющих пластической деформации. На каждом шаге проводилось итерационное уточнение накопленной пластической деформации. Разрушение оболочек учитывалось на основе следующего критерия: толщина оболочек зависит от пластической деформации ее материала. Если интенсивность напряжения в ячейке оболочек превышает прочность материала на разрыв, то эта ячейка считается разрушенной.

Полученная система уравнений, интегрированная во времени по явной разностной схеме, позволяет вычислить значения искомой функции для каждого последующего временного слоя по известным значениям функции в

предыдущие моменты времени с помощью рекуррентных соотношений. Решение уравнения движения удовлетворялось начальным условием в виде равенства нулю, перемещения и его скорости в точках оболочки. Оптимальный шаг по времени, обеспечивающий устойчивость разностной схемы и минимальные затраты машинного времени, определили путем численных экспериментов. Для решения конечно-разностных уравнений составлена программа на алгоритмическом языке PascalABCNET.

### Результаты расчетов.

Рассмотрена задача о динамическом поведении конструкции, состоящей из цилиндрической оболочки бесконечной длины. Оболочка подвергается действию осесимметричного радиального импульса давления, приложенного к ее внутренней поверхности. Движение оболочки считаем осесимметричным и не зависящим от осевой координаты.

Приведем результаты расчетов, выполненных для стальной оболочки со следующими значениями геометрических и физических параметров:  $R=0.75$  м;  $h=0.005$  м;  $\nu=0.25$ ;  $E=200$  ГПа;  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>, и сопоставим их с данными, полученными для упругого материала. Импульс давления задавался в виде равнобедренного треугольника с основанием  $T=0.2$  мс и амплитудой  $q_0$ .

Постоянные  $\sigma_0, E_1$ , характеризующие пластические свойства материала, составляли 400 и 500 МПа.

На рис.1 показано перемещение точки оболочки. Оболочка в результате действия импульса давления расширяется. После снятия нагрузки она начинает колебаться относительно недеформированного состояния (кривые 1 - 4 соответственно при  $q_0 = 3, 6, 12, 24$  МПа). Численное исследование влияния толщины оболочки на ее динамику показало, что уменьшение толщины приводит к увеличению периода колебаний оболочки и возможно к появлению вероятности потери ее первоначальной формы.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

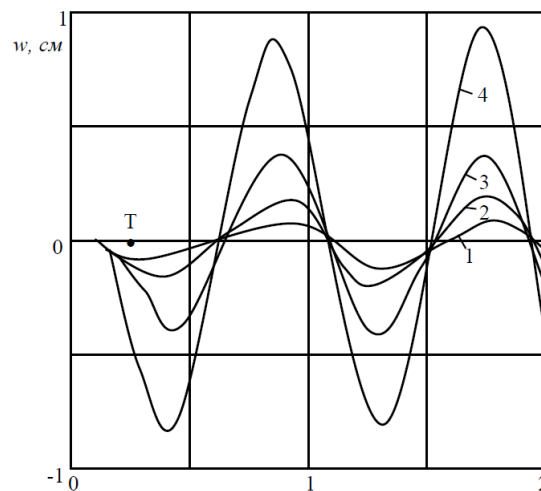


Рис. 1. Упругое деформирование точки оболочки при  $q_0 = 3$  (кривая 1); 6 (2); 12 (3); 24 (4) МПа.

Приведем значения прогибов, характеризующих упругопластическое деформирование конструкции. Кривые прогибов, приведенные на рис.2, показывают влияние учета пластических свойств материала оболочки (кривые 3,4 соответственно при  $q_0 = 12, 24$

МПа). Из сравнения кривых 4 и 4' при  $q_0 = 24$  МПа следует, что учет пластических свойств материала приводит к существенному росту (в 3 раза) максимальных значений прогибов. Остаточный прогиб в 4 раза превышает толщину оболочки (кривая 4').

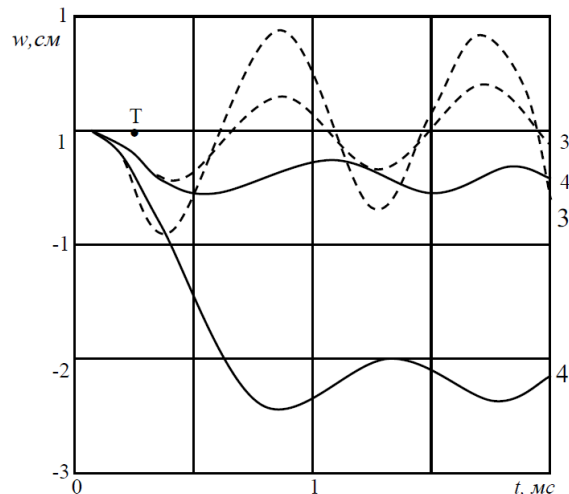


Рис.2. Упругопластическое деформирование точки оболочки при  $q_0 = 12$  (кривая 3'); 24 (кривая 4') МПа.

Изменение механических свойств материала не влияло на устойчивость вычислений, но результаты отличаются в остаточных прогибах. Например, оболочка из алюминия с характеристиками  $\nu = 0.3$ ;  $E = 71$  ГПа;  $\rho = 2650$  кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma_t = 300$  МПа;  $E_1 = 1500$  МПа при  $q_0 = 24$  МПа, приобретала остаточный прогиб, равный  $5h$ , который мало менялся вплоть до конца вычислений. Расчеты показали, что закон изменения остаточного прогиба при уменьшении толщины оболочки близок к экспоненциальному закону.

### Выводы.

Примененная явная разностная схема в цилиндрической системе координат оказалась устойчивой, и она достаточно точна для изучения волновых процессов в ограниченных телах и может служить основой для расчета случаев более сложного взаимодействия элементов конструкций с деформируемыми средами. Решение задачи о динамических упругопластических деформирования цилиндрической оболочки бесконечной длины, подвергнутой действию внутреннего радиального импульсного давления

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

показало, что модель упругопластического тела более реально описывает динамическое поведение пластинчатых и оболочечных элементов конструкций. Рассмотренный алгоритм и результаты работы можно использовать при решении многих задач гидроупругопластичности,

т.е. при изучении нестационарного взаимодействия оболочечных элементов конструкций с деформируемой средой (например, с жидкостью или грунтом) при импульсном и гидродинамическом нагружениях.

## References:

1. Galiyev, Sh.U. (1981). *Dinamika gidpouprugoplasticheskix sistem.* (p.376). Kiyev: Naukova dumka.
2. Galiyev, Sh.U. (1988). *Nelineyniye volni v ogranichennix sploshnix sredax.* (p.263). Kiyev: Nauk.dumka.
3. Khudoynazarov, Kh., Abdirashidov, A. (2005). *Nonstationary interaction elastoplastic deformable elements of structures with fluid.* (p.220). Tashkent: Fan publ.
4. Galiyev, Sh.U., et al. (1989). *Chislennoye modelirovaniye volnovix prosessov v ogranichennix sredax.* (p.201). Kiyev: Nauk.dumka.
5. Volmip, A.S. (2018). *Nelineynaya dinamika plastinok i obolochek.* (p.432). M.: Nauka.
6. Vorobyev, Yu.S., Kolodyajniy A.V., Sevryukov, V.I., & Yanyutin, Ye.G. (1989). *Skorostnoye deformirovaniye elementov konstruksiy.* (p.192). Kiyev: Nauk. dumka.
7. Ilgamova, M.A. (1983). *Gidpouprugost obolochek.* Pod pyed. M.A. Ilgamova. Trudi seminara po teorii obolochek. (p.189). № 1. Kazan.
8. Frolov, K.F., et al. (2002). *Dinamika konstruksiy gidroaerouprugix sistem.* (p.387). Moscow: Nauka.
9. Zamishlyayev, B.V., Yakovlev, Yu.S. (1967). *Dinamicheskiye nagruzki pri podvodnom vzrive.* (p.387). L.: Sudostpoyeniye.
10. Ilgamov, M.A. (1991). *Vvedeniye v nelineynuyu gidrouprugost.* (p.200). Moscow: Nauka.
11. Galiev, S.U., Khudoynazarov, Kh., Abdirashidov, A., & Abdurashidov, A.A. (2018). Nonlinear elastoplastic deformation of a hollow cylindrical shell of finite length under influence of internal pulse loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (66), 248-255.
12. Galiev, S.U., Khudoynazarov, Kh., Abdirashidov, A., & Abdurashidov, A.A. (2018). Nonlinear elastoplastic deformation of a hollow finite length cylindrical shell under hydrodynamic loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (66), 256-264.