УДК 539.3

# ПОШУК МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ КРУГОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СТИСНУТОЇ ОБОЛОНКИ В УМОВАХ СТІЙКОСТІ ТА МІЦНОСТІ ПРИ СТОХАСТИЧНИХ ДАНИХ

**В.О. Бараненко**[1]
Доктор технічних наук, професор кафедри будівельної механіки

**Д.Л. Волчок**[1]
Кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки

*[1]Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*
*49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а*

В даній роботі надається детермінована задача і задача стохастичного програмування визначення максимального значення такої характеристики, як величини осьової сили стисненої кругової циліндричної оболонки при заданих параметрах форми: радіусу, товщини і довжини за умовами несучої здатності: стійкості та міцності. До реалізації цих задач залучається метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) [9]. Побудовано алгоритм імітаційного (статистичного) моделювання. Результати дослідження порівнюються з детермінованим розв’язанням у випадку даних стохастичної природи.

**Ключові слова:** циліндрична оболонка, умови несучої здатності, осьова сила, метод Монте-Карло, статистичне (імітаційне) моделювання

## Вступ

Розвиток сучасної теорії оптимального проектування оболонок пов'язаний як з розробками формулювань задач, так і з розробками методів їх реалізації. В процесі аналізу проектної ситуації призначаються: критерій якості (цільова функція); функції обмеження; параметри оптимізації.

Цільова функція аналітичним чином зв'язує параметри проекту, виражає якість об'єкта проектування. Найчастіше вибирають в якості цільової функції - обсяг матеріалу конструкції, вагу конструкції, вартість проекту, надійність, довговічність, механічні характеристики та інше. В оптимізаційних задачах будівельної механіки функціями обмежень виступають, найчастіше, умови несучої здатності конструкції. Параметрами оптимізації як правило є геометричні та механічні характеристики елементів конструкції. Можуть бути інші параметри. До розв'язання таких задач застосовують різні математичні методи, зокрема, класичні (методи математичного аналізу та варіаційне числення) [1], методи оптимального керування [2], динамічного програмування [3], принцип максимуму Понтрягина [4], методи випадкового пошуку [5], нелінійного програмування [6] та ін. [7], [8].

В даній роботі надається детермінована задача і задача стохастичного програмування визначення максимального значення такої характеристики, як величини осьової сили стисненої кругової циліндричної оболонки при заданих параметрах форми: радіусу, товщини і довжини за умовами несучої здатності: стійкості та міцності. До реалізації цих задач залучається метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) [9]. Цей метод набув широке розповсюдження в різних галузях науки і техніки, і зокрема, в теорії оптимального проектування, оскільки він пред'являє найбільш низькі вимоги до виду цільової функції та обмежень, добре працює з задачами великої вимірності та ін.

**Постановка детермінованої задачі**

Розглядається ортотропна кругова циліндрична оболонка, геометричні характеристики якої радіус $R$, товщина $h$ і довжина $L$ - задані величини. Матеріал оболонки характеризується модулем пружності Юнга і Пуассона відповідно $E$, $\nu$ і $\sigma_0$ - міцністю матеріалу на стиснення в осьовому напрямі, в якому діє стискаюча повздовжня сила $N*$. Умови закріплення оболонки - шарнірне опирання. Для такої механічної системи призначимо фізичні обмеження у вигляді [10]

$$g_1(x) = P_{kp}{}^M \ge u \;; \tag{1}$$

$$g_2(x) = P_{kp}{}^C \ge u \;; \tag{2}$$

$$g_3(x) = P_R \ge u \,. \tag{3}$$

де $P_{kp}{}^M$, $P_{kp}{}^C$ - відповідно місцеве і загальне критичне зусилля; $P_R$ - міцність оболонки; $u = N*$; $x = \{x_1, x_2, x_3\}$; $x_1 = h$; $x_2 = R$; $x_3 = L$; $x_i > 0$; $i = 1, 2, 3$.

Запишемо наближений вираз [10] для критичного осьового зусилля $P_{kp}{}^M$ при шарнірному опиранні оболонки:

$$P_{kp}^M = D x_1{}^2 \,, \tag{4}$$

де $D = 2\pi E / \sqrt{3(1-\nu^2)}$.

Наближені вирази критичного зусилля $P_{kp}{}^C$ для шарнірно опертого стержня з кільцевим поперечним перерізом і міцності оболонки на стиск $N*$ відповідно запишуться як [10, 11]

$$P_{kp}^C = B x_1 x_2{}^3 x_3{}^{-2} \;; \tag{5}$$

$$P_R = C x_1 x_2 \,, \tag{6}$$

де $B = \pi^3 E$; $C = 2\pi\sigma_0$.

Таким чином, обмеження (1), (4) визначає можливість місцевої втрати стійкості оболонки, обмеження (2), (5) визначає можливість загальної втрати стійкості оболонки, як стержня. Виконання обмеження (3), (6) забезпечує можливість не руйнування оболонки при стисканні її силою $N^*$.

Необхідно при заданих значеннях вихідних параметрів оболонки $h$, $R$, $L$, фізичних характеристиках $E$, $\mu$, $\sigma_0$ знайти таке максимальне значення величини $u$, при якому задовольняється умова несучої здатності (1)-(6).

Внаслідок маємо таку задачу нелінійної оптимізації:

$$u^{opt} = \arg\left\{ \max_{u \in \left[u^-, u^+\right]} u \left| g_i(x) \ge u;\, i = 1,\, 2,\, 3 \right. \right\}. \tag{7}$$

Границі допустимої області $\left[u^-, u^+\right]$ задаються.

**Метод розв'язання задачі**

До реалізації оптимізаційної задачі (7) застосовано метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло). Детальніше обговорення чисельних досліджень цього методу в галузі оптимального проектування конструкцій (ОПК) подано в спеціальних оглядах літератури, зокрема в [12], [13]. Метод статистичних випробувань широко застосовується у всіх випадках симуляції на ЕОМ (або імітаційного моделювання). Детальний опис цього математичного апарату наведено в монографії [14].

Нелінійна задача оптимізації є багатоекстремальною. Велика кількість локальних екстремумів по суті стирає грань між оптимальним проектуванням і звичайним варіантним: с тим же успіхом можливо розглядати та признавати оптимальним будь яку опорну вершину допустимого багатогранника. Похибка цього методу визначається похибкою генерації псевдовипадкових чисел, що згенеровані в комп'ютері та обсягом вибірки.

Шаблон (або алгоритм) застосування методу для задачі оптимізації (7) буде таким:

Крок 1. Задати область пошуку змінної $u$.

Крок 2. Випадковим чином згенерувати детерміновані значення $u$ в області пошуку $\left[u^-, u^+\right]$.

Крок 3. Обчислити вирази $g_i(x)$; $i = 1, 2, 3$ обмежень в (7). Якщо три умови тут виконуються одночасно, то треба запам'ятати значення цільової функції $u$, при яких виконались умови в (7).

Крок 4. Виконати дії кроків 2 - 3 $M$ разів.

Крок 5. Вибрати із отриманих значень $\left\{u_j\right\}$ максимальне. В результаті маємо $u^* = \max\left\{u_j\right\}$ - величину критичного навантаження.

Величина $M$ є обсягом виборки, який задається, він досить великий і підбирається до виявлення збіжності. В наочному прикладі величина $M$ досягає декількох мільйонів.

**Ілюстративний приклад**

Для $E = 8{,}16 \cdot 10^4$ $Па$; $\sigma_0 = 162 \cdot 10^6$ $Па$; $\nu = 0{,}3$; $L = 300$ $см$; $x_1 = 0{,}07$ см; $x_2 = 10$ $см$; $10^3 \le u \le 2 \cdot 10^5$ виконано числовий експеримент (табл. 1). Бачимо (див. рис. 1), що починаючі з $M = 10^5$ можна вважати, що збіжність досягнута.

Таблиця 1

Збіжність цільової функції

| $\lg M$ | $u$ (Н) цільова функція | Імовірність отримання результату |
|---|---|---|
| 1 | 67036 | 0,600 |
| 2 | 70904 | 0,380 |
| 3 | 71082 | 0,382 |
| 4 | 71216 | 0,356 |
| 5 | 71247 | 0,360 |
| 6 | 71251 | 0,353 |
| 7 | 71251 | 0,353 |

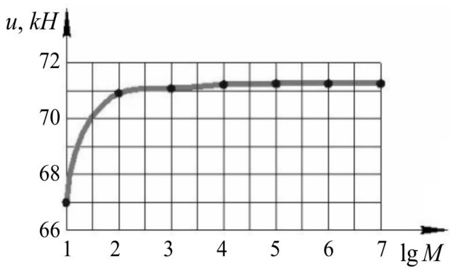


Рис. 1. Збіжність цільової функції

Таблиця 2

Вплив товщини і радіусу на величину максимального значення осьової сили

| $h$, $см$ | $u$ (Н) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ($R = 5$) | ($R = 10$) | ($R = 15$) | ($R = 20$) | ($R = 25$) |
| 0,01 | 3102,9 | 3103 | 3102 | 3103 | 3103 |
| 0,02 | 7027,96 | 12412 | 12412,17 | 12411,82 | 12412,19 |
| 0,03 | 10542,11 | 27927 | 27927,42 | 27927,28 | 27927,27 |
| 0,04 | 14056,12 | 40715 | 49648,74 | 49648,74 | 49648,73 |
| 0,05 | 17570,11 | 50893 | 76340,34 | 77576,16 | 77576,92 |
| 0,06 | 21084,15 | 61072 | 91608,83 | 111709,68 | 111709,67 |
| 0,07 | 24598,28 | 71251 | 106876,97 | 142502,5 | 152049,4 |
| 0,08 | 28111,26 | 81430 | 122145,0 | 162860,14 | 198594,9 |
| 0,09 | 31626,02 | 91688 | 137413,22 | 183217,55 | |
| 0,1 | 35140,38 | 101787 | 152681,38 | | |
| 0,12 | 42167,26 | 122145 | 183214,48 | | |
| 0,15 | 45681,93 | 152681 | | | |

За даними табл. 2 побудована номограма (рис. 2) для визначення максимального значення осьової сили при різних визначених даних $R$ і $h$. Вона показує як впливає на величину $u$ збільшення (зменшення) характеристик $R$ і $h$.

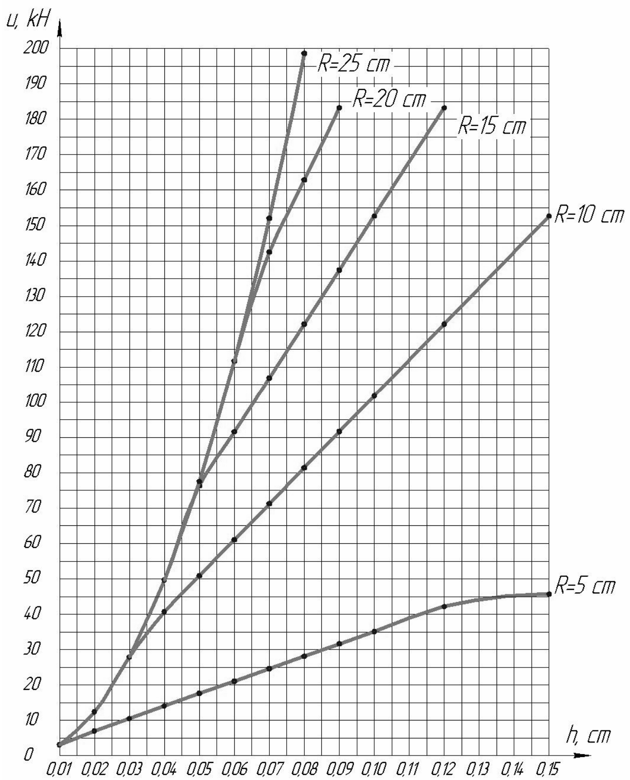


Рис. 2. Номограма визначення максимальної величини осьової сили, що діє на оболонку від різних значень геометричних характеристик радіусу $R$ і товщини $h$

**ССР модель**

Знаходження максимального значення сили, що стискає циліндричну оболонку для випадкових даних формулюється як така задача стохастичного програмування, в якій має місце обмеження на імовірність виконання деякої події (chance constrained programming, CCP):

$$u^* = \arg\left\{ \max_{u>0} u \,\middle|\, \mathrm{Prob}(g_i(\xi) \geq u^*) \geq \alpha; i = 1,2,3 \right\}, \qquad (8)$$

де $\alpha$ - заздалегідь довірчий рівень $0 < \alpha < 1$.

У цій задачі $\xi = (\xi_1, \xi_2)$ є вектор випадкової величини із заданою щільністю $f_i(x)$; $i = 1,2,3$ імовірності розподілу компонентів $\xi_1 = h$, $\xi_2 = R$. Співвідношення $g_i$ ; $i = 1,2,3$ - дійснозначні, визначені співвідношеннями (1)-(6), безперервні функції. Тоді $g_i(\xi)$ ; $i = 1,2,3$ також будуть випадковими величинами.

Позначимо через $A$ подію, що полягає в одночасному виконанні трьох нерівностей

$$A = ((u - g_1(\xi)) \le 0) \wedge ((u - g_2(\xi)) \le 0) \wedge ((u - g_3(\xi)) \le 0), \quad (9)$$

де знак $\wedge$ є зв'язування логічне "і".

Задача оптимізації, таким чином, полягає в знаходженні максимального значення $u^*$ такого, що виконується умова

$$\Pr ob(A) \ge \alpha. \quad (10)$$

**Метод розв'язання**

Основним етапом чисельного підходу до розв'язання задачі (8) є обчислення ймовірності (10). Для цього скористаємося поняттям статистичного моделювання. Нехай виконується $N$ випробувань події $A$. У кожному випробуванні отримується випадковий вектор $\xi_k$ ; $k = \overline{1, N}$. Позначимо через $M$ число випадків, коли виконується всі умови у виразі (9). Іншою мовою, $M$ є число випадкових векторів, що задовольняють заданій системі нерівностей (9).

Для існування статистичної ймовірності події вимагається [15]:

1) можливість здійснювати необмежене число $N \to \infty$ випробувань, в кожному з яких подія $A$ настає або не настає, тобто має місце функція $h(\xi_K)$, визначена як

$$h(\xi_n) = \begin{cases} 1, u^* - g_i(\xi_n) \le 0; n = 1,2,...,N; i = 1,2,3; \\ 0, \textit{в інших випадках}; \end{cases} \quad (11)$$

2) як статистичну імовірність події $A$ приймають відносну частоту, тобто $M / N$ чи число, близьке до неї. Подальше використання закону великих чисел (теорема Чебишева) дозволяє стверджувати, що при великому числі випробувань відношення $M / N$ буде близьке до величини вірогідності виконання події $A$. Тобто має місце

$$\Pr ob(A) = \frac{M}{N} = \frac{\sum_{n=1}^{N} h(\xi_n)}{N} \to \alpha; \text{ при } N \to \infty. \quad (12)$$

Звідси випливає, що $M = \alpha N$.

Приведені вище міркування покладемо в основу алгоритму імітаційного моделювання обчислення ймовірності події $A$ в (9) і обчислення $u*$ в задачі (8).

**Алгоритм статистичного моделювання**

Крок 1. Задати досить велике число $N$ і значення $\alpha$ .

Крок 2. Обчислити цілу частину числа $\alpha N$ , тобто $M = \lfloor \alpha N \rfloor$, де $\lfloor \cdot \rfloor$ - позначення функції антье - округлення до найближчого цілого числа в меншу сторону.

Крок 3. Випадковим чином отримати величини $\xi_{tn}$ ; $t = 1,2; n = 1,2,...,N$ відповідно до заданих законів розподілу імовірності кожної випадкової величини $\xi_1$ і $\xi_2$ .

Крок 4. Для кожного $j$ обчислити елементи послідовності $\left\{ f_j \right\} = \min\limits_i (g_i(\xi_{tj}))$ ; $i = 1,2,3; j = 1,2,...,N; t = 1,2.$

Крок 5. Вибрати $M$ - ий найбільший елемент з отриманої послідовності $\left\{ f_j \right\}$ ; $j = \overline{1,N}$ . Цей елемент буде шуканим значенням величини $u*$ .

**Ілюстративний приклад**

Відповідно до запропонованого алгоритму виконано ряд числових експериментів. Для ілюстрації взято трикутний розподіл випадкових величин $\xi_1$ і $\xi_2$ . Для кожної величини щільність імовірності визначається як:

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{2(x-a)}{(b-a)(m-a)}, \text{ якщо } a < x \le m \\ \dfrac{2(b-x)}{(b-a)(b-m)}, \text{ якщо } m \le x \le b \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases} \qquad (13)$$

Алгоритм обчислення випадкової величини $x$ буде таким [16]:

Крок 1. Обчислити $c = \dfrac{(m-a)}{(b-a)}$ .

Крок 2. Отримати псевдовипадкові числа $w = random$ за законом рівномірного розподілу випадкової величини на відрізку $[0,1]$.

Крок 3. Якщо $w < c$ , то $y = \sqrt{cw}$ , інакше $y = 1 - \sqrt{(1-c)(1-w)}$ .

Крок 4. Вичислити $x = a + (b-a)y$ .

При таких значеннях початкових даних :

$E = 8{,}16 \cdot 10^4$ *Па*; $\sigma_0 = 162 \cdot 10^6$ *Па*; $L = 300$ *см*; $\nu = 0{,}3$; $N = 2 \cdot 10^5$; $m_R = 10$ *см*; $m_h = 0{,}07$ *см*; $\alpha = 0{,}98$; $M = 196 \cdot 10^3$ отримані результати для щільності розподілу випадкової величини (13) при різних розкидах $\Delta_\xi$, які подано в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати статистичного моделювання (виявлення збіжності)

| № експери-менту | Характеристики експерименту: розкид випадкової величини, *см* | Величина $u^*$ (Н) | Відносна похибка, $\frac{\lvert u^* - u_{\text{det}} \rvert}{u_{\text{det}}} 100\%$ |
|---|---|---|---|
| 1 | $\Delta_h = 0{,}001$<br>$\Delta_R = 0{,}01$ | 72324 | 1.5 |
| 2 | $\Delta_h = 0{,}0005$<br>$\Delta_R = 0{,}005$ | 71781 | 0.74 |
| 3 | $\Delta_h = 0{,}0001$<br>$\Delta_R = 0{,}001$ | 71356 | 0.15 |
| 4 | $\Delta_h = 0{,}00001$<br>$\Delta_R = 0{,}0001$ | 71261 | 0.01 |
| 5 Детерміно-ваний випадок | $h^{\text{det}} = 0{,}07$<br>$R^{\text{det}} = 10$ | 71251 | |

Таким чином, при малих значеннях розкиду випадкової величини виявляється також і малий розкид значення несучої сили. Зростання неточності у вихідних (початкових) даних призводить до значного збільшення оцінки осьової сили.

Так при $h : a_1 = 0{,}04; m_1 = 0{,}07; b_1 = 0{,}1$ (збільшення $\Delta_h$ складає 43% від $h$), $R : a_2 = 7\ m_2 = 10; b_2 = 13$ (збільшення $\Delta_R$ складає 30% від $R$), отримано $u^* = 127{,}771$ *кН*, що на 79% більше від детермінованого значення $u^* = 71{,}251$ *кН*.

**Висновки.** На завершення зробимо такі висновки:

1) За допомогою імітаційного моделювання показана можливість реалізації задачі визначення максимального значення осьового навантаження, що діє на шарнірно-оперту кругову циліндричну оболонку в умовах повної і неповної інформації (стахастичної).

2) В результаті числових експериментів отримана інформація у формі номограми про поведінку такої важливої характеристики - максимальної величини осьової сили за умови виконання обмежень по стійкості та міцності.

3) Зменшення характеристик розкиду випадкової величини веде до детермінованих значень осьової сили.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гольдштейн Ю.Б., Соломещ М.А.* Вариационные задачи статики оптимальных стержневых систем. - Л.: Изд. ЛГУ. - 1980. - 208 с.
2. *Гринёв В.Б., Филиппов А.П.* Оптимизация элементов конструкции по механическим характеристикам -К.: Наукова думка. - 1975. - 294 с.
3. *Почтман Ю.М., Бараненко В.А.* Динамическое программирование в задачах строительной механики - М.: Стройиздат. - 1984. - 110 с.
4. *Дзюба А.П.* Оптимальное проектирование конструкций на основе принципа Л.С. Понтрягина. - Днепропетровск: Изд. ДГУ. - 1984 - 136 с.
5. *Растригин Л.А.* Статистические методы поиска М.: Наука. 1968. - 376 с.
6. *Малков В. П., Угодчиков А.Г.* Оптимизация упругих систем. - М.: Наука - 1981. - 288 с.
7. *Гуляев В.И., Баженов В.А., Кошкин В.Л.* Методы оптимизации в строительной механике - К.: УМКВО. - 1989. - 192 с.
8. *Рейман М.И., Шапиро Г.С.* Оптимальное проектирование деформируемых твердых тел. Механика деформируемого твердого тела. Том 12. - Итоги науки и механики. - М.: 1978 с 5 - 90.
9. *Бусленко Н.П., Голенко Д.И., Соболь Н.М., Срагович В. Г., Шрейдер Ю. А.* Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) - М.: Физматгиз, 1962. - 332 с.
10. *Гинзбург И.Н., Кан С.Н.* Об одном методе выбора оптимальных параметров тонкостенной конструкции // «Труды VI Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. Днепропетровск, 1969» - М.: Наука 1970. с. 271-273.
11. *Тетерс Г.А., Рикардс Р.Б., Нарусберг В.Л.* Оптимизация оболочек из слоистых композитов – Рига.: Зинатне, 1978 – 239 с.
12. *White R.C.* A survey of random methods for parameter optimization. Simulation, 17, № 5б - 1971.
13. *Почтман Ю.М., Филатов Г.В.* Оптимальное проектирование конструкций методом случайного поиска, В сб. "Проблемы случайного поиска" Вып. 4. Рига. - 1975
14. *Соболь И.М.* Численные методы Монте-Карло. - М.: Наука. - 1973. - 312 с
15. *Гмурман В.Е.* Теория вероятности и математическая статистика. - М: Высшая школа. - 1977. - 479 с.
16. *Liu B.* Uncertain programming, Wiley, New York, USA. - 1999

## REFERENCES

1. *Golshteyn Yu.B., Solomeshch M.A.* Varyatsyonnye zadachi statyky optymalnykh sterzhnevykh system (Variation problems of optimal rod systems static). L.: LGU, 1980, 208 pp.
2. *Grynev V.B., Fylyppov A.P.* Optymyzatsyya elementov konstruktsyy po mekhanycheskim kharakterystykam (Optimization of the structural elements on the mechanical characteristics). K.: Naukova dumka, 1975, 294 pp.
3. *Pochtman Yu.M. Baranenko V.A.* Dynamycheskoe programmyrovanye v zadachakh stroytelnoy mekhanyky (Dynamic programming problems in structural mechanics) M.:Stroyyzdat, 1984,.110pp.

4. *Dzyuba A.P.* Optymalnoe proektyrovanye konstruktsyy na osnove printsypa L.S. Pontryagyna (Optimal design of structures on the basis of LS Pontryagin). - Dnepropetrovsk: Izd. DGU, 1984, 136 pp.
5. *Pastrygyn L.A.* Statystycheskye metody poiska (Statistical methods of search). M.: Nauka, 1968, 376 pp.
6. *Malkov V. P., Ugodchikov A.G.* Optimizaciya uprugih sistem (Optimization of elastic systems). M.: Nauka, 1981, 288 pp.
7. Gulyaev V.I., Bazhenov V.A., Koshkin V.L. Metody optimizacii v stroitel'noj mekhanike (Optimization Methods in Structural Mechanics). K.: UMKVO, 1989, 192 pp.
8. *Rejman M.I., Shapiro G.S.* Optimal'noe proektirovanie deformiruemyh tverdyh tel (Optimal design of deformable solids). Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela. Tom 12, Itogi nauki i mekhaniki, M.: 1978 p. 5 - 90.
9. *Buslenko N.P., Golenko D.I., Sobol' N.M., Sragovich V. G., SHrejder YU. A.* Metod statisticheskih ispytanij (metod Monte-Karlo) (The method of statistical tests (Monte Carlo)). M.: Fizmatgiz, 1962, 332 pp.
10. *Ginzburg I.N., Kan S.N.* Ob odnom metode vybora optimal'nyh parametrov tonkostennoj konstrukcii (A method for selecting the optimal parameters of thin-walled structure). Trudy VI Vsesoyuznoj konferencii po teorii obolochek i plastin. Dnepropetrovsk, 1969, M.: Nauka 1970. p. 271-273.
11. *Teters G.A., Rikards R.B., Narusberg V.L.* Optimizaciya obolochek iz sloistyh kompozitov (Optimizing the shells of laminated composites). Riga.: Zinatne, 1978, 239 pp.
12. *White R.C.* A survey of random methods for parameter optimization. Simulation, 17, № 5b, 1971.
13. *Pochtman YU.M., Filatov G.V.* Optimal'noe proektirovanie konstrukcij metodom sluchajnogo poiska (Optimal design of structures by random search). Problemy sluchajnogo poiska, Vyp. 4. Riga, 1975.
14. *Sobol' I.M.* Chislennye metody Monte-Karlo (Numerical methods of Monte Carlo). M.: Nauka. 1973. 312 pp.
15. *Gmurman V.E.* Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika (Probability theory and mathematical statistics). - M: Vysshaya shkola., 1977, 479 pp.
16. *Liu B.* Uncertain programming, Wiley, New York, USA, 1999

*Baranenko V.A., Volchok D.L.*

**MAXIMAL LOAD VALUE CALCULATION OF COMPRESSED CYLINDRICAL SHELL WITH STABILITY AND STRENGTH RESTRICTION USING STATISTICAL INITIAL DATA**

The paper considers the deterministic and stochastic programming tasks. It consists of determining of the maximum value of such characteristics as the axial force magnitude of the compressed circular cylindrical shell with the given parameters of shape: radius, thickness and length. The conditions of bearing capacity have to be provided. They are stability and durability. The method of statistical tests (Monte Carlo method) is involved to realize tasks. The simulation (statistical) algorithm is created. The investigation results are compared with deterministic solution in the case of the stochastic data.

**Keywords:** cylindrical shell, conditions of bearing capacity, axial force, the Monte Carlo method, statistical (simulation) modelling.

*Бараненко В.А., Волчок Д.Л.*

**ПОИСК МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАГРУЗКИ КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЖАТОЙ ОБОЛОЧКИ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОЧНОСТИ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

В данной работе предоставляется детерминирована задача и задача стохастического программирования определения максимального значения такой характеристики, как величина осевой силы сжатой круговой цилиндрической оболочки при заданных параметрах формы: радиуса, толщины и длины по условиям несущей способности: устойчивости и прочности. К реализации этих задач привлекается метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Построен алгоритм имитационного (статистического) моделирования. Результаты исследования сравниваются с детерминированным решением в случае данных стохастической природы.

**Ключевые слова:** цилиндрическая оболочка, условия несущей способности, осевая сила, метод Монте-Карло, статистическое (имитационное) моделирование

УДК 539.3

*Бараненко В.О., Волчок Д.Л.* **Пошук максимального значення навантаження кругової циліндричної стиснутої оболонки в умовах стійкості та міцності при стохастичних даних** // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2015. – Вип. 96. – С. 88-99.
Розглядається детермінована задача і задача стохастичного програмування визначення максимального значення осьової сили стисненої кругової циліндричної оболонки
Табл. 3. Іл. 2. Бібліогр. 16 назв.

*Бараненко В.А., Волчок Д.Л.* **Поиск максимального значения нагрузки круговой цилиндрической сжатой оболочки в условиях устойчивости и прочности при стохастических исходных данных** // **С**опротивление материалов и теория сооружений. – 2015. – Вып. 96. – С. 88-99.
Рассматривается детерминирована задача и задача стохастического программирования определения максимального значения осевой силы сжатой круговой цилиндрической оболочки.

*Baranenko V.A., Volchok D.L.* **Maximal load value calculation of compressed cylindrical shell with stability and strength restriction using statistical initial data** // Opir materialiv i teoriya sporud.. – 2015. – Issue 96. – P. 88-99. – Ukr.
The paper considers the deterministic and stochastic programming tasks. It consists of determining of the maximum value of such characteristics as the axial force magnitude of the compressed circular cylindrical shell

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада)***: кандидат технічних наук, доцент, заступник декана факультету ПЦБ ВОЛЧОК Денис Леонідович*
*Адреса робоча:* 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*, ВОЛЧОК Денис Леонідович*
***Адреса домашня:*** *49094 Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Мандриківська 149/60, ВОЛЧОК Денис Леонідович*
***Роб. тел.*** *+38(056)7563422;*
***мобільний тел.:*** *+38(066) 727-656-0*
*E-mail – VolchokDL@yandex.ru*

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада)***: доктор технічних наук, професор Бараненко Валерій Олексійович*
*Адреса робоча:* 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*, Бараненко Валерій Олексійович*
***Адреса домашня:*** *49005 Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Писаржевського 8а/70, Бараненко Валерій Олексійович*
***Роб. тел.*** *+38(056)7563422;*
***мобільний тел.:*** *+38(066) 125-459-7*
*E-mail – baranenko1941@ukr.net*