

Предложенная технология, таким образом, является эффективным инструментом решения задач анализа и синтеза сложных объектов, в т.ч. механизма наклона плавильной печи. Реализация описанной технологии на примере оптимального ее проектирования МНПП является направлением дальнейших исследований.

**Список литературы:** 1. *Полищук Т.В., Пеклич М.М., Ткачук Н.Н.* Кинематический и силовой расчет механизма наклона плавильной печи // *Механіка та машинобудування*. – 2007. – №1. – С.100-106. 2. *Полищук Т.В., Ткачук Н.Н.* К вопросу о кинематическом и силовом анализе механизма наклона плавильной печи // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: „Машинознавство та САПР”. – 2007– № 29. – С.122-131. 3. *Полищук Т.В.* Оптимальное проектирование механизма наклона плавильной печи: модели для анализа напряженно-деформированного состояния // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: „Динаміка та міцність машин”. – 2007. – № 38. – С.129-134. 4. *Полищук Т.В.* Модельная задача об изгибе коромысла механизма наклона плавильной печи // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: „Машинознавство та САПР”. – 2008. – №2. – С.125-144. 5. *Дитрих Я.* Проектирование и конструирование: Системный подход. – М.: Мир, 1981. – 456 с. 6. *Сea Ж.* Оптимизация. Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1973. – 244 с. 7. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с. 8. *Артоблевский И.И.* Теория механизмов. – М.: Наук, 1965. – 776 с. 9. *Лурье А.И.* Аналитическая механика. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 824 с. 10. *Лурье А.И.* Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с. 11. *Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Грищенко Г.Д., Орлов Е.А.* Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения // *Механіка та машинобудування*. – 2005. – № 1. – С.184-194. 12. *Ткачук Н.А., Грищенко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н.* Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // *Механіка та машинобудування*. – 2006. – №1. – С.57-79.

*Поступила в редколлегию 21.02.08*

УДК 621.863

**Н.М. ФІДРОВСЬКА**, канд. техн. наук, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

## **ВІСІНЕСИМЕТРИЧНИЙ СТИСК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ**

У статті вирішується задача визначення прогину стінки циліндричної оболонки канатного барабана, який навантажений асиметрично, з використанням рівняння Ейлера для варіаційної задачі.

In article one should solve the problem of cylindrical casings walls sag of roped rum which is occupied with asymmetrical load using equation of Eelier for variated task.

**Постановка проблеми.** Оболонка канатного барабану у більшості випадків є циліндричною. Дія канату, який намотується на барабан, зумовлює зовнішній тиск. Міцність оболонки і її геометричні розміри повністю

зумовлено величиною цього тиску.

**Аналіз попередніх досліджень.** У багатьох авторів [1-3] цей тиск приймався постійним і задача таким чином розглядалася як вісісиметрична.

Але якщо врахувати наявність сил тертя між канатом і барабаном [4], то тиск буде змінюватись в залежності:

$$P = P_0 e^{-k m \frac{l-x}{h} 2p}, \quad (1)$$

де  $P_0$  – максимальний тиск, який має місце в точці сходу каната з барабана;  $m$  – коефіцієнт тертя між канатом і барабаном;  $k$  – коефіцієнт, який враховує геометричні та пружні властивості канату та барабану;  $l$  – довжина навивки;  $h$  – крок навивки.

Проведені експерименти різних авторів [5], [6] також підтверджують змінність тиску при навивці каната на барабан.

Поперечний згин циліндричної оболонки є досить складною задачею і розглядався багатьма авторами [7], [8], які для її розв'язання застосовували деякі спрощення, наприклад, такі як:

- 1) оболонка в коловому напрямку нерозтяжна;
- 2) в серединній поверхні тонкостінної конструкції здвиги відсутні.

**Формулювання цілей і матеріал досліджень.** Представимо радіальні переміщення циліндричної оболонки у вигляді функції:

$$w = f(x) \cos nj, \quad (2)$$

де  $f(x)$  – статично невизначена функція, яка змінюється впродовж осі;  $j$  – кут, який відраховується від вертикальної осі  $y$  (рис. 1);  $n = 2, 3, 4$  – числа натурального ряду.

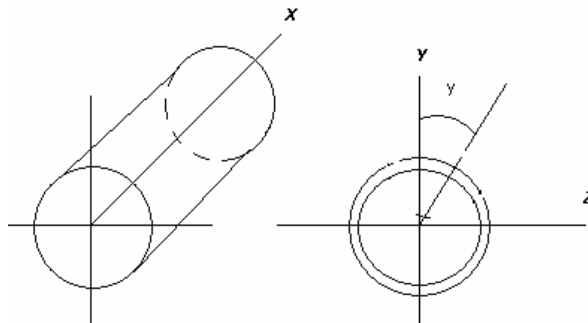


Рис.1. Розрахункова схема

Вираз для потенційної енергії  $\Gamma$  на одиницю довжини оболонки буде мати вигляд:

$$\Gamma = \int \left[ \frac{1}{2} m_\varphi \cdot x_\varphi + \frac{1}{2} m_{x\partial\partial} \cdot x_x + m_{x\varphi\partial\partial} \cdot x_x + \frac{\delta}{2} G_{x\partial\partial} \cdot \varepsilon_\varphi - m_{\varphi 0} \cdot x_\varphi \right] R \cdot d \cdot \varphi, \quad (3)$$

де  $m_j = D(x_j + hx_x)$  – загальні згибні моменти;  $D = \frac{Ed^3}{12(1-h)}$  – згибна жорсткість;  $E$  – модуль жорсткості;  $d$  – товщина оболонки;  $h$  – коефіцієнт Пуассона;  $x_j = -\frac{1}{R^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial j^2} + w \right)$  – кривизна серединної поверхні в коловому напрямку;  $R$  – радіус серединної поверхні оболонки;  $x_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$  – кривизна серединної поверхні оболонки в напрямку твірної;  $m_{x\partial\partial} = D(x_x + hx_j)$  – додаткові подовжні згибні моменти;  $m_{xj\partial\partial} = m_{jx\partial\partial} = D(1-h)x_{xj}$  – додаткові крутні моменти окремих елементів оболонки;  $x_{xj} = \frac{1}{R} \left( \frac{\partial V_n}{\partial x} - \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial j} \right)$  – відносний кут закручування елементів;  $V$  – колові переміщення;  $G_{x\partial\partial} = E \frac{\partial U}{\partial x}$  – додаткові нормальні напруження;  $U$  – подовжні переміщення;  $e_x$  – відносна деформація вповдовж твірної;  $G_j$  – кільцеві нормальні напруження

$$G_j = \frac{R}{d} \left( \frac{\partial Q_{x\partial\partial}}{\partial x} + \frac{\partial Q_j}{R \partial j} \right) + \frac{pR}{d};$$

$Q_{\partial\partial}$  і  $Q_j$  – поперечні сили

$$Q_{x\partial\partial} = \frac{\partial m_{x\partial\partial}}{\partial x} + \frac{\partial m_{jx\partial\partial}}{R \partial j}, \quad Q_j = \frac{\partial m_j}{R \partial j} + \frac{\partial m_{xj\partial\partial}}{\partial x};$$

$e_j = \frac{G_j}{E} - m \frac{G_{x\partial\partial}}{E}$  – відносна деформація в коловому напрямку;  $m_j x_j = p w$  – потенціал зовнішніх сил.

На основі гіпотези про нерозтяжність кільця відносні деформації в коловому напрямку:

$$e_j = \frac{w}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial U} = 0.$$

Звідки знаходимо:

$$V = -\frac{1}{n} f(x) \sin nj .$$

Використовуючи друге припущення, а саме про відсутність зсуву серединної поверхні, отримаємо:

$$\frac{\partial U}{Rdj} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad U = -\frac{R}{n^2} \frac{\partial f(x)}{\partial x} \cos nj .$$

Підставляючи всі ці вирази у рівняння (3), отримаємо:

$$\begin{aligned} \Gamma = \int \frac{D}{2} \left\{ \left( 1 + \frac{E\delta R^2}{D} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 \right) \cos^2 n\varphi - \frac{2n}{R^2} \left( n^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} f(x) \right) \cos^2 n\varphi + \right. \\ \left. + \frac{2}{R^2} \frac{(n^2-1)}{n^2} \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \sin^2 n\varphi + \frac{1}{R^4} f^2(x)(n^2-1)^2 \cos n\varphi - \right. \\ \left. \frac{T_0 e^{-k_{\mu} \frac{l-x}{k}}}{D} f(x) \cos n\varphi \right\} R d\varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Для вирахування інтеграла  $\int \cos nj \, dj$  розглядаємо  $\cos nj$  в ряд:

$$\begin{aligned} \cos nj = 1 - \frac{4 \left( \frac{n}{2} \right)^2}{2!} \sin^2 j + \frac{4 \left( \frac{n}{2} \right)^2 \left[ 4 \left( \frac{n}{2} \right)^2 - 4 \right]}{4!} \sin^4 j - \\ - \frac{4 \left( \frac{n}{2} \right)^2 \left[ 4 \left( \frac{n}{2} \right)^2 - 4 \right] \left[ 4 \left( \frac{n}{2} \right)^2 - 4^2 \right]}{6!} \sin^6 j + \dots \end{aligned}$$

Крім цього, замінімо  $\sin^2 j$  і  $\sin^4 j$  виразами:

$$\sin^2 j = \frac{1}{2} (-\cos 2j + 1); \quad \sin^4 j = \frac{1}{8} (\cos 4j - 4 \cos 2j + 3).$$

Тоді отримаємо:

$$\begin{aligned} \int \cos n\varphi d\varphi = \int d\varphi - \frac{1}{2} \int \frac{n^2}{2} d\varphi + \frac{3}{8} \int \frac{n^2(n^2-4)}{24} d\varphi = \\ = 2\pi \left[ 1 - \frac{n^2}{4} \left( 1 - \frac{n^2-4}{16} \right) \right]. \end{aligned}$$

Вираз (4) буде мати вигляд:

$$\Gamma = \frac{Dp}{R} \left\{ R \left( 1 + \frac{EdR^3}{Dn^2} \right) \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 - \frac{2n(n^2-1)}{R} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} f(x) + \frac{2(n^2-1)}{Rn^2} \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{R^3} (n^2-1)^2 f^2(x) - 2 \left[ 1 - \frac{n^2}{4} \left( 1 - \frac{n^2-4}{16} \right) \right] \frac{T_0 R e^{-km \frac{l-x}{h} 2p}}{D} f(x) \right\}. \quad (5)$$

Запишемо рівняння Ейлера для варіаційної задачі:

$$\frac{\partial \tilde{A}}{\partial f(x)} - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial}{\partial f'(x)} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left( \frac{\partial}{\partial f''(x)} \right) = 0.$$

Для нашого випадку отримаємо

$$R \left( 1 + \frac{EdR^2}{Dn^2} \right) \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} - \frac{2(n^2-1)}{R} \left( n - \frac{1}{n^2} \right) \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{1}{R^3} (n^2-1)^2 f(x) - \\ - \frac{T_0}{D} \left[ 1 - \frac{n^2}{4} \left( 1 - \frac{n^2-4}{16} \right) \right] e^{-km \frac{l-x}{n} 2p} = 0. \quad (6)$$

Одержуємо диференційне рівняння IV-ого ступеню, яке можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial^4 f}{\partial x^4} - a_1 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + a_2 f = a_3 e^{km \frac{l-x}{n} 2p}, \quad (7)$$

де

$$a_1 = \frac{2(n^2-1) \left( n - \frac{1}{n^2} \right)}{R^2 \left( 1 + \frac{EdR^2}{Dn^2} \right)}, \quad a_2 = \frac{(n^2-1)^2}{R^4 \left( 1 + \frac{EdR^2}{Dn^2} \right)}, \\ a_3 = \frac{T_0 \left[ 1 - \frac{n^2}{4} \left( 1 - \frac{n^2-4}{16} \right) \right]}{RD \left( 1 + \frac{EdR^2}{Dn^2} \right)}.$$

Загальне рішення рівняння (7) в даному випадку буде мати вигляд:

$$f(x) = e^{\sqrt{\frac{a_1}{2}} x} \left( c_1 \cos \sqrt{\frac{a_1^2}{4} - a_2} x + c_2 \sin \sqrt{\frac{a_1^2}{4} - a_2} x \right) + A_1 e^{-km \frac{l-x}{n} 2p} - c_5, \quad (8)$$

де

$$A_1 = \frac{a_3}{\frac{k^4 m^4}{n^4} 16p^4 - a_1 \frac{k^2 m^2}{n^2} 4p^2 + a_2},$$

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 0, \quad c_5 = -a_1 e^{-km \frac{l}{n} 2p}.$$

Таким чином, функція прогину буде мати вигляд:

$$f(x) = A_1 e^{-km \frac{l-x}{n} 2p} + c_5 = A_1 e^{-km \frac{l}{n} 2p} \left( e^{km \frac{l}{n} 2p} - 1 \right). \quad (9)$$

**Висновки.** Отримане рішення дає змогу визначення напруження в оболонці відповідно до її геометричних розмірів, пружних властивостей та закону навантаження.

**Список літератури.** 1. Александров М.П. Грузоподъемные машины. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – 552 с. 2. Абрамович И.И. и др. Грузоподъемные краны промышленных предприятий. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с. 3. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. – М.: Машиностроение, 1989. – 563 с. 4. Фидоровская Н.Н. Влияние трения на натяжение каната, навиваемого на барабан // Збірник наукових праць УДАЗТ. – Вип. 58. – Харків, 2004 – С.116-121. 5. Артеменко Н.П. Напряжение в стенке кранового барабана. Дисс. ... канд. техн. наук. / ХММИ, 1947. – 91 с. 6. Морозов Б.А. Исследование прочности барабанов грузоподъемных машин. – ЦНИИТМАШ, кн. 27, 1949. – С.42-51. 7. Канн С.Н. Строительная механика оболочек. – М.: Машиностроение, 1966. – 508 с. 8. Доннелл Л.Г. Балки, пластины и оболочки. – М.: Наука, 1982 – 31с.

Поступила в редколлегию 02.03.08

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>О.В. АКИМОВ, В.А. СОЛОШЕНКО, А.П. МАРЧЕНКО, В.А. ПЕТРОСЯНЦ</b> Применение методов компьютерно-интегрированного ресурсного проектирования к литым деталям ДВС по критерию эксплуатационных характеристик на примере колеса турбины турбокомпрессора.....	3
<b>И.В.АРТЕМОВ</b> Особенности работы машины срезки излишек смеси в составе автоматизированной формовочной линии крупного вагонного литья.....	16
<b>О.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК</b> Моделирование напряжений в шейном отделе позвоночника с ортезом.....	22
<b>А.В. ГРАБОВСКИЙ, Е.Н. БАРЧАН</b> Исследование динамического поведения и напряженно-деформированного состояния в элементах выбивной машины при динамических быстроизменяющихся процессах.....	29
<b>Ю.Б. ГУСЕВ</b> Проблема обеспечения долговечности, работоспособности и нагрузочной способности мостовых перегружателей.....	35
<b>Ю.Б. ГУСЕВ, А.Ю.ТАНЧЕНКО</b> К вопросу об оптимальном синтезе элементов мостовых перегружателей.....	43
<b>В.В. ДИОРДИЙЧУК</b> Страхочное приспособление для аппарата электрошлаковой сварки, применяемого в машиностроении .....	67
<b>Е.И. ЗИНЧЕНКО, Г.А. КРОТЕНКО, И.Я. ХРАМЦОВА</b> Проблемы синтеза механизмов.....	73
<b>А.А. ЗОЛОЧЕВСКИЙ, Г.В. ГОНЧАРОВА, Ю.А. БОРОДЕНКО, Ю.С. КОЗЬМИН</b> Моделирование деградации сцинтилляционных детекторов.....	79
<b>А.А. ЗОЛОЧЕВСКИЙ, Г.В. ГОНЧАРОВА, А.И. МИНКО, И.В. ШАЛАШОВА</b> Моделирование диффузионных напряжений, наведенных психоактивными веществами, в кровеносных сосудах биомеханической системы.....	90
<b>С.Н. КАВЕЦКИЙ, Т.В. ГЕРЕШ</b> Синтез планетарных механизмов АА и II со связанными и несвязанными колесами с учетом углов зацепления.....	98
<b>Т.В. ПОЛИЩУК</b> Напряженно-деформированное состояние макета механизма наклона плавильной печи: модели, алгоритмы, результаты.....	103
<b>А.А. СВЯТУХА, О.С. ПОДОЛЯК</b> Сборка шатунно-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания.....	115
<b>А.Н. ТКАЧУК</b> Численное решение тестовых термоупругих контактных задач для элементов пресс-форм.....	118
<b>Н.Н. ТКАЧУК</b> Методы и модели для исследования контактного взаимодействия шарового поршня с беговой дорожкой в радиальной гидропередаче.....	124
<b>А.Д. ЧЕПУРНОЙ, Т.В. ПОЛИЩУК, Н.А. ТКАЧУК</b> Теоретические основы проектирования механизма наклона плавильной печи.....	139
<b>Н.М. ФІДРОВСЬКА</b> Вісінесиметричний стиск циліндричної оболонки.....	145

НАУКОВЕ ВИДАННЯ  
ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Тематичний випуск  
“МАШИНОЗНАВСТВО та САПР”

Збірник наукових праць  
№ 9

Науковий редактор  
Ткачук М.А.

Технічний редактор  
Ткачук Г.В.

Відповідальний за випуск  
Обухова І.Б.

Обл. вид. № 86-08.

Підп. до друку 08.05.2008 р. Формат 60х90/16. Папір офісний.  
Віддруковано на ризографі. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.8,1.  
Обл.-вид. арк.9,6. Тираж 300 прим. Зам. № 165.

Надруковано СПД ФО Ізрайлев Є.М. Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р. 61024, Харків, вул. Гуданова, 4/10.
---