

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
OERLIKON BARMAG GmbH (Німеччина)  
THYSSENKRUPP MATERIALS INTERNATIONAL GmbH (Німеччина)  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КП»  
ТОВ «БАХ-ІНЖИНІРИНГ»  
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЛОДЗЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Польща)  
БАТУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Ш. РУСТАВЕЛІ (Грузія)  
ПАТ «САН ІНБЕВ УКРАЇНА»



Матеріали VI міжнародної  
науково-практичної конференції

# «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

26 - 29 квітня 2016 р.  
м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004  
К63

Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016): матеріали тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції (26–29 квітня 2016 р., м. Чернігів). – Чернігів: ЧНТУ, 2016.– 356 с.

### **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

д.е.н., проф. Шкарлет С.М., ректор ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Ступа В.І., завідувач кафедри ТМД ЧНТУ, м. Чернігів  
доктор Шефер Клаус віце-президент компанії Oerlikon Barmag GmbH, Німеччина  
Штильгер Мартін директор відділення «Матеріали для Східної Європи» компанії ThyssenKrupp GmbH, Німеччина  
д.т.н., проф. Бобир М.І., директор Механіко-машинобудівного інституту, НТУУ «КПІ»  
д.т.н., проф. Андренко П.М., професор кафедри ГПА НТУУ «ХПІ», м. Харків  
д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О., професор кафедри ОКМ ХНТУ, м. Херсон  
д.е.н., проф. Ільчук В.П. завідувач кафедри фінансів ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький завідувач кафедри МРВОАВ ВНТУ м. Вінниця  
д.т.н., проф. Казимир В.В., проректор з наукової роботи ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Кальченко В.І., завідувач кафедри АТ та ГМ ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Кальченко В.В., проректор з науково-педагогічної роботи ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Ковалевський С.В., завідувач кафедри ТМ ДДМА, м. Краматорськ  
д.т.н., проф. Кузнецов Ю.М., професор кафедри КВМ НТУУ «КПІ», м. Київ  
д.т.н., проф. Орловський Б.В. завідувач кафедри МЛП КНУТД, м. Київ  
д.т.н., проф. Павленко П.М., заступник директора з НМР інституту ІДС НАУ, м. Київ  
д.т.н., проф. Пальчевський Б.О., завідувач кафедри кафедри ПАВП ЛНТУ, м. Луцьк  
д.т.н., проф. Пінчевська О.О., завідувачка кафедри ТД НУБіПУ, м. Київ  
д.т.н., проф. Пилипенко О.І., професор кафедри ТЗ та Б ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Радзевич С.П., APEX Tool Group, LLC, США  
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю., завідувач кафедри управління якістю та проектами ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Сиза О.І., завідувачка кафедри ХТ ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Струтинський В.Б., завідувач кафедри КВМ НТУУ «КПІ», м. Київ  
д.т.н., проф. Тіхенко В.М., завідувач кафедри МРВМС ОНПУ, м. Одеса  
д.т.н., проф. Філоненко С.Ф., директор інституту ІДС НАУ, м. Київ  
д.т.н., проф. Федориненко Д.Ю., професор кафедри ТМД ЧНТУ, м. Чернігів  
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О., завідувач кафедри ТМ і ПМ УАД, м. Львів

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

д.т.н., проф. Федориненко Д.Ю. тел:(063) 469 14 12  
к.т.н., доц. Сапон С.П. тел:(097) 384 41 97  
к.т.н. Космач О.П., тел:(063) 335 39 34

### **КООРДИНАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ**

Сапон Сергій Петрович, тел. 097 3844197, e-mail: [s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com)

\*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори

УДК 621.642.39

Ю.М. Хомяк, канд. техн. наук, доцент

І.А. Ярова, канд. техн. наук, доцент

Ю.В. Яровий, канд. техн. наук, доцент

Одеський національний політехнічний університет, [jom38@mail.ru](mailto:jom38@mail.ru), [inaodua@ukr.net](mailto:inaodua@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГИНУ ДНИЩ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ

Актуальною задачею сучасного машинобудування є поліпшення конструкцій і розробка точних методів розрахунку посудин і апаратів. Плaskі днища і кришки посудин і резервуарів, поршні, діафрагми і пружні елементи приладів розглядають як круглі кільцеві пластини. Перспективним напрямком поліпшення пластинчастих елементів конструкцій є оптимізація їх форми, яка полягає в мінімізації використаного матеріалу за рахунок його перерозподілу з метою зменшення рівня напружень. Таким чином, об'єктом дослідження є днища вертикальних посудин, що мають змінну товщину. Днища змінної товщини виготовляють методом штампування або лиття. Матеріал днищ – вуглецева або низьколегована сталь.

Днище розглянуто як пластина змінної товщини, що жорстко закріплена і навантажена рівномірно розподіленим поперечним навантаженням  $q(r)$ . Товщину пластини  $\delta(r)$  та навантаження  $q(r)$  вважаємо незмінними у коловому напрямку. Зміну товщини пластини у радіальному напрямку описуємо функцією Гауса

$$\delta(r) = \delta_0 \exp\left(-\frac{\beta r^2}{6a^2}\right), \quad (1)$$

де  $\beta$  – характеристика нерівномірності товщини;

$\delta_0$  – товщина пластини в її центрі.

Визначення напружень і деформацій пластини має певні складнощі, оскільки коефіцієнти рівнянь, що описують напружено-деформований стан, змінюються в залежності від її товщини. Метод лінійного апроксимування [1] не дозволяє одержати точний розв'язок задачі для навантаженої пластини змінної товщини. Складність задачі розрахунку пластини змінної товщини призвела до необхідності застосовувати до її аналітичного розв'язку апарат спеціальних (трансцендентних) функцій – функцій Лежандра, поліноми Гегенбауера і Лагера [2]. Точний розв'язок задачі вигину пластини, товщина якої змінюється за експоненціальним законом, отримано із застосуванням функцій Уіттекера.

Диференційне рівняння вісесиметричного вигину круглої пластини змінної товщини зводимо до безрозмірного рівняння другого порядку відносно кута повороту нормалі до серединної поверхні  $\varphi(x)$ :

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \left(\frac{1}{x} - \beta x\right) \frac{d\varphi}{dx} - \left(\frac{1}{x^2} + \mu\beta\right) \varphi = -px \exp\left(\frac{\beta x^2}{2}\right), \quad (2)$$

де загальна безрозмірна характеристика матеріалу, розмірів та навантаження пластини:

$$p = 6(1 - \mu^2) \frac{q_0 a^3}{E \delta_0^3}; \quad (3)$$

де  $q_0$  – інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження;

$a$  – радіус зовнішнього контуру пластини;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу пластини.

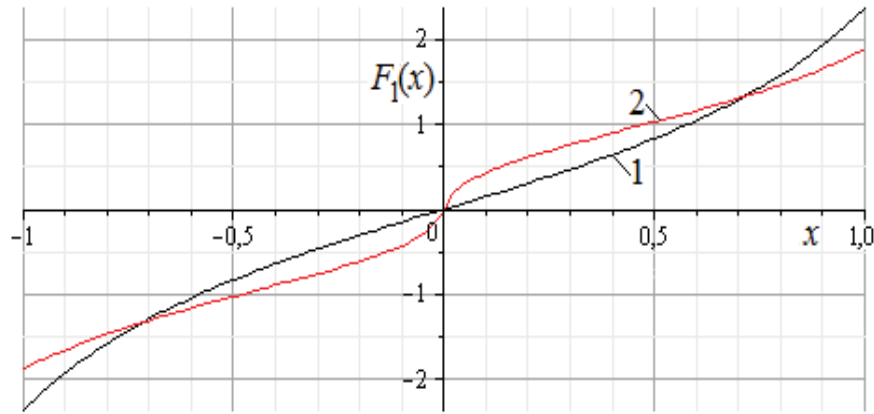


Рис. 1 – Власна функція  $F_1(x)$  диференційного рівняння згинання круглої пластини змінної товщини при параметрі  $\beta = 3$  та коефіцієнтах Пуассона: 1 –  $\mu = 0$ ; 2 –  $\mu = 0,5$ .

Часткове рішення рівняння (2) для заданої правої частини:

$$\varphi_0 = -\frac{px}{(3-\mu)\beta} \exp\left(\frac{\beta x^2}{2}\right) \quad (4)$$

Загальне рішення рівняння (2):

$$\varphi_*(x) = \frac{\exp(0,25\beta x^2)}{x} \left[ C_1 M_{k,\gamma}\left(\frac{1}{2}\beta x^2\right) + C_2 W_{k,\gamma}\left(\frac{1}{2}\beta x^2\right) \right] \quad (5)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  – довільні постійні;

$M_{k,\gamma}(z)$  та  $W_{k,\gamma}(z)$  – функції Уїттекера;

$k = (1-\mu)/2$ ,  $\gamma = 1/2$  – параметри функцій Уїттекера.

Повне рішення неоднорідного рівняння (2) є сумою рішень (4) і (5):

$$\varphi(x) = \varphi_*(x) + \varphi_0(x). \quad (6)$$

В повному рішенні довільні постійні  $C_1$  та  $C_2$  мають визначатися з граничних умов для функції  $\varphi(x)$ .

Рівняння (2) має фундаментальну систему рішень, що представлені добутками елементарних функцій та функцій Уїттекера:

$$F_1(x) = x^{-1} \exp(0,25\beta x^2) \cdot M_{k,\gamma}(0,5\beta x^2), \quad (7)$$

$$F_2(x) = x^{-1} \exp(0,25\beta x^2) \cdot W_{k,\gamma}(0,5\beta x^2).$$

Оскільки днище – кругла пластина без центрального отвору, внаслідок осьової симетрії кут повороту в її центрі має дорівнювати нулю:  $\varphi(0) = 0$ . Цю умову виконаємо, прийнявши  $C_2 = 0$  і враховуючи, що  $F_1(x)|_{x=0} = 0$  при будь яких значеннях коефіцієнта Пуассона матеріалу пластини (див. рис. 1). Для наочності графік побудовано для діапазону аргументу  $-1 < x < 1$ . Зазначимо, що коефіцієнт Пуассона ізотропних матеріалів  $0 < \mu < 0,5$ , отже для довільної величини  $\mu$  значення функції  $F_1(x)$  будуть розташовані у проміжку, обмеженому лініями 1 та 2.

#### Список посилань

1. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф.Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.

2. Коренева Е.Б. Аналитические методы расчета пластин переменной толщины и их практические приложения. / Е. Б. Коренева/ – М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2009. – 239 с.

УДК 62-231:621.9.04

О.В. Шелепко, здобувач

А.М. Кириченко, докт.техн.наук, професор

Кіровоградський національний технічний університет, [amkyrychenko@gmail.com](mailto:amkyrychenko@gmail.com)

### МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ БАГАТОКООРДИНАТНОГО ВЕРСТАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ «ПЕНТАПОД»

Для підвищення конкурентної спроможності та якості випускаємої продукції необхідно застосовувати у виробництві передове технологічне обладнання. До такого обладнання можна віднести верстати паралельної структури, які за своїми характеристиками відповідають сучасним потребам виробництва, маючи змогу швидко підстроюватися під зміни потреб ринку в випускаємій продукції.

Багатокоординатний верстат паралельної структури «пентапод» здатний забезпечити більші кути повороту робочого органа, що можуть досягати 90° [1, 2].

Щоб виготовити якісне обладнання, яке відповідало б потребам конкретного споживача, необхідно на етапі проектування визначитись з геометричними параметрами вузлів верстата. Для цього потрібно дослідити залежності переміщення приводів при переміщенні робочого органа на типових траєкторіях руху інструмента.

Для вирішення поставленої задачі спроектовано 3D модель багатокоординатного верстата паралельної структури з механізмом «пентапод» та на основі кінематичних залежностей [3] побудовані графіки переміщення приводів верстата при переміщенні по заданим траєкторіям, приклади яких наведені у таблиці 1. Зокрема, діаметр кругової траєкторії становить 200 мм, лінійне переміщення 250 мм по осям Y та Z. З отриманих залежностей можна зробити висновок, що характер зміни переміщення приводів при переміщенні по колу і лінійному переміщенні при різному розміщенні робочого органа в просторі має певні відмінності.

Таблиця 1 – Результати дослідження переміщення приводів верстата

Площина траєкторії руху	Рух робочого органа по заданій траєкторії	Переміщення приводів
1	2	3
<p>..... - перший привід, - · - · - · - другий привід, - - - - - третій привід,                      - - - - - четв'ятий привід, - · - · - · - п'ятий привід.</p>		
ХОУ	