

УДК 539.3

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАГРІВУ ТА ЗМІНИ УМОВ КОМБІНОВАНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ КОНТУРУ НА СТІЙКІСТЬ І ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ ПОЛОГИХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДІЇ ТИСКУ

О.П. Кривенко¹,
канд. техн. наук

¹Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680; e-mail: olakor@ukr.net

Вивчається вплив попереднього нагріву на втрату стійкості та власні коливання пружної пологої квадратної у плані сферичної панелі при комбінованому закріпленні контуру: одна частина контуру жорстко затиснута, інша має шарнірне опирання. Розглядається послідовна зміна одного типу кінематичних граничних умов на інший. Порівнюються два варіанти часткової заміни жорсткого затиснення контуру панелі на шарнірне опирання. На кожному кроці навантаження власні частоти і форми коливань панелі визначаються з урахуванням наявності попереднього напруження конструкції від дії статичного термосилового навантаження.

Ключові слова: пружна оболонка, нелінійне деформування, стійкість, власна частота, власна форма коливань, термосилове навантаження, комбіноване закріплення контуру.

Вступ. Форма нелінійного деформування та несуча спроможність пологих панелей залежать від низки факторів, до яких належить і спосіб закріплення конструкції [1-7]. У реальних умовах оболонкові системи перебувають під дією як силових, так і температурних полів. Зазвичай дія нагріву приводить до появи додаткових температурних деформацій, які можуть значно змінити жорсткість тонкої оболонки. Крім того, наявність термосилових статичних навантажень може істотно вплинути на власні частоти і форми коливань тонкостінної оболонкової системи [8-13]. Таким чином, для підвищення достовірності визначення напружено-деформованого стану (НДС) гнучких оболонкових конструкцій у розрахунках необхідно враховувати дію температурного навантаження, а дослідження власних коливань оболонок потрібно проводити з урахуванням переднапруженого стану, що викликаний дією термосилового навантаження.

Аналіз впливу нагріву на втрату стійкості та власні коливання гнучких оболонок при зміні умов закріплення контуру є недостатньо вивченою проблемою у зв'язку із підвищеною складністю розв'язання подібних задач.

Постановка задачі. У роботі розглянуто питання впливу попереднього нагріву на стійкість та на нижчі частоти і форми власних коливань тонких пологих квадратних у плані сферичних панелей, що

навантажені температурним полем і тиском, при зміні параметрів комбінованого закріплення контуру. Робота є продовженням досліджень [3, 13]. Для розв'язання поставленої задачі використовується комплексний підхід, що базується на геометрично нелінійній скінченноелементній методиці [1, 2] дослідження НДС, стійкості та позакритичної поведінки тонких неоднорідних оболонок при термосилових навантаженнях у поєднанні зі скінченноелементною методикою [9, 13] розрахунку неоднорідних оболонок на власні коливання з урахуванням переднапруженого стану на кожному кроці статичного термосилового навантаження.

Розглядається попередньо нагріта пружна панель сталі товщини, що навантажується зовнішнім рівномірним тиском (рис. 1, а). Одна частина контуру оболонки жорстко затиснута, інша – шарнірно оперта. Для різних величин нагріву досліджено вплив на стійкість і власні коливання гнучкої панелі часткової заміни одного типу закріплення на інший. Термосилове навантаження оболонки реалізовувалось за такою схемою: спочатку панель поступово нагрівалася рівномірно за об'ємом на задану величину $T^{\circ}\text{C}$, а потім при зафіксованому температурному полі донавантажувалась рівномірним нормальним тиском інтенсивністю q . Панель розглядалась при чотирьох величинах попереднього нагріву на $T = 0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}$ і 30°C .

Матеріал оболонки – ізотропний. Прийнято наступні вихідні данні: модуль пружності $E = 19.6 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.3$, коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 0.125 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$, товщина $h = 0.01 \text{ м}$, стріла підйому $H = 4h$, розмір опорного контуру $a = 177.2h$, радіус серединної поверхні $R = 1968.49h$, параметр кривизни $K = 32$ ($K = 2a^2 / (Rh)$). Результати досліджень подані з використанням безрозмірних параметрів навантаження $\bar{q} = a^4 q / (Eh^4)$, $\bar{T} = T / 1^{\circ}\text{C}$ і прогину $\bar{u}^l = u^l / h$, де u^l – прогин панелі вздовж декартової осі x^l . За розрахункову скінченноелементну модель було прийнято чверть панелі з рівномірною сіткою 18×18 скінченних елементів, яка, як довели дослідження, забезпечує збіжність розв'язків.

Комбіноване закріплення контуру панелі визначалось за наступною схемою. Шарнірно оперта частина контуру b скінченноелементної моделі оболонки задавалася безрозмірним параметром $\bar{b} = 2b/a$. Розглянуто два варіанти поступової заміни жорсткого затиснення контуру оболонки на шарнірне опирання відповідно до напрямку зміни параметра

\bar{b} . У першому варіанті заміщення виконувалось, починаючи з центра бічної грані панелі (рис. 1, б), у другому – з кута панелі (рис. 1, в). Граничні значення параметра \bar{b} ($0 \leq \bar{b} \leq 1$) відповідають однорідним кінематичним умовам: $\bar{b} = 0$ є умовою жорсткого затиснення усього контуру панелі (—/—/—), а $\bar{b} = 1$ – умовою шарнірного опирання (—=—). Проміжні значення параметра $0 < \bar{b} < 1$ характеризують комбіноване закріплення контуру оболонки (—/—=—).

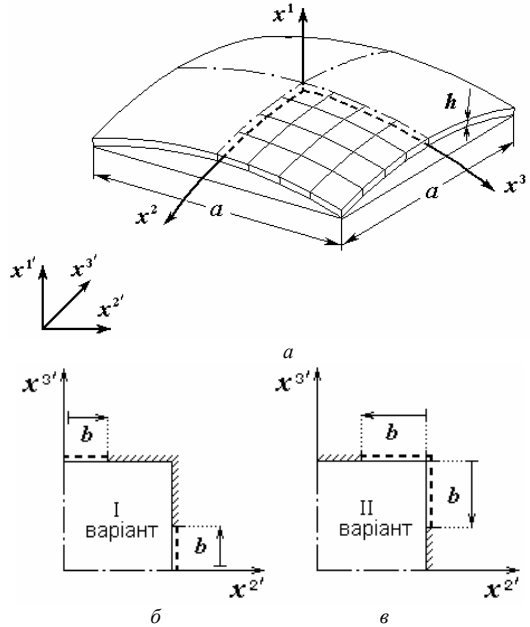


Рис. 1. Сферична панель з двома варіантами комбінованого закріплення контуру

Таким чином, досліджувалось три фактори впливу на стійкість і власні коливання сферичної панелі: різні граничні умови, способи комбінованого закріплення контуру та різні величини нагріву.

Вплив комбінованих граничних умов на стійкість і власні коливання нагрітої панелі

1. Результати дослідження впливу зазначених факторів на нелінійне деформування та втрату стійкості панелі докладно наведено в роботах [3, 14]. Аналіз результатів досліджень узагальнено у вигляді залежності величини верхнього критичного навантаження $\bar{q}_{кр}^e$ від параметра комбінованого закріплення контуру \bar{b} (рис. 2). Це дозволило в [3, 14] зробити такі висновки.

Для ненагрітої ($T = 0^\circ\text{C}$) і нагрітої на $T = 10^\circ\text{C}$ панелей для обох варіантів зміни граничних умов залежність “ $\bar{q}_{кр}^e - \bar{b}$ ” близька до лінійної з

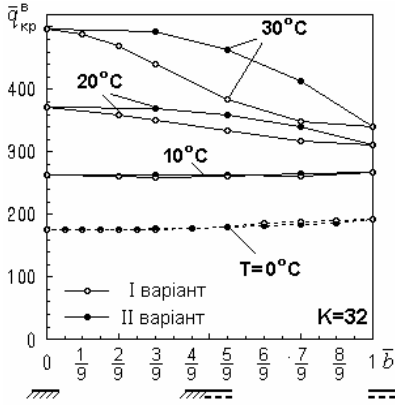


Рис. 2. Залежність верхнього критичного навантаження від величини параметра шарнірного опирання

незначним зростанням (порівняно зі жорстким затисненням) величини \bar{q}_{cr}^B при шарнірному опиранні, відповідно на 8.6 і 1.3%). Слабкий вплив на величину \bar{q}_{cr}^B способу зміни граничних умов у цьому випадку можна пояснити малістю температури попереднього нагріву.

З підвищенням величини нагріву ($T = 20^\circ$ і $30^\circ C$) починає проявлятися різниця в способі заміни жорсткого затиснення на шарнірне опирання. II варіант зміни граничних умов виявився ефективнішим. Так, наприклад, при $\bar{b} = 5/9$ різниця між величинами

\bar{q}_{cr}^B для I і II варіантів зміни граничних умов становить 7.6 і 20.4% (відповідно при $T = 20^\circ$ і $30^\circ C$). Цей факт у [3, 14] пояснюється тим, що у II варіанті перехід на слабкіші граничні умови відбувається із найжорсткішої області панелі – починаючи від кутів. При цих відносно великих величинах нагріву зі зростанням параметра \bar{b} величина \bar{q}_{cr}^B послідовно зменшується на 15.9 та на 31.7%, відповідно.

На рис. 3 подано форми деформування панелі після нагріву. Характер зміни форми деформування оболонки залежить лише від способу закріплення контуру (від параметра \bar{b}). При цьому (для кожного значення параметра \bar{b}) відповідна форма деформування нагрітої на $10^\circ C$, $20^\circ C$ і $30^\circ C$ панелі різняться лише за величиною переміщення її точок.

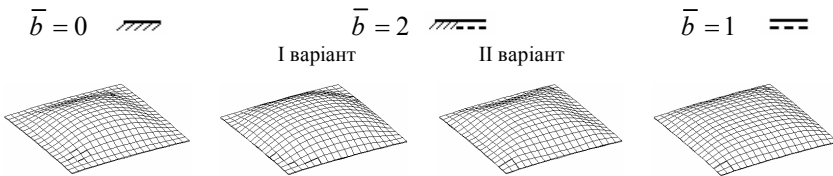


Рис. 3. Форма деформування панелі після нагріву $T = 10^\circ \div 30^\circ C$

2. Результати дослідження впливу на власні частоти та форми коливань оболонки комбінованих граничних умов та величин попереднього нагріву подано на рис. 4 – рис. 7 та в табл. 1 – табл. 5.

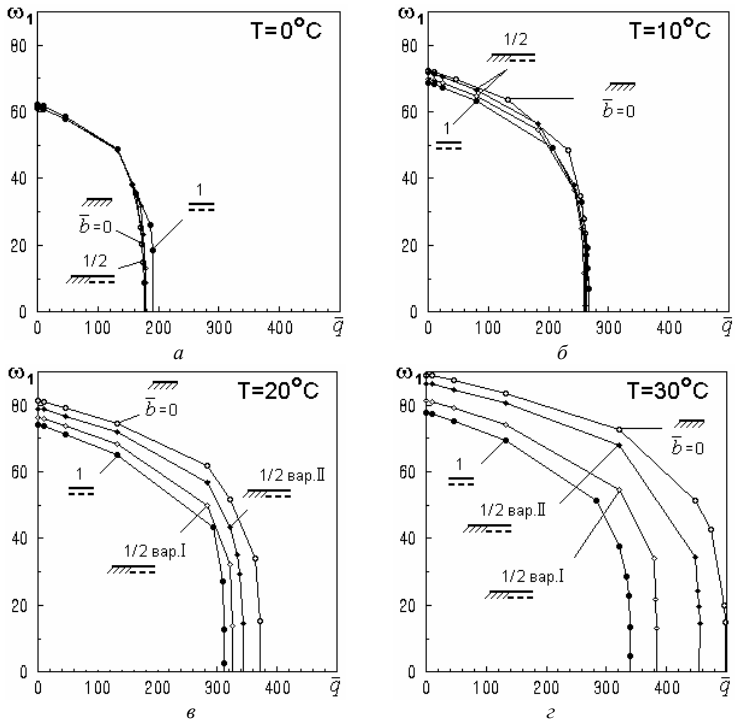


Рис. 4. Залежність діаграм “ $\omega_1 - \bar{q}$ ” від параметра граничних умов \bar{b} для різних величин нагріву

Для чотирьох варіантів термосилового навантаження на рис. 4 наведено еволюцію діаграм “перша власна частота – навантаження” (“ $\omega_1 - \bar{q}$ ”) у залежності від способу закріплення контуру панелі. Для ненагрітої (рис. 4, а) та нагрітої на $T = 10^\circ\text{C}$ (рис. 4, б) оболонки тип граничних умов практично не впливає на вид діаграм “ $\omega_1 - \bar{q}$ ”. Такий самий результат маємо для залежності верхнього критичного навантаження $\bar{q}_{кр}^g$ від величини параметра шарнірного опирання \bar{b} (рис. 2). Для нагрітої до $T = 20^\circ\text{C}$ і 30°C панелі (рис. 4, в, з) для усіх значень \bar{q} відбувається зниження частоти ω_1 при

збільшенні параметра \bar{b} . При цьому зі зростанням величини попереднього нагріву збільшується вплив граничних умов на частоту ω_1 . Найбільше значення частоти ω_1 отримано при жорсткому затисненні усього контуру оболонки ($\bar{b}=0$), а найменше – при шарнірному опиранні по усьому контуру ($\bar{b}=1$). При 50% долі шарнірного опирання ($\bar{b}=1/2$) діаграма “ $\omega_1 - \bar{q}$ ”, що відповідає першому варіанту заміщення, є ближчою до відповідної діаграми при $\bar{b}=1$, а для другого варіанта – вона є ближчою до кривої при $\bar{b}=0$. Це можна пояснити тим, що у другому варіанті зміни граничних умов, заміщення на більш слабе закріплення відбувається з кутів (з області підвищеної жорсткості панелі).

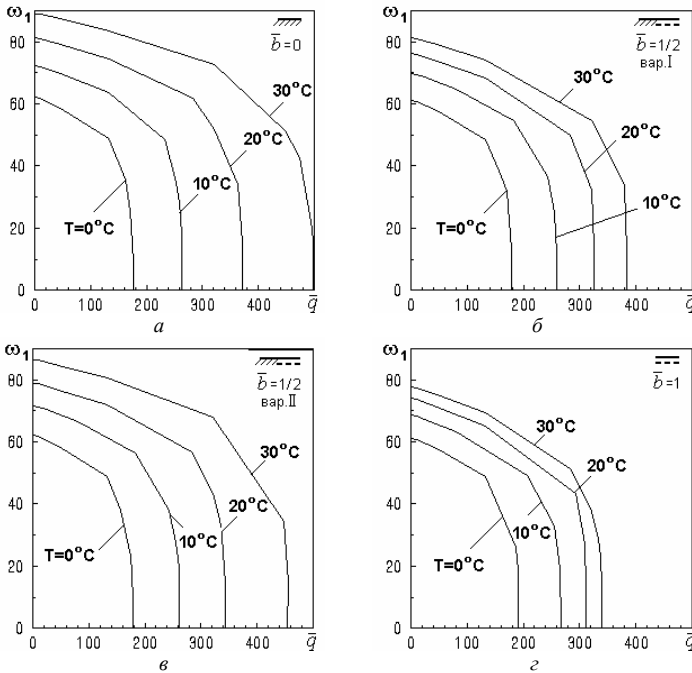


Рис. 5. Залежність діаграм “ $\omega_1 - \bar{q}$ ” від величини попереднього нагріву для різних умов закріплення контуру

Для різних кінематичних граничних умов (рис. 5) отримано однаковий характер залежності величини власної частоти ω_1 від величини нагріву. Маємо, що перехід від жорсткого затиснення усього контуру оболонки

($\bar{b} = 0$, (рис. 5, а)) до 50% шарнірного опирання ($\bar{b} = 1/2$, (рис. 5, в)) за II варіантом зміни граничних умов практично не вплинув на діаграми “ $\omega_1 - \bar{q}$ ” при відповідних значеннях $T^\circ\text{C}$. Це, як і вище, можна пояснити реалізацією послаблення з жорстких кутів панелі.

Побудовані графіки (рис. 5) дозволяють знайти критичні навантаження за динамічним критерієм. Навантаження, що відповідають точці $\omega_1 = 0$ цього графіка, визначають шукане верхнє критичне навантаження $\tilde{q}_{кр}^e$. У табл. 1 проаналізовані величини критичних навантажень, що отримані за статичним розрахунком ($\bar{q}_{кр}^e$) і за графіком “ $\omega_1 - \bar{q}$ ” ($\tilde{q}_{кр}^e$). Отримано гарний збіг результатів розрахунку. На відміну від розрахунку кругової у плані панелі [13] уточнення величини $\bar{q}_{кр}^e$ не виявлено.

Таблиця 1

Критичне навантаження, що визначено за власними частотами коливань

\bar{b}		$\text{-----} 0$	$\text{-----} 1/2 \text{ I в.}$	$\text{-----} 1/2 \text{ II в.}$	$\text{-----} 1$
$T = 0^\circ\text{C}$	$\tilde{q}_{кр}^e$	176,0	178,0	178,0	190,0
	$\bar{q}_{кр}^e$	176,4	179,5	178,8	191,5
	$\Delta, \%$	-0,23	-0,83	-0,07	-0,78
$T = 10^\circ\text{C}$	$\tilde{q}_{кр}^e$	264,	260,0	262,0	266,0
	$\bar{q}_{кр}^e$	263,4	259,0	260,9	266,9
	$\Delta, \%$	0,23	0,63	0,42	-0,34
$T = 20^\circ\text{C}$	$\tilde{q}_{кр}^e$	372,0	326,0	344,0	312,0
	$\bar{q}_{кр}^e$	370,7	325,8	344,1	311,9
	$\Delta, \%$	0,35	0,06	0,03	0,03
$T = 30^\circ\text{C}$	$\tilde{q}_{кр}^e$	498,0	384,0	454,0	340,0
	$\bar{q}_{кр}^e$	497,0	383,2	454,6	339,5
	$\Delta, \%$	0,20	0,18	-0,13	0,15

Залежність власної частоти ω_1 від величини нагріву для різних значень параметра граничних умов \bar{b} для ненавантаженої тиском панелі ($\bar{q} = 0$) приведена на рис. 6. У всіх випадках отримано майже лінійні залежності. Для ненагрітої панелі маємо збіг величини ω_1 відповідно при $\bar{b} = 0$ і $\bar{b} = 1/2$

(за II варіантом) та при $\bar{b}=1$ і $\bar{b}=1/2$ (за I варіантом). Різниця складає менше 1% (табл. 2).

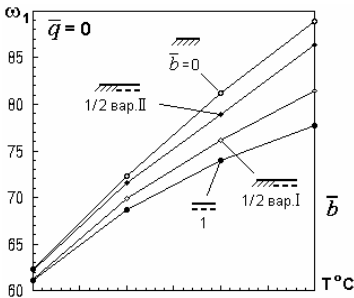


Рис. 6. Залежність власної частоти ω_1 від величини нагріву при $\bar{q} = 0$

В табл. 2–5 наведено чотири нижчі власні частоти коливань панелі для чотирьох варіантів нагріву оболонки при відсутності навантаження тиском ($\bar{q} = 0$). Графічно ці залежності зображені на рис. 6.

Для всіх випадків попереднього нагріву оболонки маємо незначний вплив варіантів зміни граничних умов на значення власних частот коливань ω_1 і ω_4 . З іншого боку для частот коливань ω_2 і ω_3 , що є відносно близькими за величиною,

цей вплив має місце.

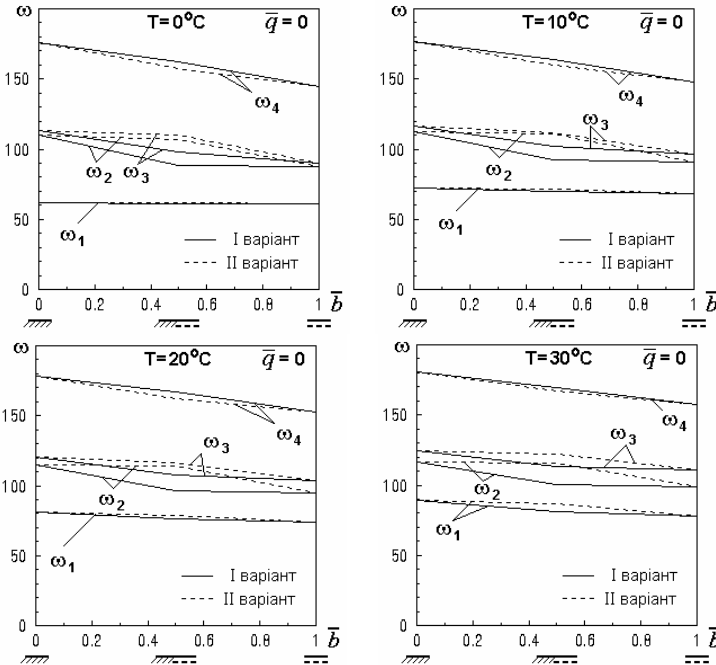






Рис. 7. Залежність чотирьох нижчих власних частот від зростання області шарнірного опирання для різних величин нагріву при $\bar{q} = 0$





Таблиця 2

Вплив зміни кінематичних граничних умов на нижчі власні частоти
ненагрітої оболонки

\bar{b}	$T = 0^{\circ}\text{C}, \bar{q} = 0$				
	$\omega_1, \text{Гц}$	$\Delta, \% (\bar{b}=0)$	$\omega_2, \text{Гц}$	$\omega_3, \text{Гц}$	$\omega_4, \text{Гц}$
 0	62,270	–	110,30	113,06	175,55
 1/2 I в.	61,229	-1,67	88,706	98,194	162,19
 1/2 II в.	62,230	-0,06	106,81	110,09	157,27
 1	61,163	-1,78	87,620	90,074	144,25

Таблиця 3

Вплив зміни кінематичних граничних умов на нижчі власні частоти
нагрітої на $T = 10^{\circ}\text{C}$ оболонки

\bar{b}	$T = 10^{\circ}\text{C}, \bar{q} = 0$				
	$\omega_1, \text{Гц}$	$\Delta, \% (\bar{b}=0)$	$\omega_2, \text{Гц}$	$\omega_3, \text{Гц}$	$\omega_4, \text{Гц}$
 0	72,298	–	112,40	116,56	176,72
 1/2 I в.	69,857	-3,38	92,589	102,42	164,19
 1/2 II в.	71,533	-1,06	111,05	111,92	159,43
 1	68,677	-5,01	91,210	96,194	147,77

Таблиця 4

Вплив зміни кінематичних граничних умов на нижчі власні частоти нагрітої на $T = 20^\circ\text{C}$ оболонки

\bar{b}	$T = 20^\circ\text{C}, \bar{q} = 0$				
	$\omega_1, \text{Гц}$	$\Delta, \% (\bar{b}=0)$	$\omega_2, \text{Гц}$	$\omega_3, \text{Гц}$	$\omega_4, \text{Гц}$
$\text{////} 0$	81,184	–	114,54	120,44	178,30
$\text{////} \text{---} 1/2 \text{ I в.}$	76,180	-6,16	96,434	107,29	166,75
$\text{////} \text{---} 1/2 \text{ II в.}$	78,925	-2,78	113,72	116,24	162,43
$\text{---} 1$	74,036	-8,80	94,889	103,43	152,28

Таблиця 5

Вплив зміни кінематичних граничних умов на нижчі власні частоти нагрітої на $T = 30^\circ\text{C}$ оболонки

\bar{b}	$T = 30^\circ\text{C}, \bar{q} = 0$				
	$\omega_1, \text{Гц}$	$\Delta, \% (\bar{b}=0)$	$\omega_2, \text{Гц}$	$\omega_3, \text{Гц}$	$\omega_4, \text{Гц}$
$\text{////} 0$	88,950	–	116,66	124,57	180,35
$\text{////} \text{---} 1/2 \text{ I в.}$	81,428	-8,46	100,79	113,02	169,59
$\text{////} \text{---} 1/2 \text{ II в.}$	86,427	-2,84	115,35	122,10	166,77
$\text{---} 1$	77,766	-12,57	98,536	111,10	157,78

Висновки

Досліджено вплив на стійкість і власні коливання навантаженої тиском пружної пологої квадратної у плані сферичної панелі різних способів комбінованого закріплення контуру та величин попереднього нагріву. Для вирішення поставленої проблеми застосовано комплексний

підхід, що поєднує метод розв'язування статичних задач геометрично нелінійного деформування та втрати стійкості пружних оболонок з методикою розрахунку тонких оболонок на власні коливання з урахуванням переднапруженого стану на кожному кроці термосилового навантаження.

Проведені дослідження дозволили виявити нелінійні закономірності втрати стійкості панелі від величини попереднього нагріву, параметра області комбінованого закріплення контуру та двох варіантів зміни граничних умов. Проаналізовано вплив зазначених величин на частоти власних коливань напруженої тонкої оболонки.

Отримані нові результати можуть бути використані при проектуванні елементів несучих оболонкових конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей М.О.* Нелінійне деформування та стійкість пружних оболонок неоднорідної структури. – К.: ЗАТ «Віпол», 2010. – 316 с.
2. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей Н.А.* Нелинейное деформирование и устойчивость упругих оболочек неоднородной структуры: Модели, методы, алгоритмы, малоизученные и новые задачи. – М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2013. – 336 с.
3. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей Н.А.* Влияние параметров комбинированного закрепления контура на потерю устойчивости пологих оболочек при термосиловых нагрузках // Труды Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2012». Москва, 16–18 апреля 2012. – М.: РУДН, 2012. – С. 139-144.
4. *Soni S.R., Amba-Rao C.L.* Axisymmetric vibrations of annual plates of variable thickness // *J. Sound. And Vibration*, 1975. – Vol. 38, N 4. – Pp. 465-473.
5. *Кукуджанов С.Н.* О влиянии граничных условий на собственные колебания предварительно напряженных оболочек вращения, близких к цилиндрическим // *Известия РАН. Механика твердого тела*, 2003. – №6. – С. 126-137.
6. *Емельянец В.Э., Панова Л.Т., Асанова А.А.* Анализ собственных частот и форм колебаний прямоугольной пластины, защемленной по двум противоположным краям // *Вестник КРСУ. Техника*, 2009. – Том. 9, № 1. – С. 64-70.
7. *Чемеріс О.М.* Коливання круглих кільцевих пластин // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування»*, 2013. – № 3. – С. 98-105.
8. *Аганов В.П.* Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. – Учебное пособие / М : Изд. АСВ, 2000. – 152 с.
9. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Легостасв А.Д.* Стійкість і власні коливання неоднорідних оболонок з урахуванням напруженого стану // *Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн.* – К.: КНУБА, 2015. – Вип. 95.
10. *Воробьев Ю.С., Дьяконенко К.Ю., Кулишов С.Б., Скрицкий А.Н.* Влияние температурной неоднородности на колебания охлаждаемых монокристаллических лопаток газовых турбин // *Вестник двигателестроения*, 2009. – № 3. – С. 140-143.
11. *Карпов В.В., Сальников А.Ю.* Устойчивость и колебания пологих оболочек ступенчато-переменной толщины при конечных прогибах. / *СПбГАСУ. СПб.*: 2002. – 124 с.
12. *Киричок И.Ф.* Влияние начальных температурных напряжений на собственные колебания ортотропных цилиндрических оболочек // *Тепловые напряжения в элементах конструкций*, 1970. – Вып. 9. – С. 281-290.

13. *Кривенко О.П.* Вплив нагріву на стійкість і власні коливання сферичної панелі при зміні умов комбінованого закріплення контуру // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2015. – Вип. 97.
14. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей М.О.* Вплив попереднього нагріву на стійкість пологих квадратних у плані панелей при комбінованому закріпленні контуру // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 107-116.

REFERENCES

1. *Bazhenov V.A., Kryvenko O.P., Solovey M.O.* Nelineynye deformuvannya ta stiykist' pruzhnykh obolonok neodnorodnoy struktury. – K.: ZAT «Vipol», 2010. – 316 s.
2. *Bazhenov V.A., Krivenko O.P., Solovey N.A.* Nelineynoye deformirovaniye i ustoychivost upravlykh obolochek neodnorodnoy struktury: Modeli. metody. algoritmy. maloizuchennyye i novyye zadachi. – M.: Knizhnyy dom «LIBRIKOM», 2013. – 336 s.
3. *Bazhenov V.A., Krivenko O.P., Solovey N.A.* Vliyaniye parametrov kombinirovannogo zakrepleniya kontura na poteryu ustoychivosti pologikh obolochek pri termosilovykh nagruzkakh // Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenernyye sistemy – 2012». Moskva. 16–18 aprelya 2012. – M.: RUDN. 2012. – S. 139-144.
4. *Soni S.R., Amba-Rao C.L.* Axisymmetric vibrations of annual plates of variable thickness // J. Sound. And Vibration, 1975. – Vol. 38, N 4. – Pp. 465-473.
5. *Kukudzhyan S.N.* O vliyaniy granichnykh usloviy na sobstvennyye kolebaniya predvaritelno napryazhennykh obolochek vrascheniya, blizkiy k tsilindricheskim // Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela, 2003. – N 6. – S. 126-137.
6. *Emelyants V.E., Panova L.T., Asanova A.A.* Analiz sobstvennykh chastot i form kolebaniy pryamougolnoy plastiny, zaschemlennoy po dvum protivopolozhnyim krayam // Vestnik KRSU. Tehnika, 2009. – Tom. 9, N 1. – S. 64-70.
7. *Chemis O.M.* Kolivannya krugliy kiltsevykh plastin // Visnik NTUU «KPI». Seriya «Mashinobuduvannya», 2013. – N 3. – S. 98-105.
8. *Agapov V.P.* Metod konechnykh elementov v statike. dinamike i ustoychivosti prostranstvennykh tonkostennykh podkreplennykh konstruksiy. – Uchebnoye posobiye / M.: Izd. ASV. 2000. – 152 s.
9. *Bazhenov V.A., Kryvenko O.P., Lehostayev A.D.* Stiykist' i vlasni kolyvannya neodnorodnykh obolonok z urakhuvannyam napruzhenoho stanu // Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekh. zbirn. – K.: KNUBA, 2015. – Vyp. 95.
10. *Vorobyev Yu.S., Diakonenko K.Yu., Kulishov S.B., Skritskiy A.N.* Vliyaniye temperaturnoy neodnorodnosti na kolebaniya okhlazhdayemykh monokristallicheskiy lopatok gazovykh turbin // Vestnik dvigatelestroyeniya. 2009. – № 3. – S. 140-143.
11. *Karpov V.V., Salnikov A.Yu.* Ustoychivost i kolebaniya pologikh obolochek stupenchatoperemennoy tolshchiny pri konechnykh progibakh. / SPbGASU. SPb.: 2002. – 124 s.
12. *Kirichok I.F.* Vliyaniye nachalnykh temperaturnykh napryazheniy na sobstvennyye kolebaniya ortotropnykh tsilindricheskikh obolochek // Teplovye napryazheniya v elementakh konstruksiy. 1970. – Vyp. 9. – S. 281-290.
13. *Kryvenko O.P.* Vplyv nahrivu na stiykist' i vlasni kolyvannya sferychnoyi paneli pry zmini umov kombinovanoho zakriplennya konturu // Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekh. zbirn. – K.: KNUBA, 2015. – Vyp. 97.
14. *Bazhenov V.A., Kryvenko O.P., Solovey M.O.* Vplyv poperedn'oho nahrivu na stiykist' polohykh kvadratnykh u plani paneley pry kombinovanomu zakriplenni konturu // Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekh. zbirn. – K.: KNUBA, 2012. – Vyp. 89. – S. 107-116.

Кривенко О.П.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА И УСЛОВИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ КОНТУРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОЛОГИХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ

Изучается влияние предварительного нагрева на потерю устойчивости и собственные колебания упругой полой квадратной в плане сферической панели при комбинированном закреплении контура: одна часть контура защемлена, другая – шарнирно опирается. Рассматривается последовательное изменение одного типа кинематических граничных условий на другой. Сравниваются два варианта частичной замены защемления контура панели на шарнирное опирание. На каждом шаге нагружения собственные частоты и формы колебаний панели определяются с учетом присутствия преднапряжения от действия статического термосилового нагружения.

Ключевые слова: упругая оболочка, нелинейное деформирование, устойчивость, собственная частота, собственная форма колебаний, термосиловая нагрузка, комбинированное закрепление контура.

Krivenko O.P.

THE EFFECT OF PRELIMINARY HEATING AND COMBINED FIXATION OF THE BOUNDARY ON THE STABILITY AND NATURAL VIBRATIONS OF PANELS UNDER ACTION OF PRESSURE

The work is devoted to usage a unified methodology for solving problems of nonlinear deformation, buckling and natural vibrations of shells subject to mechanical and thermal loads. The method of solving static problems of nonlinear deformation, buckling, and postbuckling behavior of thin elastic inhomogeneous shells is based on the geometrically nonlinear equations of the 3-d theory thermoelasticity and use is also made the moment finite-element scheme. A unified model basing on the universal spatial finite element with additional variable parameters has been created. The model describes geometrical features of structural elements of an inhomogeneous shell: casing of varying thickness, ribs, cover plates, cavities, channels, holes and sharp bends of the mid-surface. In problems of natural vibrations we take into account the presence of a pre-stressed state of the structure from the action of static forces at each step of thermomechanical loading. The thermomechanical loads significantly affect the spectrum of natural vibrations. Realization of this method allows determining the bifurcation point and the value of the critical force of buckling by dynamic criteria.

At the paper the effect of values pre-heating on the buckling and natural vibrations of the elastic shallow panel with the combined fixation of the boundary is investigated. The panel has one section of the boundary clamped and the other hinged. The sequential partial replacement of one kind of kinematical boundary conditions by another is considered. Two modes of a partial replacement on the panel's contour of the clamped boundary to the hinged boundary are compared. At every step of loading eigenfrequencies and eigenmodes of the panel are analyzed taking into account stress state which is generated by static action of pressure.

Key words: elastic shell, non-linear deformation, stability, eigenfrequency, eigenmode, thermo-mechanical load, combined fixation of the boundary.

УДК 539.3

Кривенко О.П. Вплив попереднього нагріву та зміни умов комбінованого закріплення контуру на стійкість і власні коливання пологих панелей при дії тиску / Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2016. – Вип. 97. – С. 107-120.

Вивчається вплив попереднього нагріву на втрату стійкості та власні коливання пружної пологої квадратної у плані сферичної панелі при різних варіантах комбінованого закріплення контуру.

Табл. 5. Іл. 7. Бібліогр. 14 назв.

Krivenko O.P. The Effect of Preliminary Heating and Combined Fixation of the Boundary on the Stability and Natural Vibrations of Panels under Action of Pressure / Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBS, 2016. – Issue 97. – P. 107-120. – Ukr.

The effect of values pre-heating on the buckling and natural vibrations of the elastic shallow panel with different variants of combined fixation of the boundary is investigated.

Tabl. 5, Fig. 7, Bibliograf. 14 ref.

Кривенко О.П. Влияние предварительного нагрева и условий комбинированного закрепления контура на устойчивость и собственные колебания пологих панелей при действии давления / Сопротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2016. – Вып. 97. – С. 107-120. – Укр.

Изучается влияние предварительного нагрева на потерю устойчивости и собственные колебания упругой пологой квадратной в плане сферической панели при разных вариантах комбинированного закрепления контура.

Табл. 5. Ил. 7. Библиогр. 14 назв.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник НДІ будівельної механіки КНУБА КРИВЕНКО Ольга Петрівна

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, КРИВЕНКО Ользі Петрівні.

Адреса домашня: 03035, Україна, м. Київ, вул. Кудряшова 7-б, кв. 145, КРИВЕНКО Ользі Петрівні

Роб. тел. +38(044) 245-48-29;

мобільний тел.: +38(066) 048-32-77.

E-mail – olakop@ukr.net