

2. Авдєєва М.С. Особливості формування житлових будинків в умовах відродження національних традицій в архітектурі модерну Києва на початку ХХ століття / М.С. Авдєєва // Проблеми розвитку міського середовища : наук.-техн. збірник. – К.: НАУ, 2015.-Вип.2 (14). –С. 3-9.

3. Чепелик В.В. Український архітектурний модерн / Чепелик В.В., упорядник З.В. Мойсеєнко-Чепелик. – К.:КНУБА, 2000. – 378с.;

4. Ясєєвич В.Е. Архитектура Украины на рубеже XIX – XX веков / Ясєєвич В.Е.. К.: Будивэльнык, 1988. 184 с.

Аннотация

Рассмотрены основные черты стиля модерн в архитектуре Киева. Значительное внимание уделено характеристике образцов этого стиля и эзотерическим символам, нашедшим свое отражение в них.

Ключевые слова: стиль «модерн», эзотерические символы, модерн Киева.

Annotation

The main features of modern style in architecture of Kyiv are examined. Considerable attention is paid to the characteristics of the samples of this style and esoteric symbols, which are reflected in them.

Keywords: style "modern", esoteric symbols, modern style in Kyiv.

Стиття надійшла до збірника у квітні 2016 р.

УДК 624.042.8:69.032.22

Кір'язєв П.М.¹³, *к.т.н, доцент,*

Писарєвський Б.Ю., *магістр,*

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ВПЛИВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НА ДИНАМІКУ СПОРУД

Розглядається вплив напруженого стану елементів споруди на власні та вимушені коливання. Пропонується методика створення скінченно-елементних моделей для розв'язання задач динаміки за допомогою Ліра-подібних програмних комплексів.

¹³ ©Кір'язєв П.М., Писарєвський Б.Ю.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Ключові слова: напружений стан, власні та вимушені коливання, методика, скінченно-елементні моделі.

Стан проблеми. В практиці будівництва часто зустрічаються конструкції з попереднім напруженням елементів, наприклад, балки, ферми, ребристі плити та оболонки. Приклад такої споруди, де використовується попереднє напруження і в елементах якої виникають значні поздовжні зусилля – вантові покриття. У таких конструкціях є і стержневі, і пластинчасті та оболонкові елементи, в яких виникають значні статичні зусилля.

Відомо, що статичне навантаження та попереднє напруження суттєво впливають на частоти власних коливань, а також на напружено-деформований стан при вимушених коливаннях, однак в практиці проектування це, як правило, не враховується. Тому у відомих вітчизняних програмних комплексах, які орієнтовані на проектування, при розв'язанні динамічних задач автоматично не враховуються впливи поздовжніх сил та мембранних напружень на власні та вимушені коливання. Щоб дослідити ці впливи і коректно розв'язувати такі задачі, необхідно створювати спеціальні моделі.

Новизна. В роботі пропонується методика розв'язання задач про власні та вимушені коливання, а також задач про динамічну стійкість конструкцій, в яких не можна не враховувати попередні напруження. З використанням запропонованої методики за допомогою ПК ЛИРА-САПР розв'язано багато тестових задач. Отримані результати чисельного розрахунку практично збігаються з результатами аналітичних розрахунків, що свідчить про надійність запропонованої методики. Методика дозволяє враховувати попереднє напруження та вирішувати задачі динаміки будь-яких стержневих та тонкостінних просторових конструкцій.

Основний матеріал і результати. Розглянуто нові задачі – власні коливання та динамічна стійкість рам, пластин та оболонок. Встановлено, що статичні напруження суттєво впливають на перші

чотири – п'ять частот, а у випадку, якщо навантаження близьке до критичного, результати можуть відрізнятися в рази.

1.1. Тестові задачі для стержневих систем.

1.1. Власні коливання шарнірно обпертої балки.

Для випадку шарнірного опирання частота власних коливань стиснутого стержня пов'язана з частотою власних коливань стержня, у якого відсутні поздовжні сили, залежністю [1]:

$$\omega_n^2 = \omega_{0,n}^2 \left(1 - \frac{N}{n^2 N_{0,n}}\right),$$

де ω_n - кругова частота власних коливань з впливом поздовжньої сили;

N – поздовжня сила в стержні;

$\omega_{0,n}$ - кругова частота власних коливань стержня за відсутності поздовжньої сили;

$N_{0,n}$ – критичне навантаження n -ої форми втрати стійкості.

З цієї залежностей видно, що частота власних коливань стержня зменшується при зростанні осьової стискаючої сили та при $N \rightarrow N_{кр} \omega \rightarrow 0$, а при зростанні розтягуючої сили частота власних коливань збільшується.

У таблиці 1 наведено теоретичні та знайдені за допомогою ПК ЛИРА-САПР значення власних частот для шарнірно обпертого стиснутого стержня з рівномірно розподіленою масою. Розглядалась шарнірно обперта по кінцях двотаврова балка № 70, зігнута в площині меншої жорсткості, довжина балки $L = 10$ м, $EI_{min} = 573.47$ тс * м². Для того, щоб врахувати вплив поздовжньої сили на частоти власних коливань, поздовжню силу в стержні довелося вводити через документ «ЖЁСТКОСТИ» текстового файлу за допомогою ідентифікатора N [2].

1.2 Власні коливання рами. Розглянуто власні коливання рами, яку показано на рисунку 1. Прогон рами – 10м, висота

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

поверхів по 10м, перетини стержнів – двотаврові №70, погонна вага стержнів – 0.138тс/м. Рама завантажена силою 100тс в середині прольоту і вузловими силами по 50 тс. Нижні вузли усіх схем жорстко защемлені, а верхні вузли в схемі 3 – жорстко защемлені, а у схемах 1 і 2 – ковзне защемлення.

*Таблиця 1
Теоретичні і знайдені за допомогою ПК ЛИРА-САПР значення власних частот для шарнірно опертото стиснутого стержня з рівномірно розподіленою масою*

	$N/N_{кр}$	0	0.0162	0.0648	0.1459	0.5836	0.7944	0.9119	0.999
ω_1	Теор	19.92	19.76	19.26	18.41	12.85	9.033	5.913	0.199
	Лира	19.92	19.76	19.26	18.41	12.85	9.03	5.91	0.63
ω_2	Теор	79.68	79.52	79.03	78.21	73.64	71.33	70.01	69.01
	Лира	79.68	79.51	79.03	78.21	73.64	71.33	70.01	69.02

Для схеми 1 розрахунок власних частот виконано без урахування впливу поздовжніх сил, а в схемах 2 и 3 – з урахуванням поздовжніх сил. Якщо виконувати розрахунки без урахування впливу поздовжніх сил, то для всіх схем вийдуть однакові результати, такі як для схеми 1. У схемі 3 верхні стійки розтягнуті, а нижні – стиснуті. З наведених результатів видно, яку велику похибку вносимо у результати, якщо не враховуємо вплив поздовжніх сил. Слід зауважити, що у розглянутому прикладі у схемі 3 майже чотирих-кратний запас стійкості.

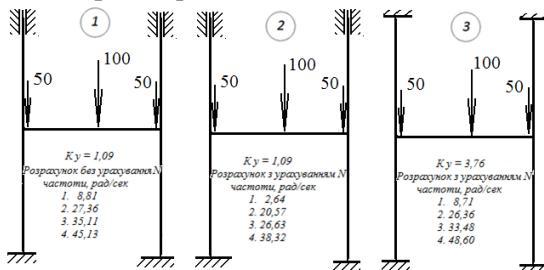


рис. 1. – Результати розрахунків власних коливань рами

2. Методика складання моделей для дослідження власних коливань попередньо напружених тонкостінних просторових конструкцій у середовищі ПК ЛИРА-САПР. У роботі [1] наведено результати аналітичних досліджень власних і вимушених коливань пластин з урахуванням впливу нормальних напружень, діючих у серединній площині. Як і у випадку стержневих систем, нормальні напруження, що діють в серединній площині пластин, істотно впливають на жорсткість при вигині і, як наслідок, на власні та вимушені коливання пластин. В ПК ЛИРА-САПР вплив поздовжньої сили на жорсткість стержня при вигині можна врахувати, якщо ввести значення поздовжньої сили через документ "ЖЕСТКОСТИ", а для розрахунку пластин така можливість у ПК ЛИРА-САПР не передбачена. У середовищі ПК ЛИРА-САПР немає пластинчастих елементів, за допомогою яких можна було б вирішувати задачі про власні та вимушені коливання, а також задачі про динамічну стійкість споруди, якщо в системі є елементи з попереднім напруженням. А попереднє напруження суттєво впливає на жорсткість системи і, як наслідок, на частоти власних коливань. Завдяки наявній у ПК ЛИРА-САПР можливості вводити інформацію про величину поздовжньої сили в стержні через документ "ЖЕСТКОСТИ" можна розраховувати і пластини і оболонки на власні та вимушені коливання, а також задачі про динамічну стійкість, якщо в цих елементах є попереднє напруження. Але для цього доводиться переходити від тонкостінної конструкції до еквівалентної за жорсткістю стержневої системи. У даній роботі пропонується методика побудови моделей, яка дозволяє досліджувати власні та вимушені коливання тонкостінних просторових конструкцій за допомогою ПК ЛИРА-САПР з урахуванням впливу нормальних напружень, діючих в серединній площині. Для цього пропонується пластинчасту конструкцію замінювати еквівалентною за жорсткістю стержневою системою. В роботі [3] показано, як від системи перехресних балок перейти до еквівалентної за

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

жорсткістю плити. Нехай, наприклад, стержнева система складається з двох систем балок, віддалених одна від одної вздовж осі X на a_1 , а вздовж осі Y на b_1 . Циліндричні жорсткості D_x і D_y еквівалентної плити повинні бути зв'язані співвідношеннями:

$$D_x = \frac{B_1}{b_1}; \quad D_y = \frac{B_2}{a_1},$$

де: B_1 – жорсткість балок, спрямованих паралельно осі X ;

b_1 – відстань між балками вздовж осі Y ;

B_2 – жорсткість балок, спрямованих паралельно осі Y ;

a_1 – відстань між балками вздовж осі X .

У нашому випадку необхідний зворотний перехід – від пластини, що згинається, до еквівалентної системи перехресних стержнів. Методику такого переходу і достовірність отриманих результатів розглянемо на прикладах розрахунку квадратної плити постійної товщини, у якої відсутні ребра жорсткості.

У цьому випадку: $D_x = D_y = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$, $B_1 = \frac{b_1 h^3}{12} E$,

$$B_2 = \frac{a_1 h^3}{12} E.$$

Порівнявши вирази D_x , D_y , B_1 , B_2 приходимо до висновку: якщо відстані між балками a_1 і b_1 , то ширини перерізів відповідних балок повинні бути взяті відповідно рівними $\frac{a_1}{(1-\nu^2)}$ і $\frac{b_1}{(1-\nu^2)}$.

Були виконані чисельні розрахунки на стійкість та власні коливання прямокутних і квадратних плит з різними умовами обпирання за контуром.

Нижче наведені деякі результати розрахунків квадратної плити, розглянутої в роботі [1].

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

3. Розрахунок пластин з використанням стержневих моделей. У роботі [1] наведено рішення задачі про власні поперечні коливання квадратної пластини, навантаженої в серединній площині. Довжина сторони квадрата дорівнює a ; плита завантажена по контуру в серединній площині у двох напрямках рівномірно розподіленим навантаженням ($q_x=q_y=q$). Циліндрична жорсткість плити D . Частота власних коливань $\omega = k \frac{\pi^2}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}$, де m - маса одиниці площі. Параметр навантаження $S = \frac{q a^2}{D \pi^2}$. Значення S і відповідні їм значення k наведено нижче у таблиці.

Таблиця 3.

Параметри S і k для обчислення частот власних коливань [1]

S	-3	-1	0	1	3
k	4.57	3.98	3.65	3.28	2.40

Для тестової задачі були взяті: $a = 3\text{м}$; $h = 10\text{ см}$, матеріал плити – залізобетон. Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.2$ модуль пружності $E = 3 \cdot 10^7 \text{ КПа}$.

У скінченно-елементній стержневій моделі плити крок вузлів – 0.3м .

Для прийнятих розмірів та значень: циліндрична жорсткість плити $D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)} = 2604 \text{ кН/м}$, вага одного квадратного метра

плити $mgh = 2.5\text{кН}$, вага маси плити на один вузол $mgh \cdot 0.3 \cdot 0.3 = 0.225\text{кН}$, ширина перерізу

балок $\frac{a_1}{(1-\nu^2)} = \frac{b_1}{(1-\nu^2)} = 0.33\text{м}$, висота перерізу $H = h = 10\text{см}$,

інтенсивність навантаження по контуру пластини $q_x = q_y = q = S \pi^2 D / a^2 = 2856 \cdot S$, кН/м. ; при $S=3$ $q = 2856 \cdot 3 = 8568 \text{кН/м}$, навантаження на контурний вузол уздовж осі стержня $F = q \cdot 0.3 = 2570 \text{кН}$, при $S=1$ $q = 2856 \cdot 1 = 2856 \text{кН/м}$, навантаження на вузол

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

$F=857$ кН, при $S=0$ $q=0$ (відсутнє обтиснення плити), навантаження на вузол $F=0$.

Таблиця 4.

Значення частот власних коливань для тестового прикладу

S	-3	-1	0	1	3
k	4.57	3.98	3.65	3.28	2.40
ω , рад/сек (Робота[1])	265.9	363.4	404.4	441.0	506
ω , (ПК ЛИРА- САПР)	284.7	349.4	400.5	439.8	530

Навіть для такої дуже рідкісної сітки результати добре узгоджуються – найбільша похибка становить 4.7%.

4. Ванти та вантові конструкції. Типовий приклад споруди, де використовується попереднє напруження і в елементах якої виникають значні поздовжні зусилля – вантове покриття. На рис. 2 показано приклад такого покриття, в якому використані чотири оболонки, поверхні яких – гіперболічні параболоїди. У цій конструкції є і стержневі, і пластинчасті та оболонкові елементи, в яких виникають значні статичні зусилля.

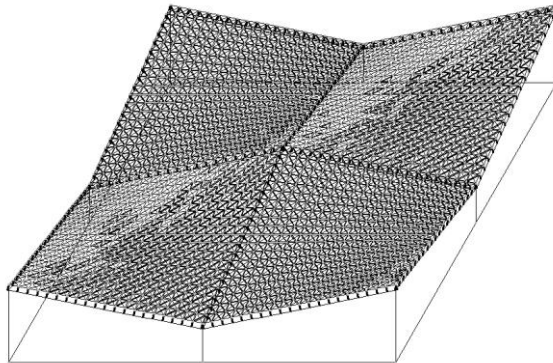


рис. 2. – Покриття з чотирьох гіперболічних параболоїдів.

Нижче розглянуто малі поперечні коливання розтягнутої струни та вантових оболонок, які окреслені за поверхнею гіперболічного параболоїда.

4.1 Малі поперечні коливання розтягнутої струни. Розв'язок задачі про малі поперечні коливання розтягнутої струни розглянуто в роботі [1]. Частоти власних коливань визначаються залежністю:

$$\omega = n\pi/l \sqrt{\frac{N}{m}},$$

де n – номер частоти власних коливань;

ω – колова частота власних коливань;

l – довжина струни;

m – погонна маса;

N – розтягуюче зусилля.

Для розрахунків взято струну з дроту діаметром 6мм , довжиною $l=10\text{м}$, розтягуюче зусилля $N = 2773\text{Н}$.

У скінченно-елементній моделі використано $KЭ-10$.

Отримані за допомогою ПК ЛІРА–САПР значення колових частот власних коливань ω : 11.11; 22.24; 33.38; 44.56; 55.74; 66.89; 77.98.

Відповідні аналітичні значення: 11.21; 22.42; 33.63; 44.84; 56.05; 67.26; 78.47.

Як бачимо, для дослідження малих коливань використання $KЭ-10$ виправдане.

4.2 Коливання вантових оболонок, які окреслені за поверхнею гіперболічного параболоїда. Деформативність, велика питома вага тимчасових навантажень є причинами підвищеної чутливості вантових покриттів до динамічних впливів. Велика деформативність примушує виконувати розрахунки таких систем у геометрично нелінійній постановці. Динамічний розрахунок, складний для звичайних конструкцій, ще більше ускладнюється для вантових покриттів. Частоти власних коливань геометрично нелінійних систем залежать від амплітуди. Вимушені коливання

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

відбуваються з частотою збуджуючої сили або з кратними частотами. Загроза виникнення резонансних явищ (звичайного резонансу та параметричного резонансу) значно вища.

Задачі динаміки вантових покриттів умовно розподіляють на чотири групи [4]:

- Задача про вільні коливання, яка має місце при урахуванні початкового удару, наприклад, при укладанні залізобетонних плит на вантову сіть.

- Задача про вимушені коливання, які виникають під час укладки бетону у шви між плитами, вібруванні бетону, при сейсмічних впливах.

- Задачі про параметричний резонанс (задачі про динамічну стійкість), які виникають у результаті впливу на рух системи періодичної зміни одного з параметрів, наприклад, величини зусилля попереднього напруження у вантах.

- Задача про флатер, тобто урахування динамічної втрати стійкості покриття при дії ламінарного вітрового потоку.

При достатньо малих амплітудах коливань вантові покриття ведуть себе як лінійно деформовані системи.

Нижче наведено деякі результати розрахунків вантових оболонок, які окреслені за поверхнею гіперболічного параболоїда. Направляти ниті таких поверхонь можна двома способами. У одному випадку гранична форма буде прямолінійною, у другому – криволінійною. Виходячи з умов забезпечення необхідної жорсткості та найменших зусиль раціональніше направляти ниті за лініями головної кривизни. При цьому достатню жорсткість можна досягнути меншими зусиллями за рахунок натягу вантів одного напрямку, тому що попереднє напруження досягається взаємодією вантів, що перетинаються. При використанні сіток у другому випадку зусилля попереднього натягу необхідно прикладати до кожної ниті, тому що вони між собою не пов'язані. Але у другому випадку оболонки легше будувати – простіше робиться опалубка, для армування можна використовувати прямолінійні арматурні

елементи, попереднє напруження вантів виконується більш зручними способами, в місцях, в яких перетинаються ванти, їх з'єднувати простіше.

Побудовано моделі та виконано динамічні розрахунки для обох випадків. На рисунку 3 показано вантові сіті цих моделей, а на рисунку 4 – моделі із змонтованими плитами покриття.

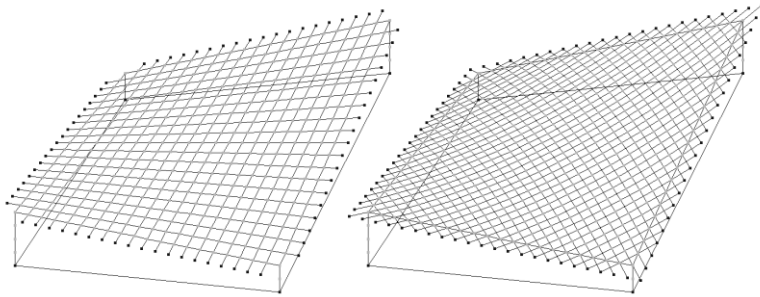


рис. 3. - Вантові сіті двох типів оболонок

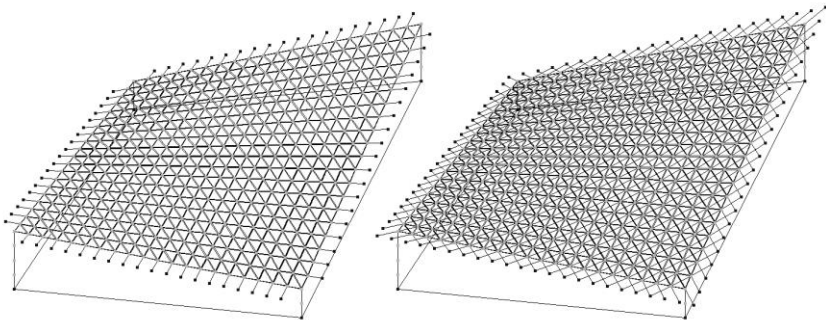


рис. 4. - Моделі оболонок із змонтованими плитами

Для лінійних розрахунків використані скінченні елементи типів КЭ-10, КЭ-42, для нелінійних - КЭ-308 (форкопфи), КЭ-309 (ванти).

Для визначення зусиль в елементах споруди використовувалася система МОНТАЖ.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

У нелінійних розрахунках динаміки використовувалася система ДИНАМІКА+.

Нижче наведено деякі результати розрахунків власних коливань, отриманих у лінійній постановці задачі.

Таблиця 5.

Частоти власних коливань вантових сіток з криволінійними вантами (плити як вантаж)

Частоти власних коливань								
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9
2.65	2.65	3.02	3.02	3.14	3.14	3.34	3.34	3.75

Таблиця 6.

Частоти власних коливань вантових сіток з прямолінійними вантами (плити як вантаж)

Частоти власних коливань								
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9
1.00	1.57	1.57	1.99	2.22	2.22	2.54	2.54	3.14

Таблиця 7.

Частоти власних коливань оболонок з криволінійними вантами після включення плит у роботу

Частоти власних коливань								
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9
5.73	5.83	6.35	7.02	7.53	7.59	8.21	8.38	9.77

Таблиця 8.

Частоти власних коливань оболонок з прямолінійними вантами після включення плит у роботу

Частоти власних коливань								
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9
5.57	5.68	6.17	6.79	7.25	7.31	7.88	8.06	9.44

5. Моделювання задач динамічної стійкості стержневих та пластинчастих систем. Якщо окремий стержень або стержнева система завантажена поздовжніми силами, які змінюються за законом $N=P(t)=P_0+P_1\cos\Theta t$ і викликають тільки поздовжні деформації, а також коли пластина або пластинчаста система навантажена в серединній площині динамічним навантаженням, яке змінюється за законами

$$N_x(x,y,t)=- (N_x+ N_{x1}\cos\Theta t),$$

$$N_y(x,y,t)=- (N_y+ N_{y1}\cos\Theta t),$$

то при деяких співвідношеннях частоти власних коливань і частоти збуджуючої сили Θ система під дією періодичних поздовжніх сил починає здійснювати поперечні (згинальні) коливання, які супроводжують поздовжні коливання. Рух системи стає динамічно нестійким, переміщення і напруження зростають необмежено. Настає так званий параметричний резонанс [5].

Алгоритм побудови моделі задачі динамічної стійкості: Дослідити явище параметричного резонансу у середовищі ПК ЛИРА–САПР зможемо, якщо зможемо в моделі для процесора "Динаміка плюс", ввести в модель постійні складові $P_0 (N_x, N_y)$ періодичних поздовжніх сил. А це робиться таким же чином, як у попередніх задачах. Скінченно-елементна модель для розв'язання задачі динамічної стійкості будується у такому порядку:

- створюється звичайна модель динамічної задачі для процесора "Динаміка плюс".

У цій моделі створюється збудження поздовжніх деформацій (плоского напруженого стану для пластин та оболонки). Це можна зробити, наприклад, приклавши гармонічну складову навантаження з малим ексцентриситетом.

- створюється текстовий файл цієї моделі;

- у текстовому файлі задачі в документі "Жорсткості", з використанням ідентифікатора N , задаються постійні складові $P_0 (N_x, N_y)$ поздовжніх сил (стискуючі сили зі знаком "-").

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Висновки. Аналіз отриманих результатів дозволив зробити наступні висновки:

- Розроблено методику побудови моделей для дослідження власних коливань попередньо напружених стержневих та тонкостінних просторових конструкцій (плит і оболонок) в ПК ЛІРА - САПР .

- Розроблено методику складання моделей для вирішення задач динамічної стійкості в ПК ЛІРА-САПР.

- Поздовжні сили особливо значно впливають на нижчі частоти конструкції.

- Частоти, отримані за допомогою ПК ЛІРА, практично збігаються з теоретичними значеннями.

- Вантові сіті оболонок з криволінійними вантами до монтажу плит більш жорсткі, ніж сіті оболонок з прямолінійними вантами;

- Після монтажу плит та замоноличення швів жорсткості оболонок майже не відрізняються.

- Запропонована методика дає можливість враховувати напружений стан та попереднє напруження при розв'язуванні задач про власні та вимушені коливання, а також задач про динамічну стійкість конструкцій практично любых просторових конструкцій.

Використана література:

1. Новацкий В. Динамика сооружений. / В. Новацкий – М.: Гос. Изд. Литературы по строительству, архитектуре и стр. матер., 1963. – 376 с.
2. Программный комплекс «Мираж» (версия 4.3). Руководство пользователя. – Украина, К.: НИИАСС, 1996.
3. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. / Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. – М.:Гос. изд. Физико-математической литературы, 1963. – 636 с.

4. Дмитриев Л.Г. Вантовые покрытия. Расчет и конструирование: Підручник. / Дмитриев Л.Г., Касилов А.В. – Івано-Франківськ.: Вища школа, 2002. – 272 с.

5. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем – М.: Гос. Изд. Техничко-теоретической, 1956. – 600 с.

Аннотация

Рассматривается влияние напряженного состояния элементов сооружения на собственные и вынужденные колебания. Предлагается методика создания конечно- элементных моделей для решения задач динамики с помощью Лира - подобных программных комплексов.

Ключевые слова: напряженное состояние, собственные и вынужденные колебания, методика, конечно- элементные модели.

Annotation

The effect of the stress state of elements of structures on their own and forced oscillations. The technique of creating finite element models for the solution of problems of dynamics via Lira - similar software systems.

Keywords: stress state, own and forced oscillations, method, finite element models.

Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.

УДК 725.381:725.

Бармашина Л.¹⁴, канд. архіт., доцент
Гавриленко І., студент

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

**ПРОБЛЕМА ДОСТУПНОСТІ СЕРЕДОВИЩА
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ТИПОЛОГІЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО
РОЗСЕЛЕННЯ ІНВАЛІДІВ**

У статті розглядається хронологія державних підходів до вирішення проблеми формування доступного середовища для людей, які мають обмежені можливості здоров'я. Наводяться основні державні та

¹⁴ © Бармашина Л., Гавриленко І.