

УДК 539.3; 624.042.8

*В.В. Гайдайчук, д.т.н., професор**О.П. Дедов, к.т.н., доцент**К.Е. Котенко, аспірант**¹Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)*

АДЕКВАТНІСТЬ І МОЖЛИВОСТІ СКІНЧЕННО - ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ СПОРУДИ МІЖНАРОДНОГО ВИСТАВКОВОГО ЦЕНТРУ

АННОТАЦІЯ. *Проведено розрахунково-експериментальний аналіз створеної скінченно-елементної моделі споруди МВЦ. Встановлена її адекватність та доцільність практичного використання. На підставі результатів виконаних обстежень побудована математична модель об'єкту, виконані розрахунки статичних і динамічних характеристик, сформована архітектура системи автоматичного контролю змін технічного стану об'єкта на експлуатаційний період.*

Ключові слова: *скінченно-елементна модель будівельної споруди, напружено-деформований стан, статичні та динамічні характеристики, частота власних коливань.*

АННОТАЦИЯ. *Проведено расчетно-экспериментальный анализ созданной конечно-элементной модели сооружения МВЦ. Установлена ее адекватность и целесообразность практического использования. На основании результатов выполненных обследований построена математическая модель объекта, выполнены расчеты статических и динамических характеристик, сформирована архитектура системы автоматического контроля изменений технического состояния объекта на эксплуатационный период.*

Ключевые слова: *конечно-элементная модель строительного сооружения, напряженно-деформированное состояние, статические и динамические характеристики, частота собственных колебаний.*

ABSTRACT. *The computational and experimental analysis of finite-element model of IEC building was established. Adequacy and appropriateness of its practical use was installed. On the basis of surveys results the mathematical model of the object has built, calculations of static and dynamic characteristics have determined, the architecture of automatic control system of changes technical condition of the object has formed for operational period.*

Key words: *finite-element model building construction, mode of deformation, static and dynamic characteristics, the frequency of natural oscillations*

Скінченно-елементна модель споруди МВЦ була створена на замову її власників з метою використання в системі динамічного моніторингу технічного стану споруди. При її створенні використовувались програмні комплекси NASTRAN і SCAD. Фактично було створено дві скінченно-елементної моделі. Наступний етап передбачав перевірку адекватності моделі і обґрунтування доцільності її використання за призначенням. Було проведено порівняльний аналіз статичних і динамічних характеристик, отриманих розрахунковим методом та натурними вимірюваннями.

Спочатку порівнювались результати розрахунків обох програмних комплексів (NASTRAN і SCAD) між собою, а потім результати розрахованих величин динамічних характеристик порівнювались з величинами їх натурних замірів.



Табл. 1. Навантаження в скінченно-елементній моделі

Номер навантаження в моделі	Навантаження
L1	Власна вага
L2	Власна вага огорожуючої конструкції (покриття, стінового огородження)
L3	Технологічне (вага стаціонарного обладнання)
L4	Корисна (вага людей та обладнання в зонах обслуговування покрівлі)
L5	Снігове
L6	Вітрове по осі X
L7	Вітрове проти осі X
L8	Вітрове проти осі Y
L9	Вітрове по осі Y

Передбачалось, що збіжність величин однакових показників, розрахованих різними програмними комплексами, може позитивно характеризувати адекватність скінченно-елементної моделі, а натурні результати підтвердити або відхилити це передбачення.

Для аналізу статичних характеристик (осьових зусиль) була вибрана великопрольотна (60 м) підкрівляна ферма ПФ6 (рис.1). В розрахунках використовувалось найбільш несприятливе сполучення навантажень з приведених в таблицях 1 і 2.

Окремо, обома програмними комплексами розраховувались максимальні та мінімальні переміщення вузлів скінчених елементів вздовж осі Z (вертикальні прогини). Розрахунки виконувались при різних сполученнях навантажень приведених в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів показує, що зусилля в елементах підкрівляної ферми (табл. 3) мало відрізняються величиною в результатах обох програмних комплексів SCAD і NASIRAN. Максимальна різниця (2,14%) виявлена в розтягнутому розкосі 9 (рис.1), а мінімальна (0,23%) в стислій стійці (4). Мало відрізняються і величини переміщень (табл. 4). Як видно, найбільша різниця величин мінімальних переміщень 3,03% зафіксовано в розрахунках при завантаженні власною та при завантаженнях С1-С5 (3,59%), а найменша (2,45%) при сніговому навантаженні. Мінімальна різниця максимальних переміщень (0,4%) отримає при сполученнях навантажень С4 і С8.

Табл. 2. Сполучення навантажень

Номер сполучення навантаження в моделі	Сполучення (комбінація) навантажень	Коефіцієнт γ_n
C1	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L6)$	
C2	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L7)$	
C3	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L8)$	
C4	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L9)$	
C5	C1*1.25	1.25
C6	C2*1.25	1.25
C7	C3*1.25	1.25
C8	C4*1.25	1.25

Табл. 3. Порівняння зусиль в елементах підкрюквяної ферми ПФ6 під дією сполучення навантажень С1 розраховані в програмних комплексах SCAD та NASTRAN

Поздовжні зусилля в елементах ферми							
№ елемента	SCAD	NASTRAN	Різниця, %	№ елемента	SCAD	NASTRAN	Різниця, %
	Зусилля N, т	Зусилля N, т			Зусилля N, т	Зусилля N, т	
1	-99,00	-100,51	0,75	9	187,38	195,58	2,14
2	261,52	271,46	1,87	10	-81,80	-84,97	1,89
3	-86,90	-84,85	1,19	11	-302,77	-311,43	1,40
4	-73,55	-73,89	0,23	12	72,39	75,85	2,33
5	-75,23	-73,66	1,05	13	341,32	351,92	1,45
6	-200,08	-207,70	1,86	14	383,55	395,04	1,47
7	173,91	176,94	0,86	15	57,66	59,31	1,41
8	-313,69	-311,43	0,36	16	-73,39	-76,01	1,79

Табл. 4. Переміщення вузлів по Z, (мм) в моделях, створених у SCAD та NASTRAN

Номер сполучення навантаження в моделі	Павантаження та сполучення павантажень	Переміщення вузлів по Z, (мм) (вертикальні прогини)			
		SCAD		NASTRAN	
		min	max	min	max
L1	Власна вага	-37.04	7.59	-34.86	7.48
L5	Снігове	-127.05	28.57	-133.41	28.32
C1	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L6)$	-174.04	39.24	-187.00	39.86
C2	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L7)$	-174.46	39.39	-187.26	39.92
C3	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L8)$	-182.41	41.14	-193.37	41.26
C4	$1,0x(L1)+1,0(L2)+0,95(L3)+0,9(L5)+0,9(L9)$	-182.75	41.22	-193.01	41.19
C5	C1*1.25	-217.55	49.05	-233.75	49.83
C6	C2*1.25	-218.08	49.24	-234.08	49.90
C7	C3*1.25	-228.01	51.42	-241.71	51.57
C8	C4*1.25	-228.44	51.53	-241.27	51.49

Динамічні характеристики представлені величинами частот і формами власних коливань. Аналізувались три перші частоти власних коливань, характеризуючі цілісний стан споруди [1].

Табл. 6. Технічні характеристики сейсмостанції ZET 048C

Тип датчиків	диференціальні
Число вимірюваних координат	3 (X, Y, Z)
Параметр вимірювання	віброприскорення
Робочий діапазон, Гц	від 0,3 до 400
Чутливість	не більше 10^{-5} м/с ²
Основна відносна похибка, %	не більше ±10
Робоча температура, °C	від -30 до +50

Дієздатність моделі характеризувалась оперативністю реагування на зміни в напружено-деформованому статі споруди, діапазоном розрахункових показників, можливістю використання окремих практичних завдань та функціонуванням в системі моніторингу.

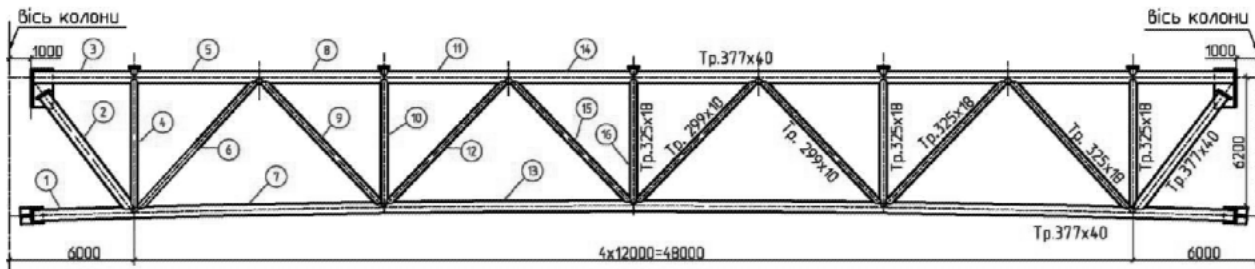


Рис. 1. Ферма підкроквяна ПФ6

Збіжність засвідчили і величини характеристик власних коливань (табл.5).

Максимальна різниця між результатами отриманими в комплексах NASTRAN і SCAD виявилась в показниках другої частоти і становить 1,63%. Співпали і форми коливань. В модальному аналізі при визначенні параметрів власних частот, навантаження власної ваги огорожувальних конструкцій L2 та технологічне навантаження L3 у програмному комплексі NASTRAN, приєднувались до основної маси конструкції через неконструкційні маси. А у програмному комплексі SCAD за рахунок приспінання та перетворення статичних навантажень L2 і L3 в маси.

Натурні величини власних частот і напрямки коливань фіксувались сейсмостанцією ZET 048-С (технічні дані наведені у таблиці 6), яка була встановлена на позначці +13,860 м на внутрішній несучій колоні К1, розташованій на перетині літерної осі Г з цифровою осью 2.

Табл. 5. Частоти власних коливань

Номер тона частоти	Частота власних коливань, Гц		
	Розрахункова за даними результатів розрахунків у програмних комплексах		Експериментальна за даними натурних вимірювань
	SCAD	NASTRAN	
1	0.506289	0.492079	0.49-0.51
2	0.556190	0.53825	0.53-0.57
3	0.660833	0.66865	0.66-0.69

Виміри та розшифровка отриманих результатів виконувалась по методиці Київського національного університету будівництва та архітектури.

Експериментально вимірювались віброприскорення несучих конструкцій в реальному часі з подальшою їх обробкою та визначенням величин власних коливань споруди. Зареєстровані віброграми коливань оброблялись програмним забезпеченням ZETLAB SEISMO за допомогою спектрального аналізу методом дискретного перетворення Фур'є. Отримані спектри (рис. 2) були проаналізовані з метою визначення числових значень частот коливань, які відповідають основним пікам на спектрограмах та є наслідком відгуку конструкції на зовнішні джерела динамічної дії.

Чутливість реагування моделлю на зміни динамічного характеру в деформованому стані конструкцій оцінювалась по величинам трьох перших власних частот основного тону коливань [2]. Перевірявся ступінь впливу таких негативних факторів, як послаблення жорсткості з'єднань основних несучих колон з фундаментом, просідання ґрунтової основи під колонами, розташованими на перетинах літерних осей Г і Д та цифрової осі 4 відповідно. Також перевірявся вплив появи пластичного парніру в місцях жорсткого з'єднання ферми з колонами. Такі фактори мають місце в реальних конструкціях [3] і не виключається можливість їх появи в аналізованій споруді.

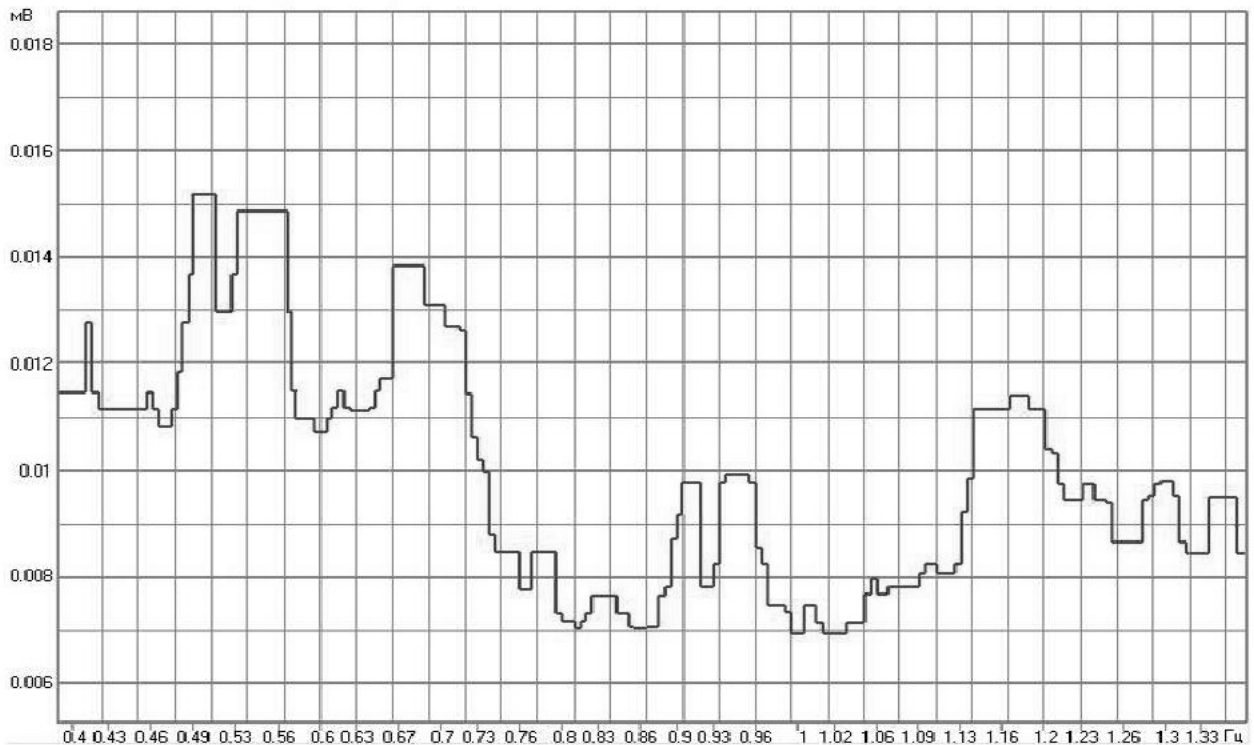


Рис. 2. Спектр власних коливань споруди МВЦ.

Отримані результати показують, що розроблена модель чутливо реагує на зміни в працездатному стані конструкції та оперативно інформує про них відповідні служби.

Сама модель є досить універсальною. Вона дозволяє надавати інформацію про абсолютні величини поздовжніх сил, моментів, поперечних сил, переміщень вузлів, стійкості елементів залежно від сполучення діючих навантажень, розраховувати власні частоти, визначати моніторингові точки конструкції, виконувати інші практичні завдання.

Однак, не дивлячись на універсальність, користування скінченно-елементною моделлю потребує практичних навиків та спеціальної кваліфікації персоналу експлуатаційних служб.

Висновки.

Розроблені скінченно-елементні моделі споруди МВЦ являються параметризованими і мають універсальний характер. Реально відображають напружено-деформований стан споруди та окремих її конструкцій. Моделі являються адекватними пред'явленим вимогам. Їх використання дозволяє отримувати своєчасну інформацію відносно змін технічного стану будівлі та оперативно виконувати невідкладні практичні завдання.

Література

1. Савин С.Н., Демишин С.В., Ситников И.В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. - №7. - 2011.
2. Белостоцкий А.М. Каличава Д. К., Нагибович А.И., Петршов Н.О., Петршов С.О. Адаптируемые конечно-элементные модели в основе динамического мониторинга несущих конструкций высотных зданий. Часть 2. Верификация методики на стендовых моделях // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, – 2012. – 8(4). – С.28-42
3. Патрикеев А.В. Система динамического мониторинга инженерного сооружения как ключевой элемент его технической безопасности // Вестник МГСУ. - 2014. - №3. – С.133-



140.

4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБІ В.1.2-14-2009. – [Чинні від 2009-12-01]. - К. Мінрегіонбуд України, 2009. (Державні будівельні норми України).

5. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007. [Чинні від 2008-01-0] – К. Мінрегіонбуд України, 2007. (Державні будівельні норми України).

6. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. - [Чинний з 2013-09-01]. – К. Мінрегіон України, 2013. – 40 с. – (Національний стандарт України).

7. Науково-технічний моніторинг будівель і споруд / І.Д. Бслов, В.В. Гайдайчук, О.П. Дєдов, Н.С. Матіаш// Наука та будівництво. - 2015. - №3. – С.17-20.

Надійшло до редакції 13.04.2015 р.

Рецензент: д.т.н., доц. Кузьмінець М.П.

УДК 778.528.7

Е. В. Горда¹, доцент, к.т.н.,

А. А. Пузько¹, аспірант

¹Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФЕКТА ТИПА "ТРЕЩИНА"

АНОТАЦІЯ. У роботі наведені результати дослідження елементів дефектів типу "тріщина", а саме: кореня тріщини, ланки тріщини, точки розгалуження, точки росту тріщини, берегів, крайки, яру тріщини, – з точки зору утворення на їх основі ознак, що характеризують зони суміжності цих елементів на цифрових зображеннях. Такий підхід дозволяє врахувати в понятті дефект типу "тріщина" не тільки власне тріщину, але і породжені дефекти в області її суміжності. Особливу увагу приділено спостережливості ознакоутворюючих властивостей елементів ДТТ на цифрових зображеннях на основі яких можливо ефективно доступними засобами Web-камер моніторити і вимірювати в оптичному діапазоні. Отримані результати можуть бути використані при побудові систем моніторингу, розпізнавання та ідентифікації дефектів для оцінки стану об'єктів будівництва методами неруйнівного контролю. З іншого боку, їх можна застосовувати для формування вимог до комплексу технічних засобів систем спостереження процесу утворення тріщин на різних об'єктах.

Ключові слова: тріщина, цифрове зображення, елемент тріщини, спостережливість, ознака, моніторинг, ідентифікація.

ABSTRACT. The paper presents the results of a study of the elements of the defects of type "fracture", namely: root cracked, link crack, the branch points of the point of crack growth, the banks, edges, ravine cracks, from the point of view of formation on their basis of features that characterize the zones of adjacency of these elements on digital images. This approach allows us to consider the concept of defect type "crack" in the crack, but generated defects in the area of its adjacency. Special attention is paid to recognizability observability properties of the elements of RTI on digital images on the basis of which it is possible to effectively available by means of Web-cameras to monitor and measure in the optical range. The results can be used to build systems for monitoring, recognition and identification of defects to assess the status of construction projects by NDT methods. On the other hand, they can be applied to formation of requirements to complex of technical means of surveillance of the process of crack formation at different sites.

Keywords: crack, digital image, element cracks, observability, sign, monitoring, identification.