

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.15+519.642

А. С. Моргун¹
М. М. Сорока²
І. М. Меть¹

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ ТИПУ «ВАНТОВИЙ МІСТ» ЗАСОБАМИ САПР

¹Вінницький національний технічний університет;
²Одеська державна академія будівництва та архітектури

В якості числової імплементації методу скінчених елементів за допомогою ПК «SCAD» проведено аналіз зусиль та переміщень вантового мосту від дії статичних навантажень за чинними державними нормативами та нормативами Eurocode 2.

Ключові слова: програмний комплекс, зусилля, переміщення.

Вступ

Як відомо, математичною моделлю технічних об'єктів на мікрорівні є система диференціальних рівнянь в частинних похідних, що описує процеси суцільних середовищ із заданими граничними умовами. Точне розв'язання цієї системи вдається отримати лише в часткових випадках. Для цього зазвичай залучають числові методи. В роботі використано ПК SCAD, теоретичну основу якого становить метод скінчених елементів (МСЕ).

Необхідність приймати рішення з питань міцності, доцільності того чи іншого конструктивного варіанта змушує звертатись до САПР та ЕОМ, які значно прискорюють процес будівельного проектування. Аналіз зміни НДС є специфікою використання в будівельній області відповідного математичного апарату.

Для міцнісного аналізу будівельних конструкцій в Україні ПК SCAD є популярним, це система світового стандарту відповідності вимогам норм, має зручний інтерфейс. В роботі розглянуто фізичний процес зміни під навантаженням НДС вантового мосту (процес адекватно описується варіаційним обчисленням, яке складає основу МСЕ) за двома видами нормативних вимог із залученням ПК SCAD. Проектування сучасних будівельних конструкцій неможливо уявити без використання САПР та ЕОМ. Розрахункові схеми споруд стають більш деталізованими та складними. Проектування — один із наймасовіших різновидів інженерної діяльності, воно оперує великими обсягами інформації і якість прийняття проектного рішення залежить від правильного опрацювання цієї інформації.

Поява САПР (систем автоматичного проектування) є формою використання сучасних інформаційних технологій, в них реалізовано найновіші методи проектування споруд, що поєднують накопичений досвід з можливістю аналізу прийнятого конструктивного рішення.

Теоретичну складову ПК SCAD становить числовий метод скінчених елементів у формі методу переміщень. Вибір саме цієї форми зумовлено простотою алгоритмізації та фізичної інтерпретації, можливістю створення єдиних методів побудови матриць жорсткості та векторів навантажень для різних типів скінчених елементів (СЕ), можливістю врахування довільних граничних умов.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

За допомогою сертифікованого програмного продукту ПК SCAD проведено розрахунок плоскої моделі пішохідного мосту [1—4], яка складається з балки жорсткості (двотавр широкополочний 40Ш1), двох пілонів (труба зварна прямошовна 530×11) і вантової системи. Крайні ванти виготовлені з канату подвійної навивки Ø 45 типу ЛК-ПО ТУ 14-4-902-78, ванти, що підтримують балку жорсткості виготовлені із канату одинарної завивки Ø 18,5 типу Т12 ГОСТ 3064-80. Балка жорсткості з опорами з'єднана шарнірно. Постійне навантаження — $F = 1,35$ кН. Короткочасне навантаження — $F = 6$ кН.

Метою роботи є порівняння розрахунків вантового мосту за нормативними документами України (ДБН В.2.6.-98:2009, в основу якого покладена спрощена двовіткова діаграма деформування $\sigma - \varepsilon$ металевих та бетонних виробів) та за нормами EN 1992-1-1 (Eurocode 2), в які закладено реальну криволінійну діаграму $\sigma - \varepsilon$ роботи будівельних матеріалів, що дає можливість адекватніше прогнозувати їх деформативні властивості.

Першою задачею, яка постає під час компоновки розрахункової моделі, є побудова наближеної дискретної моделі цієї системи, що переводить розрахункову систему диференціальних рівнянь до системи апроксимуючих рівнянь високим порядком.

ПК SCAD працює в двох режимах — режим формування розрахункової моделі та режимі розрахунку та аналізу отриманих результатів. Способи переходу від реальної споруди мосту до аналогічної комп'ютерної моделі такі. Геометрична форма мосту приведена до такої стандартної схеми, як стрижні, що взаємодіють між собою в скінченій області точок — вузлах. При проведенні дискретизації для числового моделювання пілон мосту розбито на 4 лінійних скінчених елементи (4 СЕ), по балці жорсткості мосту довжиною СЕ теж прийнято по 2 м.

В режимі формування розрахункової моделі вибрано:

– тип схеми — плоска шарнірно-стержнева система, це дало можливість дискретизувати міст простими лінійними СЕ, рис. 2;

– норми проектування: Eurocode 2;

– тип розрахунку: нелінійний; та-

кож зроблено вибір вхідних одиниць виміру, введено координати вузлів, шарнірів, СЕ, жорсткості стрижнів, встановлено вязі, введено навантаження.

Навантаження прикладалось до балки жорсткості у вигляді вузлових зосереджених сил. Варіанти завантажень:

1 — постійне $F = 1,35$ кН по всій довжині мосту;

2 — короткочасне 1 $F = 6$ кН по всій довжині мосту;

3 — короткочасне 2 $F = 6$ кН на лівій половині мосту;

4 — короткочасне 3 $F = 6$ кН на правій половині мосту.

В результаті отримано чотири варіанти завантаження мосту, рис. 3.

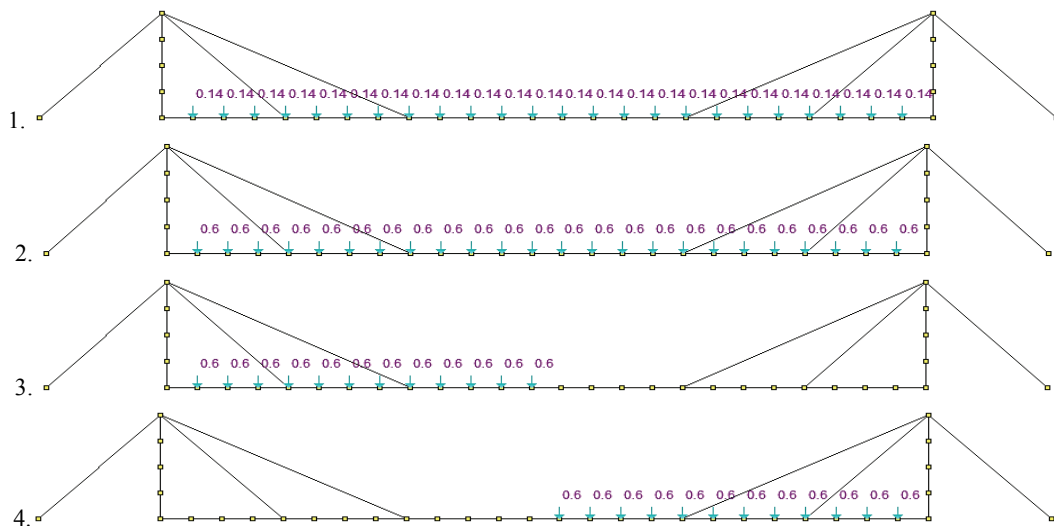


Рис. 3. Варіанти завантаження мосту, $P (\cdot 10 \text{ кН})$

З чотирьох варіантів завантажень скомпоновано три комбінації згідно з ДБН В.1.2-2:2006: — 1 постійне та короткочасне по всій довжині мосту; — 2 постійне та короткочасне по лівій половині мосту; — 3 постійне та короткочасне по правій половині мосту.

Після створення та перевірки розрахункової моделі проведено нелінійний розрахунок згідно з Eurocode 2 по трьох комбінаціях навантажень. Після закінчення розрахунку проведено аналіз

отриманих результатів. Перш за все, перевірено деформації мосту. На екрані отримуємо зображення вихідної і деформованої схеми мосту (рис. 4) та числові значення переміщень вузлів по осі X (рис. 5) чи переміщення по осі Z (рис. 6).

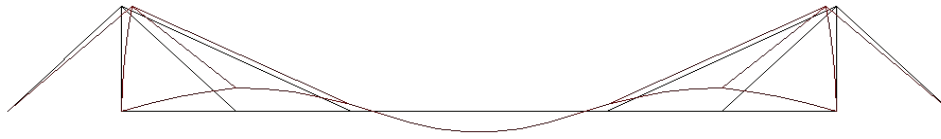


Рис. 4. Схема деформації при першому нелінійному завантаженні

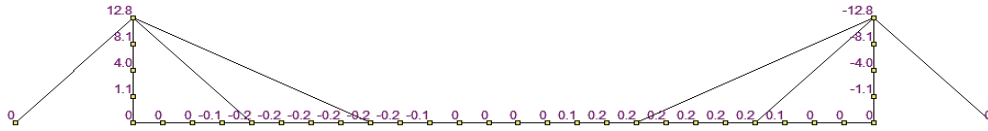


Рис. 5. Вузлові переміщення по осі X ($\cdot 10^{-3}$ м) (по горизонталі)

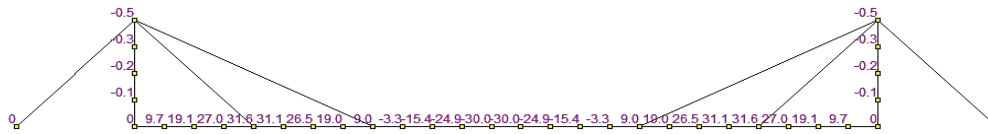


Рис. 6. Вузлові переміщення по осі Z ($\cdot 10^{-3}$ м) (по вертикалі)

Аналогічно аналізуються схеми деформацій та вузлові переміщення вузлів другого та третього видів навантаження, рис. 7, 8.

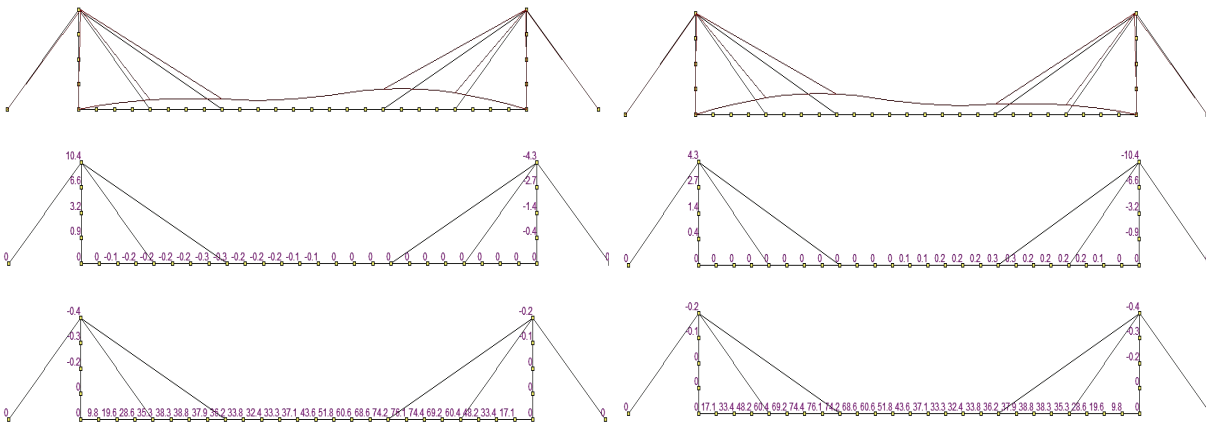


Рис. 7. Переміщення для другого та третього нелінійних завантажень ($\cdot 10^{-3}$ м)

Отримані переміщення порівнюються з переміщеннями, що допускаються нормами. Якщо отримані переміщення більші ніж допустимі, то коригується зусилля натягу у вантах, або змінюється поперечний переріз балки жорсткості.

Для отримання зображення епюр зусиль, які є інтегрованими виразами отриманих напружень, встановлюється на відповідні закладці номер навантаження (перше, друге, третє) та вибирається зусилля (N , M_y , Q_z). Зображення відповідних епюр зусиль на рис. 9—11.

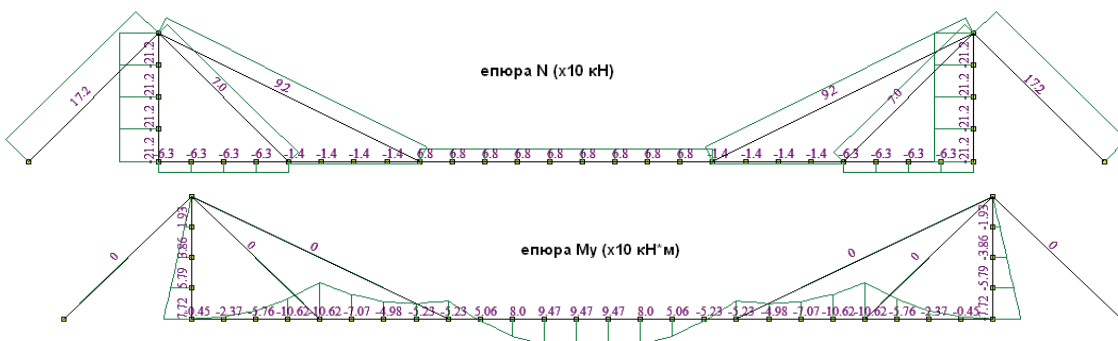
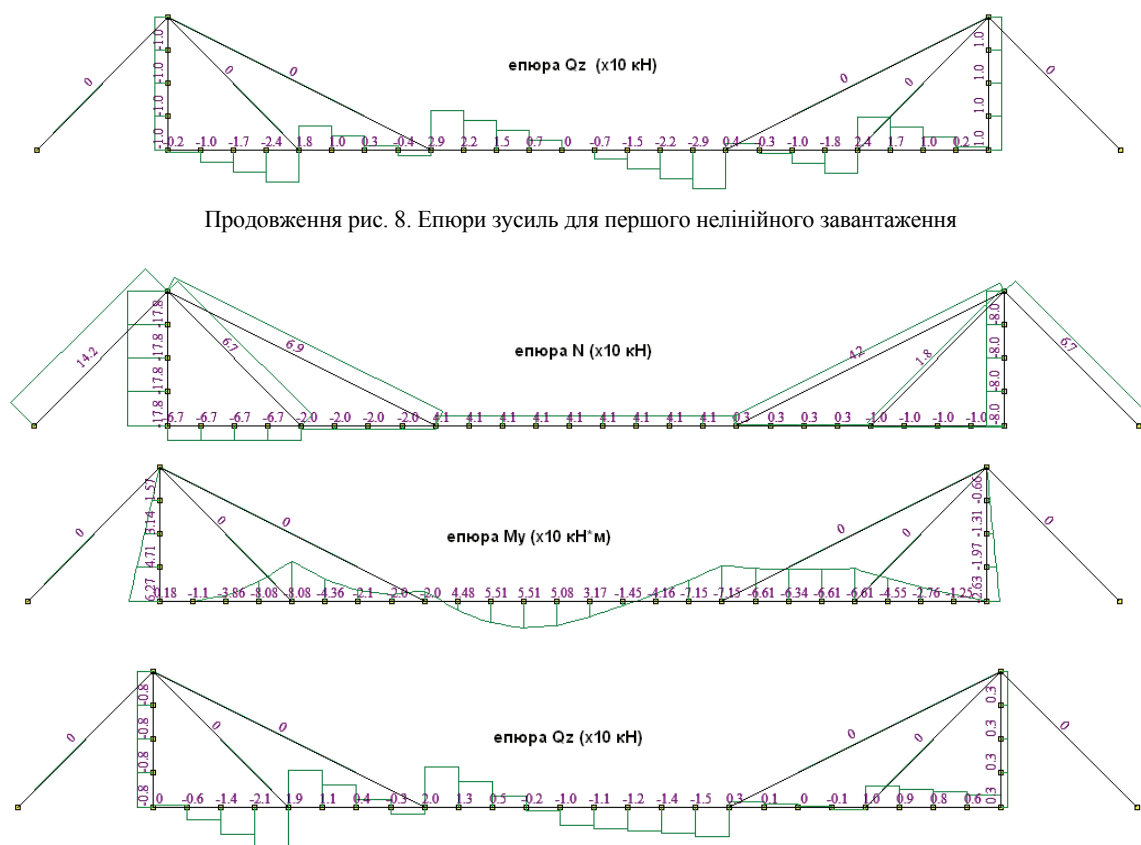


Рис. 8. Епюри зусиль для першого нелінійного завантаження



Продовження рис. 8. Епюри зусиль для першого нелінійного завантаження

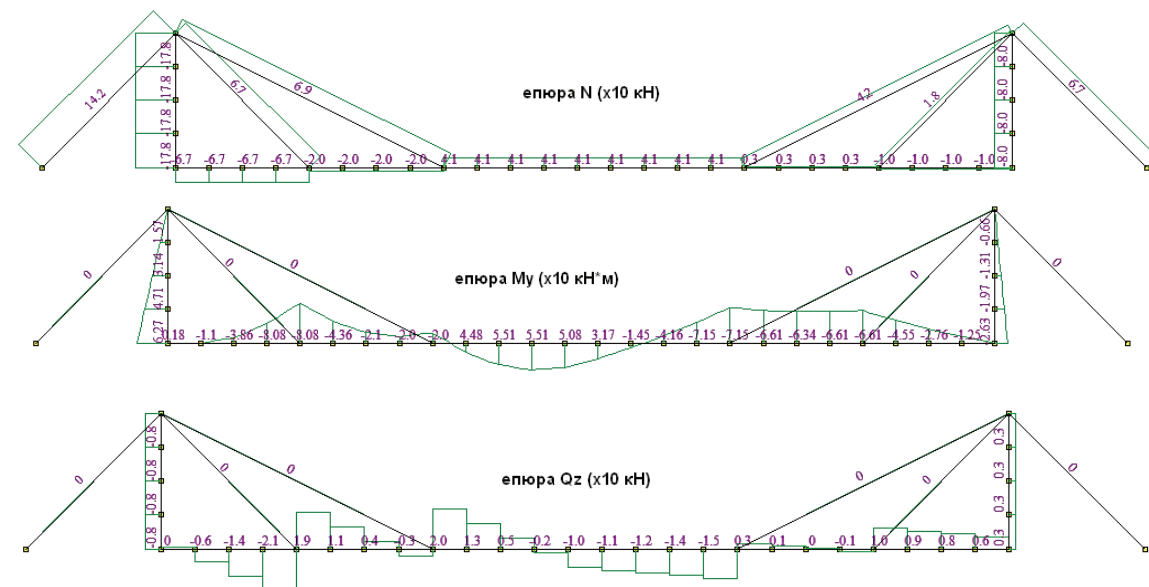


Рис. 9. Епюри зусиль для другого нелінійного завантаження, які є симетричними третьому нелінійному завантаженню

Порівняння результатів розрахунків

Внутрішні зусилля	Розрахунок згідно з Eurocode 2		Розрахунок згідно з чинним ДБН	
	I комбінація навантаження	II (III) комбінація навантаження	I комбінація навантаження	II (III) комбінація навантаження
В балці жорсткості M_{\max}	+84,7 кНм	+55,1 кНм	+73,9 кНм	+49,7 кНм
В балці жорсткості M_{\min}	-106,2 кНм	-80,8 кНм	-91,3 кНм	-73,1 кНм
В балці жорсткості Q_{\max}	+29 кН	+29 кН	+27 кН	+27 кН
В балці жорсткості Q_{\min}	-29 кН	-24 кН	-27 кН	-21 кН
В вантах N_{\max}	+172 кН	+142 кН	+161 кН	+138,2 кН
Максимальні переміщення в пілонах	12,8 мм	10,6 мм	11,9 мм	9,4 мм
Максимальні переміщення в балці жорсткості	+30,1 мм -31,6 мм	76,1 мм	+28,7 мм -29,1 мм	74,2 мм

Висновки

1. Таким чином, сучасні САПР як процес збирання, аналізу і перероблення інформації перетворюють цю інформацію з її первісної форми (вхідні, довідкові данні, нормативна інформація та інша) в форму проектної документації споруди, скорочують терміни виготовлення технічної документації та в режимі реального часу дають можливість оперативно перевірити та скорегувати отримане рішення.

2. Розрахунок будівельних конструкцій згідно з нормативами Eurocode 2, в основу якого покладена реальна криволінійна залежність між $\sigma - \epsilon$, виявляє принципові відмінності подібного підходу від розрахунку за граничними станами, який лежить в основі чинних ДБН. Такий нелінійний розрахунок відкриває широкі можливості для аналізу особливостей деформування матеріалу і вибору раціональних параметрів розглянутих елементів та їхніх систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моргун А. С. Будівельна механіка та будівельні конструкції : навч. посіб. для студ. ВНЗ/ А. С. Моргун, М. М. Сокока. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 243 с. — ISBN 978-966-641-385-0.

2. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа : учеб. для студ. вузов / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. — М. : изд-во ДМК, 2007. — 600 с. — ISBN 966-96331-2-5.
3. Вычислительный комплекс SCAD : учеб. пос. / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. — М. : изд-во АСВ, 2004. — 592 с. — ISBN 966-96331-2.
4. SCAD — Вычислительный комплекс для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов [Электронный ресурс] / ScadOffice. — Режим доступа : <http://scadsoft.com/products>.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 8.02.2016

Моргун Алла Серафимівна — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: alla@morgun.com.ua;

Меть Іван Миколайович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Сорока Микола Миколайович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри будівельної механіки.

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

A. S. Morhun¹
M. M. Soroka²
I. M. Met¹

Features of Calculation of Constructions of Type «Cable-stayed Bridge» by Means of CAD System

¹Vinnitsia National Technical University;

²Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

There has been conducted the analysis of forces and displacements of suspension bridge according to the applicable standards and regulations EUROCODE 2 under the action of static loads as the numerical implementation of the method of finite elements performed using the software complex «CAD»

Keywords: software complex, effort of moving.

Morghun Alla S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Civil Engineering, Urban Economy and Architecture, e-mail: alla@morgun.com.ua;

Soroka Mykola M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Structural Mechanics;

Met Ivan M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Civil Engineering, Urban Economy and Architecture

A. S. Моргун¹
Н. Н. Сорока²
И. Н. Меть¹

Особенности расчёта конструкций типа «вантовый мост» средствами САПР

¹Вінницький національний технічний університет;

²Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В качестве числовой имплементации метода конечных элементов с помощью ПК «SCAD» проведен анализ усилий и перемещений вантового моста под действием статических нагрузок согласно с действующими государственными нормативами и нормативами Eurocode 2.

Ключевые слова: программный комплекс, усилия, перемещения.

Моргун Алла Серафимовна — д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой строительства, городского хозяйства и архитектуры, alla@morgun.com.ua;

Сорока Николай Николаевич — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры строительной механики;

Меть Иван Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры