

УДК 531.01:624.01-42:004.94

*О.М. Черевко, к.т.н., доцент*

*Д.В. Усенко, студент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ТРИВИМІРНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА КОНСТРУКЦІЮ СКЛАДНОЇ ФОРМИ**

*Виконано дослідження поведінки будівлі під час сейсмічної активності. Створено систему математичних моделей, які описують, візуалізують та прогнозують стан будинку під час землетрусу. Модель може бути використана як допомога на початковому етапі будівництва.*

**Ключові слова:** *конструкція складної форми, візуалізація навантажень, тривимірна модель, балка, рама.*

УДК 531.01:624.01-42:004.94

*О.Н. Черевко, к.т.н., доцент*

*Д.В. Усенко, студент*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИЮ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

*Выполнено исследование поведения здания при сейсмической активности. Создана система математических моделей, описывающих, визуализирующих и прогнозирующих состояние дома при землетрясении. Модель может быть использована как помощь на начальном этапе строительства.*

**Ключевые слова:** *конструкция сложной формы, визуализация нагрузок, трехмерная модель, балка, рама.*

UDC 531.01:624.01-42:004.94

*О.М. Tcherevko, PhD, Associate Professor*

*D.V. Usenko, student*

*Poltava Yuriy Kondratyuk National Technical University*

## **THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF LOADS ON THE CONSTRUCTION OF COMPLEX SHAPE**

*This paper was written for study of behavior of the building during seismic activity. Had been created a system of mathematical models that describe visualize and predict the state of the building during the earthquake. This model can be used as an aid in the initial phase of construction.*

**Keywords:** *design of complex shape, stress imaging, three-dimensional model, beam frame.*

**Вступ.** При будівництві слід врахувати багато факторів. Одними з найважливіших є ті, від яких залежить міцність і якість будинку. Сучасні багатоповерхівки будуються без урахування ряду важливих аспектів, що призводить до незручностей при експлуатації, а іноді і серйозних проблем. Досить актуальною є проблема сейсмічної активності, яка кожного року наносить багатомільйонні збитки всьому людству.

Для того, щоб спрогнозувати міцність будівлі, проводять довгострокові та недешеві експерименти. Тому запропоновано використання програмного комплексу для визначення та візуалізації поведінки будівлі під час землетрусу. Досить важливим є також те, скільки протримається будинок під сейсмічним навантаженням.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Для створення програмного середовища в САПР AutoCAD було використано низку джерел [1–3]. У них описано загальний процес створення найпростіших моделей, а також пояснено використання вбудованої мови програмування AutoLISP для виконання елементарних операцій.

До недоліків цих робіт слід віднести низький рівень пояснення на прикладах використовуваних функцій. Не розглядається, зокрема, і те, як будувати складні об'єкти, використовуючи лише програмну частину: все обмежується лише побудовою просторових відрізків, поверхонь і тіл. Але слід відзначити високий рівень написання цих робіт. Для того, хто бажає зрозуміти мову програмування AutoLISP, цих джерел більш ніж достатньо.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** У попередніх публікаціях автори лише висвітлювали загальну картину проблем і видавали кінцеві дані. При цьому весь процес створення та аналізу моделі залишався непоміченим. У цій роботі автори зображують увесь процес створення математичних моделей конструкції складної форми – від вибору об'єкта досліджень, створення його тривимірної моделі, описання всіх етапів вирішення задачі до виведення загальних висновків і надання достовірних даних.

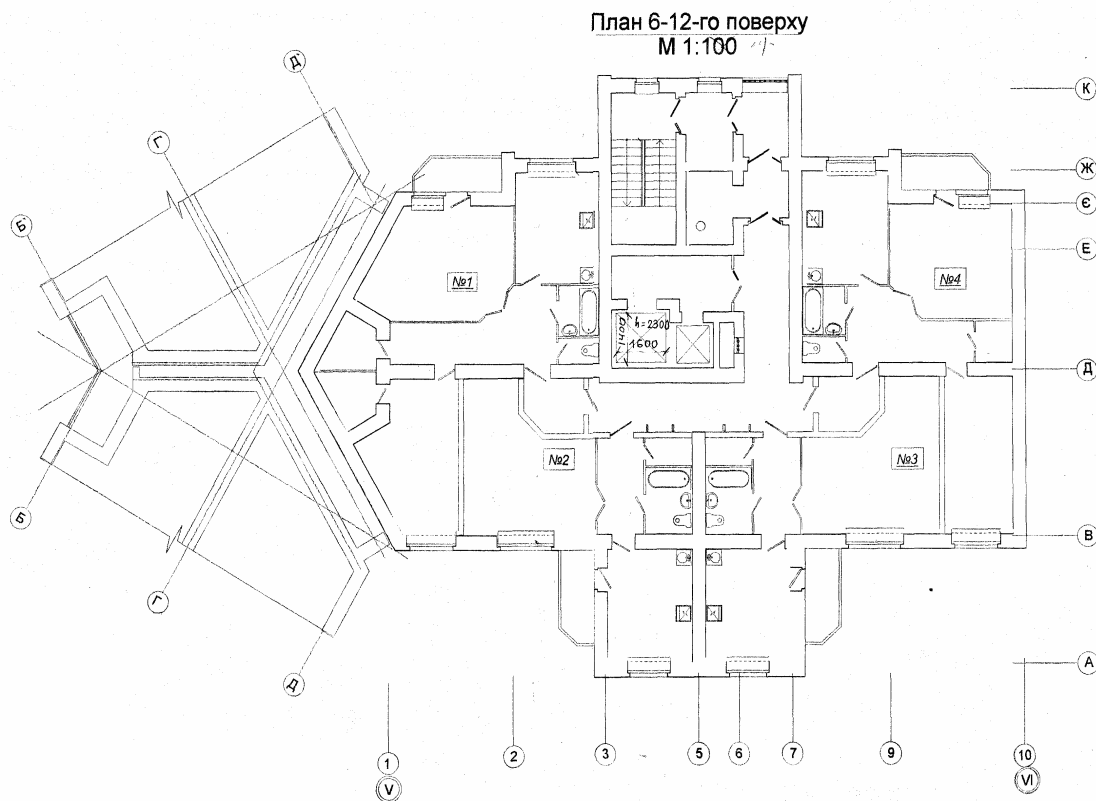
Отже, **метою** статті є прогнозування, опис і візуалізація поведінки будівлі під час землетрусу. Ця проблема актуальна для всієї світової спільноти, адже недавно (21.04.2013) стався нищівний землетрус у Китаї (провінція Січуань), під час якого загинуло більше ста осіб, тисячі поранено. Однією з основних проблем, з котрою зіткнулися рятувальники, стали уламки будівель, які не встояли від потужних поштовхів. Для того, щоб у майбутньому уникнути подібних катастроф і великої кількості постраждалих, слід врахувати небезпеку сейсмічної активності вже на початку будівництва.

Для розв'язання цього завдання слід здійснити численні дорогі й довготривалі дослідження та експерименти. Але останні надають лише деякі дані. Для узагальнення отриманих результатів слід провести велику кількість розрахунків [3].

Для спрощення та здешевлення дослідів слід створити математичну модель, яка дозволить розв'язати поставлену проблему. Крім цього, вибраний метод дослідження дозволить візуалізувати, спрогнозувати та описати поведінку будівлі під час сейсмічної активності [4]. Але перш за все потрібно вибрати об'єкт для дослідження. Ним став будинок, зведений 2009 року в м. Полтава. Його створено з урахуванням кліматичних і сейсмічних коливань. Схему будинку зображено на рис. 1

Будинок має чотирнадцять поверхів, і складається з чотирьох секцій. Між кожною секцією є вентиляційні канали, шириною 300 мм які під час сейсмічної активності слугують компенсаційними.

Для дослідження вибраного об'єкта, слід створити математичну модель, але перш за все варто дослідити найпростіший його елемент – балку. Адже тріщиностійкість є однією з важливіших характеристик, які визначають довговічність виробів і конструкцій [6].

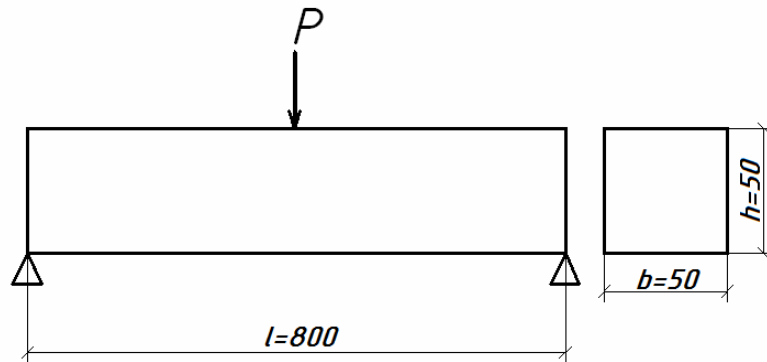


**Рисунок 1 - План досліджуваного будинку**

**Основний матеріал і результати.** Для оцінювання тріщиностійкості використовують коефіцієнт схильності матеріалу до утворення тріщин. Цей коефіцієнт дорівнює відношенню кінцевої усадочної деформації до граничного розтягування. У механіці для оцінювання руйнування та утворення тріщиностійкості приймають коефіцієнт інтенсивності напружень [1]. Границю міцності при згині визначали за схемою, наведеною на рис. 2 [2], та формулою (1)

$$R_0 = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (1)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження,  $b$  – ширина та  $h$  – висота зразка відповідно, мм;  $l$  – відстань між опорами, мм.



**Рисунок 2 - Схема випробування при згині на трьох точках**

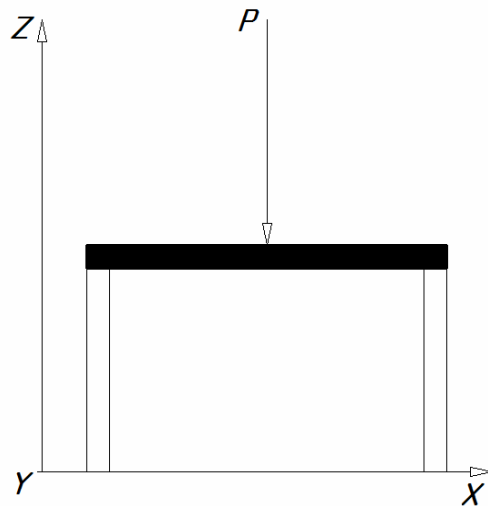
Також було використано формулу (2) для більш точної візуалізації процесу поведінки і руйнації балки під час землетрусу:

$$Y = \frac{P}{24EJ}(x^4 - 2lx^3 + l^3x), \quad (2)$$

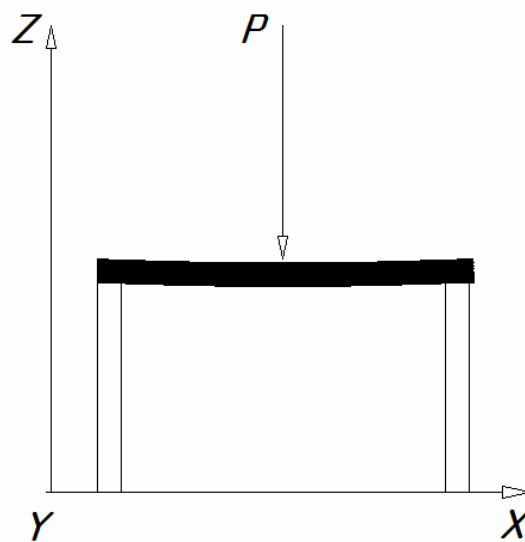
де  $p$  – модуль пружності Юнга, який залежить від матеріалу, тобто це стала величина;  $J$  – момент інерції, що не змінюється;  $E$  – модуль поперечного перерізу балки;  $x$  – змінна координата;  $l$  – довжина балки.

Математичну модель балки розроблено на основі цих критеріїв. Балка вільно лежить на двох опорах, і за необхідності програмне середовище дає можливість створити та описати навантаження на неї, що, безперечно, являє собою науковий інтерес. За потреби можливо спостерігати за процесом прогину балки з будь-якої токи простору. Величина навантаження задається до запуску модуля візуалізації, що унеможливує виникнення помилок при розрахунках. За необхідності можна збільшити розміри балки та величини тисків – створене середовище дозволить візуалізувати й обчислити поставлені завдання [5]. Балка має розміри 800x50x50 мм. (рис. 3).

Зовнішні сили діють на балку і прогинають її, але цього не достатньо для явної візуальної відмінності. У моделі враховується, що балка виготовлена з фібробетону й армована сталевими прутами, на неї посередині прикладена сила. Але її модуль дорівнює нулю, тому прогин непомітний. Отже, маючи модель у тривимірному просторі, створимо тиск на неї в розмірі 1 МПа, результат дії якого зображено на (рис. 4).



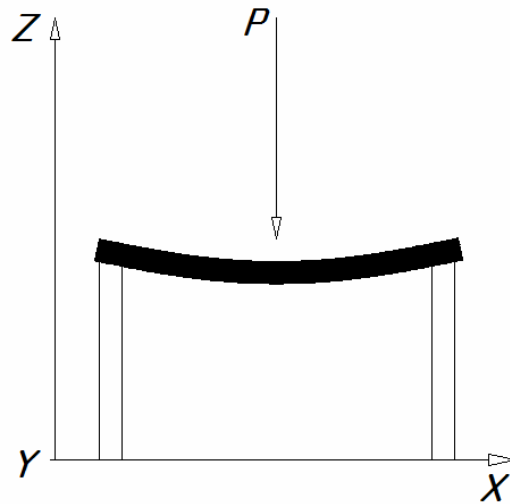
**Рисунок 3 - Балка, що вільно лежить на двох опорах**



**Рисунок 4 - Тиск на балку в розмірі 1 МПа**

Прогин візуально збільшився і балка все ще ціла, та модуль прикладеного тиску недостатній для руйнації. Отже підвищимо навантаження до 6 МПа, як це зображено на рис. 5. Величина прогину також збільшилася. Таким чином, маючи цю модель, можна передбачувати прогин досліджуваного елемента без проведення експерименту [2].

Після цього дослідження було зроблено висновок, підтверджений як експериментально, так і розрахунками, що балка цього розміру, матеріалу та за даних умов витримає постійний тиск, що не перевищує 6 МПа.



**Рисунок 5. Тиск на балку в розмірі 6 МПа**

Маючи результати проведених досліджень, на їх основі створимо математичну модель уже цілої будівлі. Ця модель зобразить поведінку будівлі під урахованими навантаженнями під час землетрусу. Наступна програма створена на основі формули (2)

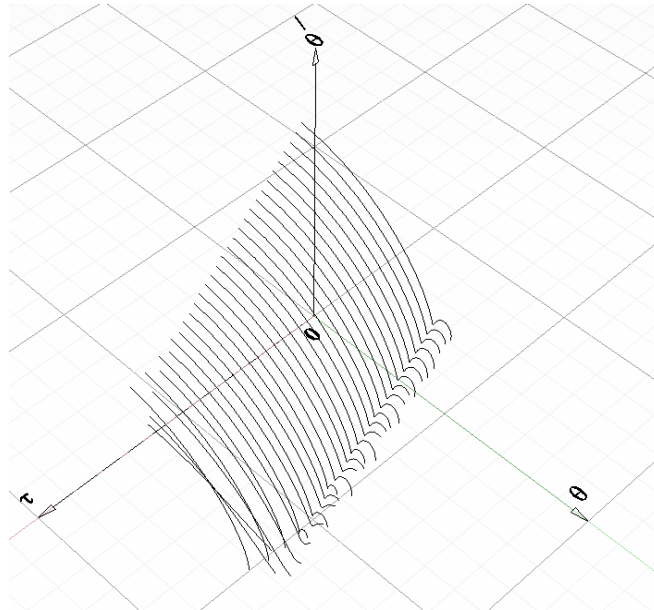
$$X = (I_z + \lambda) \frac{d\omega_z}{dt} + \sum M_{зем.} + \sum R_i = M_s, \quad (3)$$

де  $I_z$  - момент інерції будівлі відносно осі  $Z$ ;  $\lambda$  – моменти інерції приєднаних мас повітря;  $\omega_z$  – кутова швидкість будівлі, відносно осі  $Z$ ;  $\sum M_{зем.}$  - сума моментів, спричинених землетрусом відносно осі  $Z$ ;  $\sum R_i$  - сума реакцій опор будівлі [4].

При цьому, елементами, що підлягають дослідженню в цьому випадку, будуть кут нахилу будівлі  $\Theta$ , кутова швидкість  $\Theta'$  та час  $\tau$ . Тепер уже маємо деяку частину вже фазового простору, в якому замість координатних осей  $X, Y, Z$ , осі  $\Theta, \Theta'$  та  $\tau$ .

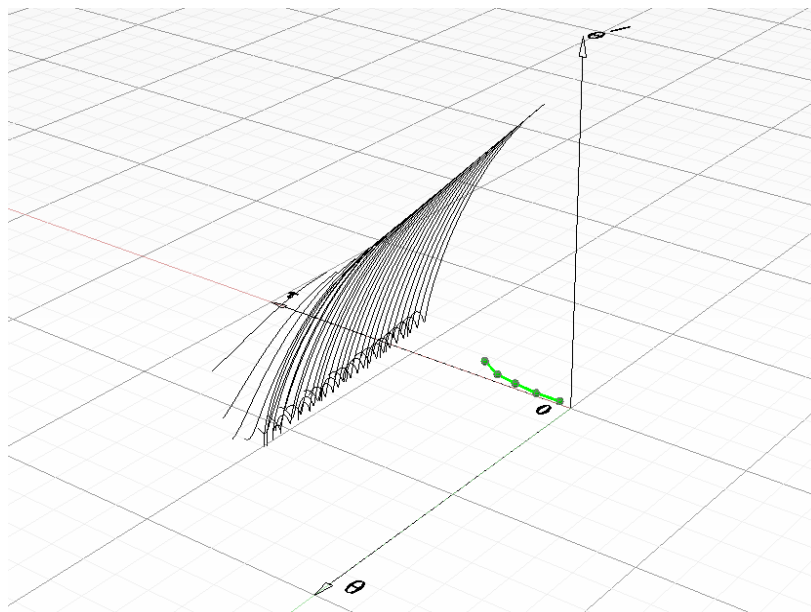
Будь-яка точка, розташована під поверхнею епюрів, зображує безпечну поведінку будівлі під час землетрусу, над цією поверхнею - вектор початкових умов, що призводять до руйнації.

За основну шкалу було взято європейську макросейсмічну шкалу (EMS), яка є основною для оцінювання сейсмічної інтенсивності в європейських країнах, також використовується в ряді інших країн за межами Європи й була прийнята в 1998 році як оновлення тестової версії 1992 року і носить назву EMS-98. На відміну від магнітуди землетрусу, що виражає кількість сейсмічної енергії, котра виділилася в результаті землетрусу, EMS-98 визначає, якою мірою впливає землетрус на певне місце. EMS-98 є 12-бальною шкалою [12].



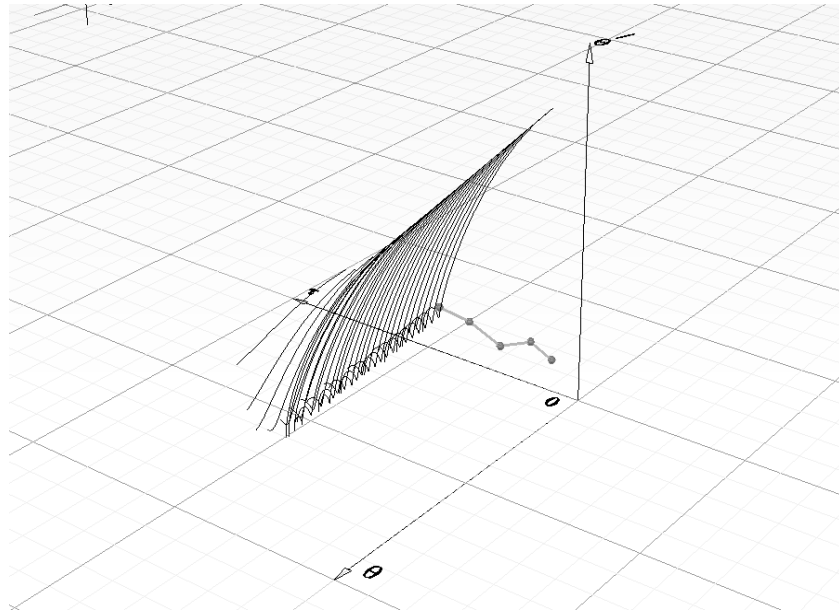
**Рисунок 6. Поверхня епюрів для граничних станів величин, що діють на будівлю**

Сили землетрусів прораховані на основі європейської макросейсмічної шкали, описаної раніше. Отже, програма запитує величину сейсмічної інтенсивності землетрусу за шкалою EMS. Для рис. 7 було задано один бал. Бачимо графік поведінки будинку під час землетрусу (рис. 7).



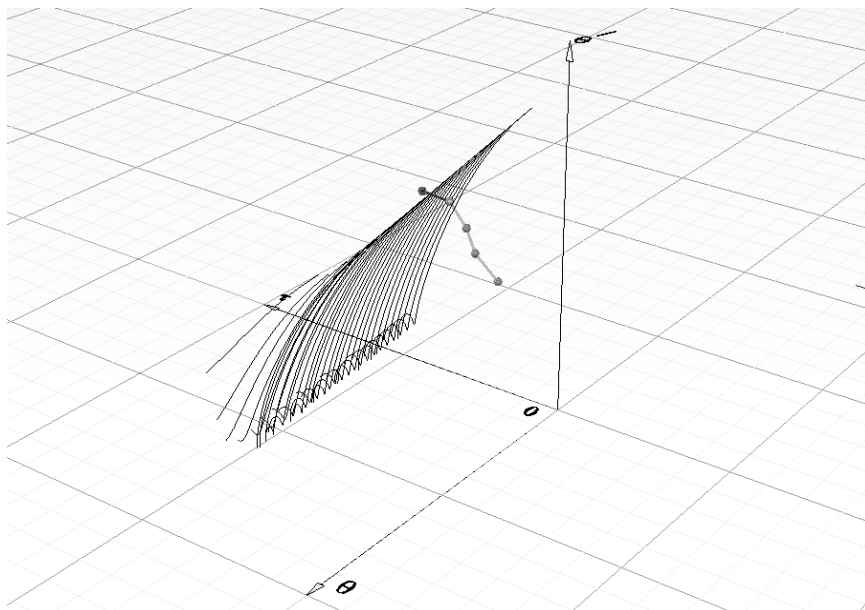
**Рисунок 7 - Поведінка будинку, під час землетрусу в один бал за шкалою EMS**

Якщо збільшити величину інтенсивності землетрусу до п'яти балів, спостерігаємо значне збільшення кута нахилу та кутової швидкості [7]. При цьому графік наблизився до поверхні епюрів, що свідчить про те, що зараз рівень небезпеки незначний, але якщо збільшити інтенсивність землетрусу, це може призвести до руйнації (рис. 8).



**Рисунок 8 - Поведінка будинку, під час землетрусу в п'ять балів за шкалою EMS**

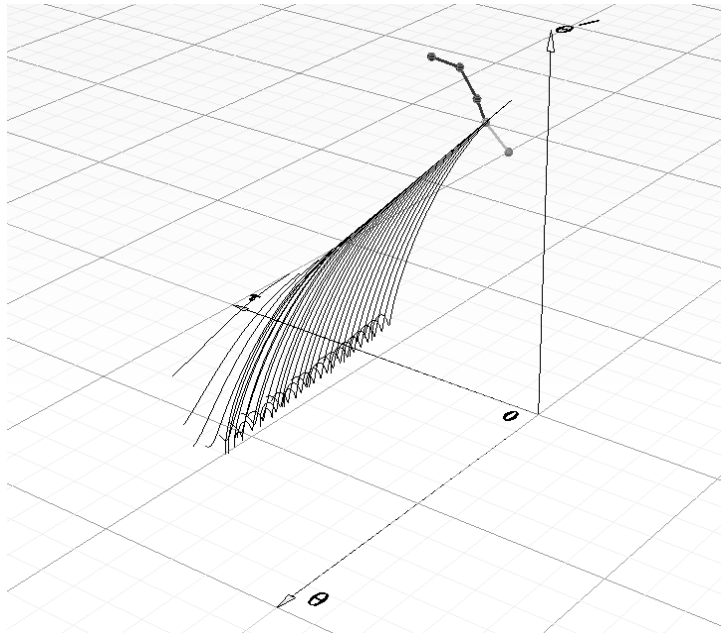
Спостерігаємо збільшення досліджуваних параметрів і небезпечне наближення графіка поведінки будинку до поверхні епюрів. Можна зробити припущення, що інтенсивність землетрусу у вісім балів стане для будинку руйнівною, як це і зображено на рис. 9, рис. 10, рис. 11.



**Рисунок 9 - Поведінка будинку, під час землетрусу у вісім балів за шкалою EMS**

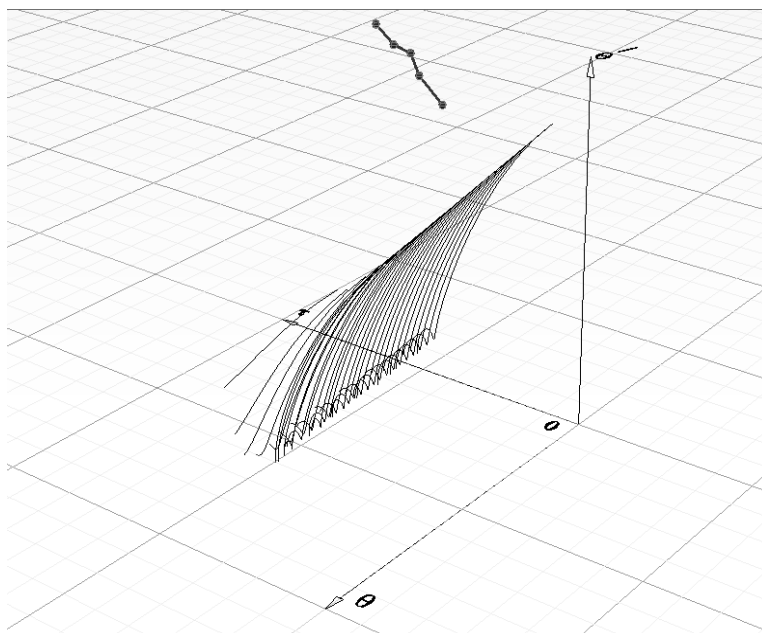
Графік поведінки будинку перетнув поверхню епюрів, створених для граничних станів досліджуваних величин. Це означає, що цей будинок за заданих умов зазнав руйнації при інтенсивності землетрусу вісім балів за шкалою EMS.





**Рисунок 10 - Поведінка будинку, під час землетрусу у десять балів за шкалою EMS**

Точка перетину поверхні епюрів з графіком поведінки будівлі є моментом її руйнації, а графік над цією поверхнею зображує його поведінку після руйнації.



**Рисунок 11 - Поведінка будинку, під час землетрусу у дванадцять балів за шкалою EMS**

**Висновки.** Досліджено прогнозування стійкості чотирнадцяти-поверхового житлового будинку під час землетрусу за допомогою аналізу картин його поведінки у фазовому просторі. Застосовано геометричний підхід до дослідження поведінки будинку під час землетрусу і виконано на

цій основі якісний аналіз для різних умов. Досліджено умови руйнації будинку як перетин фазової траєкторії з поверхнею епюрів і виділено небезпечні зони. Особистий внесок авторів у роботу полягає в дослідженні та узагальненні групи рівнянь, які описують умови стійкості будинку. Створено програмний комплекс, котрий став інструментом досліджень для визначення небезпечних зон під час землетрусу. Комплекс може бути використаний як допомога при проектуванні, що і являє собою практичне значення цієї роботи.

#### Література

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. – М., 1976. – 272 с.
2. Довженко, О.О. Результаты экспериментальных исследований прочности трещиноповоких стиків з урахуванням ширини шва та армування / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.А. Юрко // Будівельні конструкції: зб. наук. пр. – К.: НДІБК, 2010, С. 105 – 112.
3. Соболев, Г. А. Основы прогноза землетрясений / Г.А. Соболев. – М.: Наука, 1993. – 312 с.
4. Погрібний, В.В. Экспериментальні дослідження багатошпонкових стиків / В.В. Погрібний, О.О. Довженко, В.Н. Рожко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2005. – Вип. 12.
5. Полещук, Н.Н. AutoLISP и Visual LISP в среде AutoCAD / Н.Н. Полещук, П.В. Лоскутов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 960 с.
6. Fibrobeton [<http://best-concept.pl/fibrobeton,35.html>]. – Режим доступу: вебсайт.
7. Дж., Ли Трёхмерная графика и анимация / Дж. Ли, Б. Уэр. – М.: Вильямс, 2002. – 640 с.
8. Полещук, Н. Н. AutoCAD. Разработка приложений, настройка и адаптация / Н.Н. Полещук – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 992 с.
9. Paul Graham. On Lisp/ Paul Graham – Prentice Hall, 1993. – С. 54 – 76.
10. Qi W. Study on shear behavior and transfer capacity in precast concrete connection with different widths and shear keys / W. Qi, E. Makitani, Y. Ito // J. Struct. Constr. Eng., No. 578, Architectural Institute of Japan. – 2004.
11. News about fibrobeton [<http://www.rbc.ru/rbcfreenews/20130421055757.shtml>]. – Режим доступу: вебсайт.
12. Европейская макросейсмическая шкала [[http://ru.wikipedia.org/wiki/Европейская\\_макросейсмическая\\_шкала](http://ru.wikipedia.org/wiki/Европейская_макросейсмическая_шкала)]. – Режим доступу: вебсайт.

Надійшла до редакції 29.05.2013  
© О.М. Черевко, Д.В. Усенко