ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ ДЕМПФЕРІВ СУХОГО ТЕРТЯ ДЛЯ СЕЙСМІЧНОГО ЗАХИСТУ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ РОЮ ЧАСТИНОК

¹Данішевський В.В., д.т.н., професор,
vladyslav.danishevskyu@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3049-4721

¹Гайдар А.М., ст. викладач,
nastuel_gaidar@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458

¹Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, 49126, Україна

Анотація. У роботі досліджується задача оптимального розташування демпферів сухого тертя у багатопверхових будівлях для їх захисту від сейсмічних впливів. Розглянуто 2D модель десятиповерхового будинку із залізобетонним каркасом. У якості цільової функції прийнято амплітуду переміщень верхнього поясу каркасу у випадку резонансу, коли частота зовнішнього динамічного навантаження співпадає з частотою першої форми власних коливань конструкції. Нестационарні динамічні розрахунки виконано методом скінченних елементів у програмному комплексі «ЛІРА-САПР» за допомогою системи «Динаміка-плюс». Для знаходження мінімуму цільової функції застосовано один із методів штучного колективного інтелекту – метод рою частинок. Програмну реалізацію виконано у системі комп'ютерної алгебри з відкритим кодом «Maxima». Визначено оптимальне розташування демпферів, за якого переміщення вузлів каркасу виявляються найменшими. Розвинутий метод може бути застосований для розв'язання широкого класу задач оптимального проектування будівельних конструкцій, будівель та споруд.

Ключові слова: сейсмостійке будівництво, демпфери сухого тертя, оптимальне проектування, нелінійна оптимізація, колективний інтелект, метод рою частинок.

Вступ. Важливою проблемою будівництва є забезпечення сейсмостійкості будівель та споруд. Традиційно, втрати від землетрусів намагалися зменшити шляхом підвищення міцності будівель, що призводило до збільшення поперечних розмірів та маси конструктивних елементів (стін, колон, перекриттів). Сучасне будівництво ґрунтується на принципово інших підходах. Актуальною задачею є використання легковажких, гнучких та економічних конструкцій, стійкість яких до сейсмічних впливів забезпечується за допомогою спеціальних пристроїв гасіння коливань [1].

Один із поширених методів сейсмічного захисту полягає у встановленні демпферів різних типів [2]. Такі пристрої мають підвищені дисипативні властивості за рахунок роботи сил пластичного деформування, сухого або в'язкого тертя. Широке розповсюдження одержали демпфери сухого тертя, перевагами яких є простота конструкції, низька вартість, зручність експлуатації та обслуговування. У них можуть застосовуватись пари елементів тертя з різних матеріалів (метал, бетон, полімери тощо). Наприклад, канадська компанія QuakeTek виготовляє металеві демпфери із силою тертя від 2кН до 1500кН (рис. 1).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При проектуванні важливою задачею є визначення властивостей демпферів та місць їх розташування в будівлі. З математичної точки зору, це нелінійна задача оптимізації, для розв'язання якої можуть застосовуватись різні підходи [3, 4]. Останніми роками інтенсивно розвиваються методи штучного колективного інтелекту [5, 6], які мають ряд переваг у порівнянні з класичними підходами: не потребують обчислення градієнту цільової функції, дозволяють рівномірно дослідити весь заданий простір розв'язків, уникають зависання в локальних екстремумах. Одним із таких методів є метод рою частинок (МРЧ) [7, 8].

Рис. 1. Демпфери сухого тертя QuakeTek Inc (<https://www.quaketek.com>)

Мета і задачі. Метою даної роботи є розвиток МРЧ для визначення оптимального розташування демпферів сухого тертя у багатоповерховій каркасній будівлі. Коротко викладено основні положення МРЧ; програмну реалізацію методу виконано у системі комп'ютерної алгебри з відкритим кодом «Махіта». Моделювання конструкції виконувалось за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі «ЛІРА-САПР». Наведено результати модального аналізу та розрахунку на сейсмічні впливи. Розглянуто нестационарні коливання під дією зовнішнього динамічного навантаження та знайдено оптимальне розташування демпферів, за якого переміщення вузлів каркасу виявляються найменшими.

Матеріали та методика дослідження. МРЧ імітує поведінку біологічної системи, що складається з окремих осіб (частинок) та самоорганізується. Положення кожної частинки відповідає одному з можливих розв'язків задачі. Частинки переміщуються у просторі розв'язків, «пам'ятають» значення цільової функції у попередніх пройдених ними точках та обмінюються цією інформацією між собою. В результаті частинки поступово наближаються до найкращого положення, яке відповідає глобальному екстремуму цільової функції.

Початкові положення частинок $\mathbf{x}_n^{(0)}$ задаються випадковим чином, а на кожній ітерації їх нові координати визначаються за формулою:

$$\mathbf{x}_n^{(i+1)} = \mathbf{x}_n^{(i)} + \mathbf{v}_n^{(i)}, \quad (1)$$

де $\mathbf{x}_n^{(i)}$, $\mathbf{v}_n^{(i)}$ – вектори координат та зміщень (швидкостей) частинок; i – номер ітерації, $i = 0, 1, 2, \dots$; n – номер частинки, $n = 1, 2, 3, \dots, N$; N – кількість частинок. Компоненти вектору $\mathbf{x}_n^{(i)}$ – це параметри, від яких залежить цільова функція. Розмірність векторів $\mathbf{x}_n^{(i)}$, $\mathbf{v}_n^{(i)}$ однакова та дорівнює розмірності задачі D .

Швидкості частинок обчислюються так:

$$\mathbf{v}_n^{(i+1)} = c_0 \mathbf{v}_n^{(i)} + c_1 r_1 (\mathbf{p}_n^{(i)} - \mathbf{x}_n^{(i)}) + c_2 r_2 (\mathbf{g}^{(i)} - \mathbf{x}_n^{(i)}), \quad (2)$$

де $\mathbf{p}_n^{(i)}$ – координати найкращого положення, знайденого частинкою; $\mathbf{g}^{(i)}$ – координати найкращого положення всього рою; r_1 , r_2 – випадкові величини, $0 \leq r_1, r_2 \leq 1$; c_0 , c_1 , c_2 – вагові коефіцієнти. Рекомендовані значення $0.4 \leq c_0 \leq 0.9$, $0.5 \leq c_1, c_2 \leq 2$ [5].

Перший доданок у формулі (2) визначає продовження руху частинки «за інерцією» у попередньому напрямку. Другий доданок скеровує частинку у сторону її особистого найкращого положення, а третій – у сторону найкращого положення, яке знайдено роєм. При

правильно обраних значеннях вагових коефіцієнтів швидкість частинок поступово зменшується і частинки концентруються поблизу точки екстремуму. Пошук завершується, коли знайдене значення екстремуму не покращується протягом декількох останніх ітерацій.

Умови обмежень, що накладаються на аргументи цільової функції, визначають область пошуку:

$$x_d^{\min} \leq x_d \leq x_d^{\max}, \quad (3)$$

де $d = 1, 2, 3, \dots, D$. Якщо частинка потрапляє за межі області, заданої співвідношенням (3), її положення не враховується при оновленні значень $\mathbf{p}_n^{(i)}$ та $\mathbf{g}^{(i)}$. Тоді на наступних ітераціях частинка повертається до області пошуку. Такий алгоритм відповідає моделі «прозорої границі», яка забезпечує рівномірне дослідження усієї заданої області [9].

У даній роботі виконана програмна реалізація МРЧ у системі комп'ютерної алгебри з відкритим кодом «Maxima».

Розглянемо 2D модель десятиповерхового будинку із залізобетонним каркасом, який складається з колон перерізом 400×400 мм та ригелів перерізом 300×700 мм (рис. 2). Усі наступні розрахунки виконувались у програмному комплексі «ЛПРА-САПР».

Рис. 2. Модель десятиповерхового каркасного будинку

Результати дослідження. Вага будівлі становить 1328 кН. За допомогою модального аналізу визначено частоту першої форми власних коливань 1.75 Гц та її період $T = 0.571$ с. Виконано розрахунок на сейсмічне навантаження для наступних значень параметрів [10]: категорія ґрунту за сейсмічними властивостями II; розрахункова амплітуда прискорення основи $0.4g$ (відповідає району сейсмічності 9 балів); коефіцієнт непружної деформації $k_1 = 1$; коефіцієнт відповідальності споруди $k_2 = 1.4$; коефіцієнт поверховості $k_3 = 1.2$; коефіцієнт нелінійного деформування ґрунту $k_{zp} = 1$; напрямні косинуси сейсмічного впливу $C_x = 1$, $C_y = C_z = 0$ (розрахункові сейсмічні навантаження діють горизонтально). За результатами розрахунку максимальні горизонтальні переміщення верхнього поясу каркасу склали 176 мм.

Приймемо, що у центральному прольоті будинку може бути встановлено три демпфера у вигляді розкосів. Можливі місця розташування демпферів позначено на рис. 2 штриховими лініями. Зусилля кожного демпфера становить $F_d = 220$ кН, а сума їх зусиль дорівнює половині ваги конструкції, що відповідає рекомендаціям, наведеним у літературі [1, 11]. Необхідно визначити, на яких поверххах потрібно розташувати демпфери для максимального сейсмічного захисту.

Розглянемо динамічну реакцію будинку на дію періодичного навантаження з частотою першої форми власних коливань. У даному стані резонансу переміщення конструкції будуть найбільшими. Відзначимо, що заданий період навантаження $T = 0.571$ с належить до діапазону переважаючих періодів сейсмічних акселерограм $0.1 \dots 2$ с [10] і, таким чином, є типовим для землетрусу. Навантаження прикладене горизонтально до опорних вузлів каркасу у вигляді зосереджених сил з амплітудою 200 кН. При цьому за відсутності демпферів максимальні переміщення верхнього поясу складають 160 мм, що наближено відповідає результатам розрахунку на сейсмічний вплив, наведеним вище. Нестационарний динамічний розрахунок виконано за допомогою системи «Динаміка-плюс». На рис. 3 показано, як переміщення змінюються у часі. Зовнішнє навантаження діє впродовж десяти періодів (5.71 с), після чого відбуваються вільні коливання будівлі, амплітуда яких дуже повільно зменшується завдяки силам внутрішнього тертя конструкції.

Рис. 3. Горизонтальні переміщення верхнього поясу каркасу без демпфірування

Оптимальне розташування демпферів повинно забезпечити якнайшвидше згасання коливань будівлі. В якості цільової функції приймемо амплітуду переміщень верхнього поясу каркасу по закінченню десяти періодів вільних коливань та будемо відшукувати її мінімум. На сьогоднішній день програмний комплекс «ЛІРА-САПР» не має інструментів для безпосереднього моделювання демпферів сухого тертя. У даній статті робота демпферів описана за допомогою фізично-нелінійного скінченного елемента (СЕ) типу 255. Коли зусилля невелике, СЕ 255 веде себе як пружний зв'язок, а після досягнення граничного значення F_d подальші деформації відбуваються без зростання зусилля (рис. 4). Таким чином, СЕ 255 реалізує модель ідеально-пластичного тіла. Така модель використовується в літературі як наближена апроксимація демпфуючих елементів (дивись, наприклад, [12]).

Для розв'язання задачі оптимізації використано популяцію з восьми частинок. Роботу МРЧ ілюстровано на рис. 5, де у таблицях показані положення частинок на кожній ітерації. Кожен рядок відповідає окремій частинці. Варіанти розташування демпферів представлено послідовністю з десяти цифр 0, 1 або 2, які позначають кількість демпферів на відповідних

поверхах. Для знаходження оптимального розв'язку виконано 8 ітерацій. На останній ітерації всі частинки зайняли однакове положення, при якому цільова функція досягає мінімуму. Таким чином, визначено оптимальне розташування демпферів на 2, 5 і 6 поверхах. Переміщення верхнього поясу каркасу із встановленими демпферами наведено на рис. 6.

Висновки. У роботі розвинуто МРЧ для оптимального проектування багатоповерхових каркасних будівель із демпферами сухого тертя. Як приклад, розглянуто 2D модель десятиповерхового будинку із залізобетонним каркасом, в який можуть бути встановлені три демпфера. Розрахунки напружено-деформованого стану конструкції виконувались у програмному комплексі «ЛІРА-САПР». Робота демпферів сухого тертя моделювалась за допомогою нелінійного СЕ типу 255. Для чисельного інтегрування нестационарної динамічної задачі використовувалась підсистема «Динаміка плюс».

Рис. 4. Схематична діаграма деформування СЕ 255

$\begin{bmatrix} 0001100001 \\ 0001010010 \\ 0000120000 \\ 0110001000 \\ 0010010000 \\ 2000000100 \\ 1011000000 \\ 0100010010 \end{bmatrix}$ <p>$i = 1$</p>	$\begin{bmatrix} 1001010000 \\ 1001010000 \\ 1001010000 \\ 1001010000 \\ 0101010000 \\ 0011010000 \\ 1010010000 \\ 1001010000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 2$</p>	$\begin{bmatrix} 0002000000 \\ 1000001000 \\ 0010010000 \\ 0101010000 \\ 0010110000 \\ 0010200000 \\ 0000100100 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 3$</p>	$\begin{bmatrix} 0001100000 \\ 0100001000 \\ 0010010000 \\ 0101010000 \\ 0010110000 \\ 0010200000 \\ 1000101000 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 4$</p>
$\begin{bmatrix} 1001010000 \\ 1010001000 \\ 1001010000 \\ 0101010000 \\ 0010110000 \\ 0010200000 \\ 1001010000 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 5$</p>	$\begin{bmatrix} 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0101010000 \\ 0101010000 \\ 0101010000 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 6$</p>	$\begin{bmatrix} 0100110000 \\ 0010110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 1001010000 \\ 0101001000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 7$</p>	$\begin{bmatrix} 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \\ 0100110000 \end{bmatrix}$ <p>$i = 8$</p>

Рис. 5. Результати роботи МРЧ

Рис. 6. Горизонтальні переміщення верхнього поясу каркасу з демпферами

За допомогою модального аналізу визначено період першої форми власних коливань, який відповідає діапазону переважаючих періодів сейсмічних акселерограм [10]. Виконано розрахунок на сейсмічне навантаження для найнесприятливіших умов (район сейсмічності 9 балів) та знайдено максимальні горизонтальні переміщення верхнього поясу каркасу.

Для визначення місць оптимального розташування демпферів досліджувалась реакція будинку на дію періодичного навантаження з частотою першої форми власних коливань. Амплітуду навантаження підбрано таким чином, щоби при відсутності демпферів переміщення конструкції відповідали результатам, одержаним при розрахунку на сейсмічний вплив. Цільовою функцією прийнято переміщення верхнього поясу каркасу. Програмну реалізацію МРЧ виконано у системі комп'ютерної алгебри з відкритим кодом «Mathia». Для знаходження мінімуму цільової функції використано популяцію з восьми частинок. Після виконання 8 ітерацій МРЧ всі частинки зайняли однакове положення у просторі розв'язків, за якого переміщення каркасу виявляються найменшими. Визначено оптимальне розташування демпферів на 2, 5 і 6 поверхах будинку.

МРЧ має ряд переваг у порівнянні з класичними методами оптимізації: не потрібно обчислювати градієнт цільової функції, можливо рівномірно дослідити весь заданий простір розв'язків, процес пошуку не залежить у локальних екстремумах. Розвинутий метод може бути застосований для розв'язання широкого класу задач оптимального проектування будівельних конструкцій, будівель та споруд.

Література

1. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989. 320 с.
2. Soong T.T., Dargush G.F. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering. Chichester, New York: Wiley, 1997. 368 pp.
3. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978. 352 с.
4. Чичинадзе В.К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации. М.: Наука, 1983. 256 с.
5. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2017. 446 с.

6. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. М.: ДМК-Пресс, 2020. 940 с.
7. Eberhart R., Shi Yu., Kennedy J. *Swarm Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001. 512 p.
8. Данішевський В.В., Гайдар А.М. Метод рою частинок для розв'язання задач нелінійної оптимізації. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. №6. С. 18–25. doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261119.18.583.
9. Xu S., Rahmat-Samii Y. Boundary conditions in particle swarm optimization revisited. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2007. V.55. P. 760–765. doi.org/10.1109/TAP.2007.891562.
10. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво у сейсмічних районах України. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. 110 с.
11. Ontiveros-Pérez S.P., Miguel Leticia F.F., Miguel Leandro F.F. A new assessment in the simultaneous optimization of friction dampers in plane and spatial civil structures. *Mathematical Problems in Engineering*. 2017. Article ID 6040986. 18 p. doi.org/10.1155/2017/6040986.
12. Румянцев Е.В., Белугина Е.А. Моделирование конструкций железнодорожного терминала станции Адлер с учетом системы сейсмоизоляции. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.1. P.22–30. doi.org/10.5862/MCE.27.3.

References

- [1] V.S. Polyakov, *Sovremennye metody sejsmozashity zdaniy*. Moscow: Strojizdat, 1989.
- [2] T.T. Soong, G.F Dargush, *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. Chichester, New York: Wiley, 1997.
- [3] N.N. Moiseev, Yu.P. Ivanilov, E.M. Stolyarova, *Metody optimizacii*. Moscow: Nauka, 1978.
- [4] V.K. Chichinadze, *Reshenie nevypuklykh nelinejnyh zadach optimizacii*. Moscow: Nauka, 1983.
- [5] A.P. Karpenk, *Sovremennye algoritmy poiskovoj optimizacii. Algoritmy, vdohnovlennye prirodoj*. Moscow: Izdatelstvo MGTU im. Baumana, 2017.
- [6] D. Sajmon, *Algoritmy evolyucionnoj optimizacii*. Moscow: DMK-Press, 2020.
- [7] R. Eberhart, Yu. Shi, J. Kennedy, *Swarm Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [8] V.V. Danishevskij, A.M. Gajdar, “Metod royu chastinok dlya rozv'yazannya zadach nelinejnoj optimizacii”, *Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnictva ta arhitekturi*, no. 6, pp.18–25, 2019. doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261119.18.583.
- [9] S. Xu, Y. Rahmat-Samii, “Boundary conditions in particle swarm optimization revisited”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, no. 55, pp. 760–765, 2007. doi.org/10.1109/TAP.2007.891562.
- [10] DBN V.1.1-12-2014. Budivnictvo u sejsmichnih rajonah Ukrayini. K.: Minrehionbud Ukrayini, 2014.
- [11] S.P. Ontiveros-Perez, F.F. Miguel Leticia, F.F. Miguel Leandro, “A new assessment in the simultaneous optimization of friction dampers in plane and spatial civil structures”, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 6040986, 2017. doi.org/10.1155/2017/6040986
- [12] E.V. Rumyancev, E.A. Belugina, “Modelirovanie konstrukcij zheleznodorozhnogo terminala stancii Adler s uchetom sistemy sejsmoizolyacii”, *Magazine of Civil Engineering*, no. 1, pp. 22–30, 2012. doi.org/10.5862/MCE.27.3.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕМПФЕРОВ СУХОГО ТРЕНИЯ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ

¹Данишевский В.В., д.т.н., профессор,
vladyslav.danishkevsky@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3049-4721

¹Гайдар А.М., ст. преподаватель,
nastuel_gaidar@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458

¹Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры
ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, 49126, Украина

Аннотация. Важной проблемой строительства является защита зданий от динамических нагрузок и сейсмических воздействий. Современные решения основываются на использовании легковесных конструкций, оборудованных специальными устройствами гашения колебаний. Эти устройства могут быть активными или пассивными и их использование определяется объемом капитальных затрат. Активные устройства изменяют свои характеристики в зависимости от динамического поведения конструкции и являются наиболее дорогостоящими. С другой стороны, пассивные устройства гораздо дешевле и, во многих случаях, требуют минимальных расходов на эксплуатацию и обслуживание.

В последние десятилетия широкое распространение получили пассивные демпферы сухого трения. В этих устройствах используется эффект трения для диссипации механической энергии и снижения амплитуды колебаний конструкции. Трение реализуется между двумя твердыми компонентами, скользящими друг относительно друга. Как правило, могут использоваться компоненты из металла, полимеров или бетона.

При проектировании, сложной задачей является определение оптимального расположения демпферов сухого трения внутри здания. В данной работе предложен новый подход, основанный на применении метода роя частиц (МРЧ). МРЧ представляет собой искусственную симуляцию явления коллективного интеллекта, который возникает во многих децентрализованных биологических системах, таких как колонии муравьев, пчелиные рои, стаи птиц и даже социальные группы людей.

Рассмотрена 2D модель десятиэтажного дома с железобетонным каркасом. В качестве целевой функции принята амплитуда перемещений верхнего пояса каркаса в случае резонанса, когда частота внешней динамической нагрузки совпадает с частотой первой формы собственных колебаний конструкции. Нестационарные динамические расчеты выполнены методом конечных элементов в программном комплексе «Лира-САПР». Программная реализация МРЧ выполнена в системе компьютерной алгебры «Mathima». Определено оптимальное расположение демпферов, при котором перемещения узлов каркаса оказываются наименьшими. Разработанный метод может быть применен для решения широкого круга задач оптимального проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство, демпферы сухого трения, оптимальное проектирование, нелинейная оптимизация, коллективный интеллект, метод роя частиц.

OPTIMAL PLACEMENT OF FRICTION DAMPERS FOR THE SEISMIC PROTECTION OF FRAME BUILDINGS USING THE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

¹**Danishevskyy V.V.**, Dr. Sc., Professor,
vladyslav.danishevskyy@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3049-4721

¹**Gaidar A.M.**, Senior Lecturer,
nastuel_gaidar@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458
¹*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*
24a, Chernyshevskogo st., Dnipro, 49126, Ukraine

Abstract. A challenging problem of Civil Engineering is the protection of buildings against dynamic loads and earthquake impacts. The advanced solutions employ lightweight structures equipped with special damping devices. These devices can be active or passive and their application depends on the investments for the project. The active devices change their properties depending on the structural response and they are the most expensive ones. On the other hand, passive devices are essentially cheaper and, in many cases, require minimal costs of installation and maintenance.

Last decades, passive friction dampers are widely used for the earthquake protection of multi-storey buildings. The friction dampers make use of the effect of solid friction to dissipate the mechanical energy and to reduce the amplitude of the vibration of the structure. The friction is developed between two solid bodies sliding in relation to one another. As usual, pairs of metal, polymer or concrete components can be utilized.

Determination of the optimal location of the friction dampers inside the building presents a complicated task for the practical design. In this paper, a new approach is developed basing on the method of particle swarm optimization (PSO). The PSO method presents an artificial simulation of the phenomenon of collective intelligence, which is observed in many decentralized biological systems like ant colonies, bee swarms, flocks of birds and even social groups of human individuals.

As an illustrative example, the 2D model of a ten-storey concrete frame building is considered. The purpose of the analysis is to minimize the objective function, which is the amplitude of the displacements of the top of the structure in a case of the resonance dynamic load with a frequency of the first normal mode. Non-stationary dynamic analysis is performed by the finite elements method using the program package «LIRA-SAPR» and its module «Dynamic-plus». The software implementation of the PSO procedure is developed using the open-source computer algebra system «Maxima». The optimal placement of friction dampers is determined providing the minimal displacements of the frame. The developed approach can be further extended to various problems of the optimal design of buildings and structures.

Keywords: seismic protection, friction dampers, optimal design, nonlinear optimization, collective intelligence, particle swarm optimization.

Стаття надійшла до редакції 13.07.2020