

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф, В.Л. ОХРИМЧУК, аспірант,  
М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц, Криворізький національний університет

## СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ПРОТЯЖНОЇ КАМ'ЯНОЇ БУДІВЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

**Мета.** Дослідження питання сейсмостійкості існуючих споруд. Будівель великої протяжності в плані зі стінами з кам'яної кладки. Їх архітектурно-конструктивні й експлуатаційні особливості передбачають високий ризик значних пошкоджень при виникненні сейсмічного впливу. Недостатність знань про поведінку протяжних кам'яних будівель під дією сейсмічного навантаження та відсутність чіткого алгоритму їх розрахунку на сейсмостійкість зумовили необхідність проведення досліджень уякі цьому напрямку.

**Методи досліджень.** Створення універсальної моделі характерної протяжної кам'яної будівлі для подальших розрахункових досліджень на сейсмічні впливи і встановлення закономірностей напружено-деформованого стану.

**Наукова новизна** полягає в отриманні коректної моделі визначеного виду споруд із урахуванням особливостей, які мають велике значення для відтворення картини сейсмічного впливу.

**Практична значимість.** Для досягнення поставленої мети було використано дані натурних обстежень, виконали автори в ході дослідження проблеми. Шляхом аналізу й систематизації архітектурно-конструктивних рішень групи обстежених споруд було виділено спільні характеристики, властиві для таких будівель, які склали основу для створення розрахункової моделі. Моделювання виконано у програмних комплексах «МОНОМАХ-САПР» та «ПІРА-САПР», що дозволяє одержати результати високої точності.

**Результати.** Створена основа для подальших розрахункових досліджень, що дають можливість виконати розрахунок на дію сейсмічного навантаження та оцінити дійсну роботу конструкцій протяжних кам'яних будівель. Наступним завданням у даному напрямку є встановлення закономірностей напружено-деформованого стану споруд. Це дозволить створити єдину методику розрахунку протяжних кам'яних будівель на сейсмостійкість і застосовувати одержані результати для розв'язання практичних задач. Перш за все тих, які спрямовані на розроблення комплексу ефективних організаційно-будівельних заходів із підготовки будівель до сприйняття сейсмічного навантаження та приведення відповідно до чинних будівельних норм.

**Ключові слова:** сейсмостійкість, навантаження, розрахункова модель, кам'яна кладка, протяжність, підсилення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-55-59

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Протягом десятиліть світові та вітчизняні вчені працюють над питанням забезпечення сейсмостійкості будівель. Воно набуває все більшого значення у світлі потужних і руйнівних землетрусів, хвиля яких щороку прокочується різними кутками планети. Оскільки це явище досі залишається абсолютно не передбачуваним, єдиним ефективним заходом з захисту населення є забезпечення здатності будівель витримувати дію значних сейсмічних навантажень без руйнувань. Завданням будівельної галузі в Україні на сьогодні є не лише зведення сучасних об'єктів, які відповідають чинним вимогам до безпеки і надійності, а й проведення модернізації вже існуючих споруд. Особливо проблемною є наявність великого обсягу застарілого фонду нерухомості, який поєднує фізичну зношеність, незадовільний технічний стан і недостатню пристосованість до сприйняття дії можливих складних впливів [1].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Великий внесок у розв'язання проблем сейсмостійкого будівництва зробили В.К. Єгупов, К.В. Єгупов, Ю.І. Немчинов, І.Л. Корчинський, А. Я. Барашиков та ін. У їх працях зазначався негативний вплив на загальну сейсмостійкість будівель великої протяжності в плані та наявність конструкцій із кам'яної кладки [2-4], але сумісна дія цих факторів не розглядалася. Автори даної статті виявили, що споруди, які суміщають такі характеристики, у значній кількості експлуатуються в умовах сейсмонебезпечних територій України. Тому ведемо роботу над питанням сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель.

**Постановка завдання.** На даний момент за допомогою програмних комплексів можна провести розрахунки будівель із мінімальними спрощеннями й ідеалізацією та з високою точністю отримуваних результатів, що дозволяє визначити реальну роботу конструкцій. У ході роботи над виділеним питанням було виконано моделювання протяжної кам'яної будівлі для розрахункових досліджень на сейсмостійкість. Завданням даної статті є викладення основних отриманих результатів і шляхів їх одержання, а також окреслення подальших цілей і завдань.

**Викладення матеріалу та результати.** Автори провели дослідження стану існуючих про-

тяжких кам'яних будівель. Загалом було обстежено понад 30 споруд [5]. Із загальної кількості можна виділити групу, яку складають житлові п'ятиповерхові будинки. Вони розповсюджені на всій території України, у тому числі, у значній мірі, у сейсмонебезпечних регіонах. Найбільш загальні та притаманні розглядуваному класу будівель характеристики й покладено в основу створення розрахункової моделі.

Для подальшого дослідження обрано п'ятиповерховий житловий будинок на чотири під'їзди з підвалом і суміщеним перекриттям. Будівля прямокутна в плані, 12,2×68 м. Конструктивна схема – безкаркасна з трьома поздовжніми несучими стінами.

Стіни виконані з рядової одинарної цегли (цегляна кладка II категорії за сейсмостійкістю; нормальне зчеплення цегли з розчином  $R_p \geq 1,2 \cdot 10^5$  МПа). Цегла добре обпалена, пластичного пресування М-100. Розчин – на цементному в'язучому М-50. Зовнішні стіни завтовшки 510 мм із віконними та балконними прорізами, внутрішні – 380 мм, перегородки – 120 мм.

Перекриття залізобетонні завтовшки 200 мм.

Стіни підвалу зі збірних залізобетонних блоків завтовшки 500 мм під зовнішні та 400 мм під внутрішні стіни. Фундаменти стрічкові з монолітного залізобетону класу В15.

Побудову розрахункової моделі виконано в ПК «Мономах-САПР 2013».

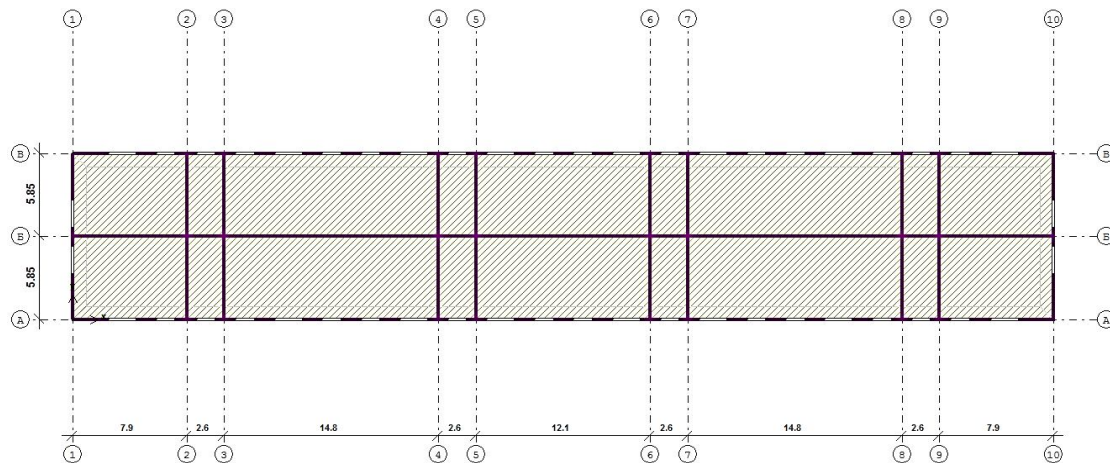


Рис. 1. План типового поверху розрахункової моделі характерної протяжної кам'яної будівлі у ПК «МОНОМАХ-САПР»

Будівля симетрична відносно поздовжньої та поперечної осей, без виступаючих частин.

Загальні характеристики будівлі висота типового поверху – 3 м, висота підвалу – 2,6 м.

У праці не ставилася мета дослідити вплив ґрунтових умов на сейсмостійкість протяжних кам'яних будівель, тому показники прийнято усереднено, як найбільш характерні для місцевостей, де даний клас споруд є найпоширенішим. Тому для моделювання за основний тип ґрунту прийнято супісок: модуль деформації ґрунту  $E=2000$  тс/м<sup>2</sup>, щільність ґрунту – 1,8 т/м<sup>3</sup>, кут внутрішнього тертя – 22°, коефіцієнт Пуассона – 0,3.

Параметри матеріалів:

стіни: найменування матеріалу – кладка (цегла М100, розчин М50), модуль пружності – 240000 тс/м<sup>2</sup>, коефіцієнт Пуассона – 0,25; об'ємна вага – 2 т/м<sup>3</sup> (прийнято з урахуванням оздоблення);

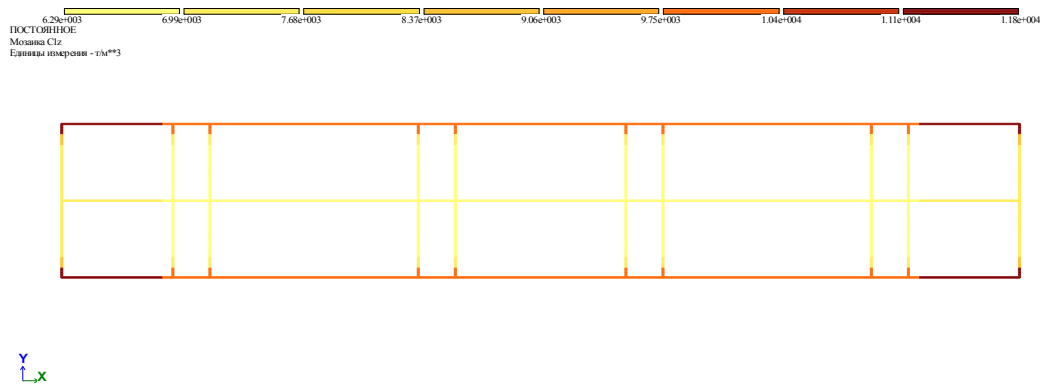
плити перекриття, покриття: найменування матеріалу – залізобетон, модуль пружності –  $3 \times 10^6$  тс/м<sup>2</sup>, коефіцієнт Пуассона – 0,2; об'ємна вага – 2,5 т/м<sup>3</sup>;

стіни підвалу: найменування матеріалу – ФБС, модуль пружності – 660766 тс/м<sup>2</sup>, коефіцієнт Пуассона – 0,25; об'ємна вага – 2,4 т/м<sup>3</sup>.

Постійним навантаженням на плити перекриття змодельовано перегородки та враховано наявність їх оздоблення, для покриття – конструкція покрівлі. Задані змінні короточасні, рівномірно розподілені навантаження на плити перекриття та покриття, снігові навантаження відповідно до ДБН «Навантаження та впливи» [6]. Вітрові навантаження в розрахунок не бралися.

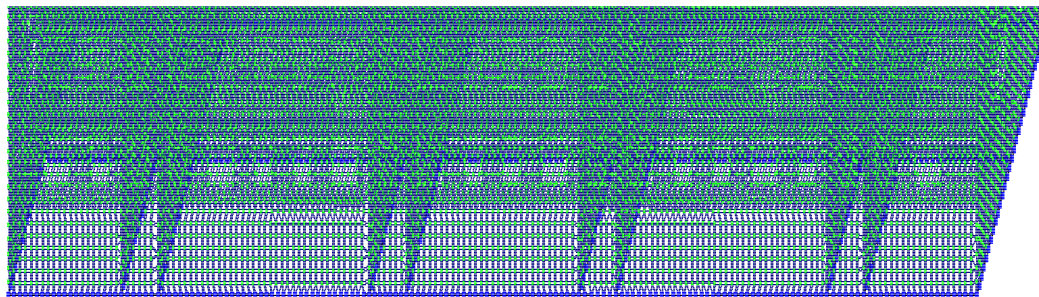
Для подальшого доопрацювання модель експортовано в ПК «ЛИРА-САПР». Параметри експорту: 4 вузлові скінченні елементи з кроком триангуляції 0,4 м для стін і плит. Моделювання

монолітних стрічкових фундаментів виконано введенням стержневих скінчених елементів в опорній частині моделі, для яких призначено коефіцієнти жорсткості основи. З метою врахування нерівномірності розподілу коефіцієнта в плані будівлі, його значення прийнято залежно від віддаленості від центра в межах  $C=6300 \text{ т/м}^3$  (для центральної ділянки) до  $C=11800 \text{ т/м}^3$  (для кутових ділянок).



**Рис.2.** Мозаїка параметрів ґрунту (коефіцієнт жорсткості основи) розрахункової моделі у ПК «ЛІРА-САПР»

Остаточна розрахункова модель складається з 68026 елементів та 62853 вузлів. До заданих попередньо завантажень №№1,2 задано ще 3 сейсмічних – по осі X, Y, Z. Для реалізації поставленого завдання з визначення дійсного впливу протяжності на кам'яну будівлю створено три варіанти скінченно-елементної моделі, які відрізнялися способом задання сейсмічного навантаження.



**Рис. 3.** Скінченно елементна розрахункова модель протяжної кам'яної будівлі у ПК «ЛІРА-САПР»: просторова модель зі скінченими елементами та перерізами конструкцій

Для створення першого варіанта моделі використано розрахунковий модуль 36 – сейсмічний вплив згідно з ДБН В.1.1–12:2014. Другого варіанту – модуль 37 – сейсмічний вплив за моделлю В.К. Єгупова та К.В. Єгупова [7] для ДБН В.1.1–12:2014. В основу методики розрахунку на дію сейсмічних впливів покладено припущення, що споруда коливається як система, у котрій на одному й тому ж рівні в будь-який момент часу всі точки плану знаходяться в однаковій фазі за переміщенням, швидкістю та прискоренням при їх однаковій амплітуді. У дійсності, у зв'язку з тим, що проходження сейсмічних хвиль не миттєве, а відбувається з деякою кінцевою швидкістю, яка залежить від густини ґрунту і характеристик конструкцій, різні ділянки основи за довжиною будівлі коливаються асинхронно з різними величинами прискорень, що викликає в споруді додаткові поздовжні зусилля стиску-розтягу й горизонтального зсуву [3]. Цю нерівномірність поля прискорень і враховує використаний розрахунковий модуль. Відомо, що при сейсмічних впливах виникають не лише поступальні, але й обертальні (крутильні) коливання. Спостереження за руйнуваннями, викликаними землетрусами, мають впевнені приклади структурних руйнувань, викликаних цими рухами. Наслідком цього виду коливань є пошкодження і руйнування інженерних споруд, здебільшого протяжних та висотних [4]. Третій варіант створено на основі другої моделі з урахуванням в окремому навантаженні сил кручення. Останнє реалізовано шляхом визначення інерційних сил від поступального руху, викликаного дією сейсмічних хвиль, знаходження додаткових інерційних сил від кручення будівлі з подальшим їх розподіленням по вузлах горизонтальних дисків перекриття.

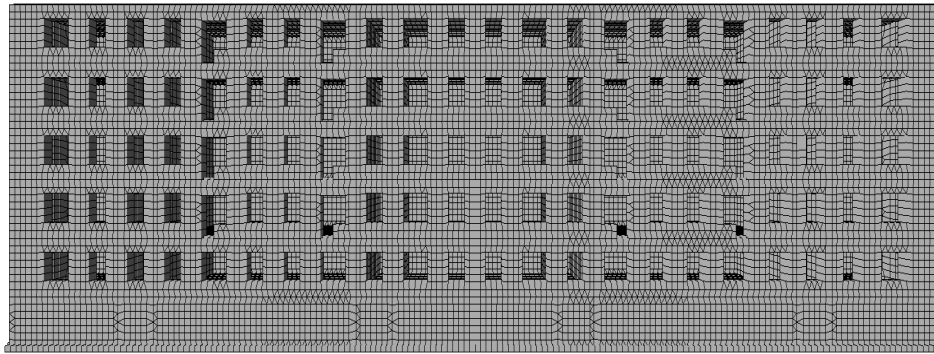


Рис.4. Просторова модель зі скінченими елементами та перерізами конструкцій

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Виконана робота становить основу для подальшого розрахунку протяжних кам'яних будівель на дію сейсмічного навантаження. Завдання подальших досліджень є визначення зусиль, що виникають у конструкціях, аналіз напружено-деформованого стану й пошук ефективних рішень підвищення сейсмостійкості, якщо результатами буде підтверджено таку необхідність.

Питання пошуку конструктивних і організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель з часом не лише не втрачає, а й набуває все більшої актуальності. З безлічі існуючих на сьогодні способів підсилення конструкцій, важливо вибрати оптимальний з погляду конструктивної й економічної доцільності. А це неможливо без визначення початкових параметрів конкретного об'єкта. Завданням авторів даного дослідження є створення загальної методики з визначення сейсмостійкості існуючих протяжних кам'яних будівель та розроблення типового алгоритму підсилення, що дозволить розв'язування практичні завдання, які виникають у ході їх експлуатації.

#### Список літератури

1. Хохлін Д.О. Реконструкція кам'яних будівель в умовах сейсмонезбезпеки з використанням прибудови та вбудови залізобетонного каркасу / Д.О. Хохлін // Комунальне господарство міст. 2013. – Науково-технічний збірник №110. – С.17-22.
2. Немчинов Ю.И. Проблемы проектирования и строительства в сейсмоопасных районах Украины и основные направления развития норм по сейсмостойкому строительству. – К: НИИСК. – Режим доступа: [http://www.seism.org.ua/seism06-02\\_r.html](http://www.seism.org.ua/seism06-02_r.html).
3. Сейсмостойкое строительство зданий: учеб. Пособие для ВУЗов / И.Л. Корчинский [и др.]; под. ред. И.Л. Корчинского. – М.: Высшая школа, 1971. – 317 с.
4. Егупов К.В. Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений / К.В. Егупов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 1. – С.23-30.
5. Валоной О.І. Оцінка технічного стану протяжних кам'яних будівель в умовах сейсмонезпечних територій / О.І. Валоной, В.Л. Охрімчук // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 100. – С. 150-153.
6. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП 2.01.07-85\*; Чинні від 2007-01-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
7. Егупов В.К. Расчет зданий на сейсмические воздействия / В.К. Егупов, Т.А. Командрина. – К.: Будивельник, 1969. – 208 с.
8. МОНОМАХ-САПР 2013. Учебное пособие: Примеры расчета и проектирования / [Д.А. Городецкий, С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак, А.А. Лазарев и др.] – К.: Электронное издание, 2013. – 368 с.
9. ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие проектирования / [Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок и др.] – М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.
10. Amiya K. Samanta. On utilization of seismic resistance of masonry infills in design of low-rise mixed R.C. buildings – a case study / Amiya K. Samanta // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – Vol. 4, no. 4. – p. 18-25.
11. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації: ДБН В.1.2-9-2008. – Офіц. Вид. – К.: Укрархбудінформ, 2008. – 21 с.
12. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. Вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 16.05.2014]. – К.: Укрархбудінформ, 2014. – 119 с.
13. Donald Anderson. Seismic design guide for masonry buildings / Donald Anderson, Svetlana Brzev. – Toronto: Canadian Concrete Masonry Producers Association, 2009. – 317 p.
14. Gregory A. J. Szakats. Improving Earthquake Resistance of Small Houses and Community Infrastructure / Gregory A. J. Szakats. – Wellington: NZAID, 2006. – 30 p.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018