

М. О. Березань, к. т. н.; Ю. С. Бабак

ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ НЕСНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПРОТИКАРСТОВОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО БАЛОЧНОГО ФУНДАМЕНТУ

У статті проілюстровано результати інженерних розрахунків та чисельного імітаційного моделювання роботи системи «основа – фундамент – будівля» для дослідження ефективності використання фундаментної балки в якості конструктивних заходів проти карстового захисту.

Ключові слова: протикарстовий фундамент, математичне моделювання, пружно-пластичний аналіз.

Вступ

Тенденція до збільшення обсягів сучасного будівництва висунула перед проєктувальниками низку вимог щодо раціонального використання територій, зокрема використання карстових ґрунтів для зведення будівель. Адже традиційні інженерні протикарстові конструкції не дозволяють урахувати всі особливості геологічних умов, що виникають під час утворення провалу. Основним призначенням нового конструктивного протикарстового захисту каркасної промислової будівлі є забезпечення її нормальної експлуатації під час ураження основи карстовим провалом [2].

Карстові процеси істотно ускладнюють будівництво та експлуатацію будівель і споруд. Українська та зарубіжна практика інженерно-будівельного освоєння закарстованих територій показує, що безпека і економічність інженерних розв'язків залежать, насамперед, від адекватного врахування особливостей інженерно-геологічних (серед них і техногенні) умов розвитку карстового процесу та його проявів в основі споруд.

Математичне моделювання роботи фундаментної конструкції

Під час розробки фундаментів споруди постає необхідність експериментального обґрунтування проєктного варіанта фундаменту, що значно збільшує його вартість. Саме за таких умов раціонально використовувати математичне моделювання процесу роботи фундаментної конструкції під навантаженням. У роботі проведено моделювання процесу осідання фундаментної балки одноповерхової каркасної споруди під дією карсту.

У ході розрахунків з імітаційного моделювання процесу функціонування системи «основа – фундамент – будівля» враховано напружено-деформований стан ґрунтів у їх природному стані (без прояву карстових процесів) і виконано розрахунки з імітаційного моделювання появи карстово-суфозійних процесів в основі будівлі. Для цього змодельовано появу провалів діаметром 9 м під центральною колоною другого ряду каркасу.

Найпростішими методами моделювання карстового провалу під підшвою фундаменту є використання пружно-пластичної моделі чи моделі змінного коефіцієнта постелі, що дозволяє врахувати неоднорідність основи і його реальну розподільчу здатність. У роботі використано науково-методичний аналіз методу моделювання ґрунтових масивів за допомогою пружно-пластичної моделі, який застосовують під час проведення досліджень напружено-деформованого стану неоднорідних та анізотропних матеріальних середовищ для забезпечення їхньої міцності та стійкості. Для визначення НДС елементів системи «основа – фундамент – будівля» виконано розрахунки з використанням ПК «ЛІРА», що реалізує метод скінченних елементів (СЕ). Загальний вигляд комп'ютерної моделі каркасу приведено на рис. 1, 2.

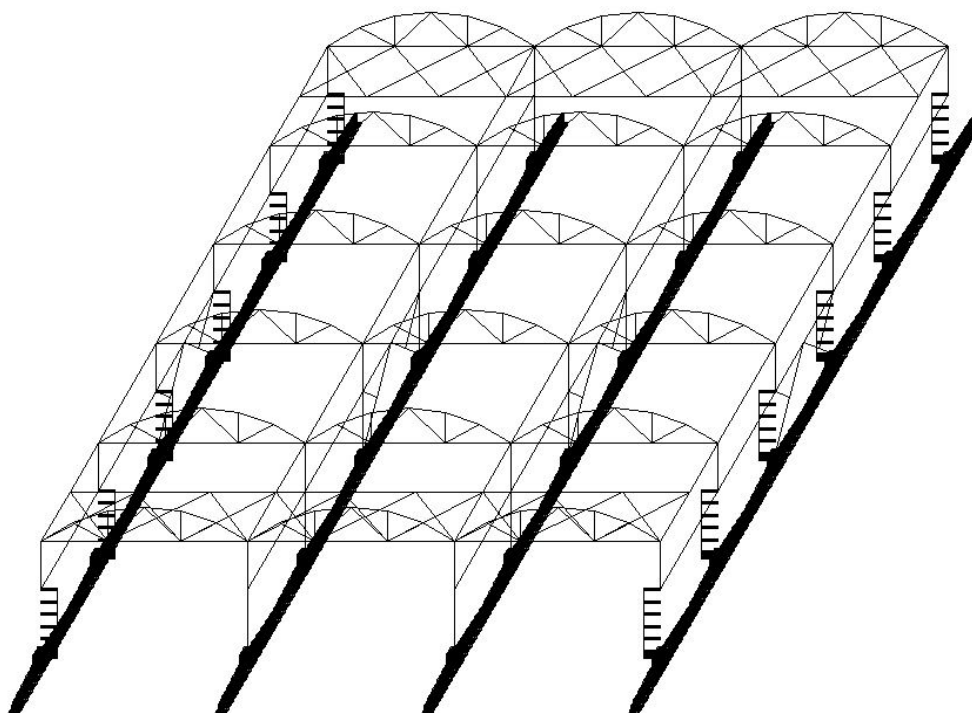


Рис. 1. Загальний вигляд комп'ютерної моделі каркасу будівлі

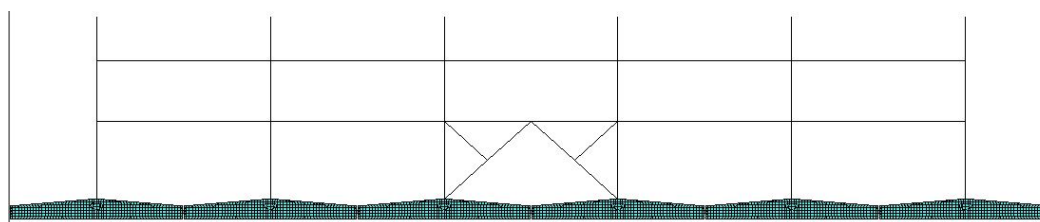


Рис. 2. Загальний вигляд комп'ютерної моделі каркасу будівлі в розрізі вздовж цифрових осей

Під час формування розрахункової схеми використовували такі СЕ:

- плоскі (оболонка з 6 ступенями свободи у вузлі) з коефіцієнтами жорсткості у вертикальному напрямку – для моделювання фундаментних подушок та основи;
- стрижневі (стрижень із 6 ступенями свободи у вузлі) – для моделювання конструктивних елементів каркасу;
- об'ємні СЕ для моделювання фундаментних балок;

Тривимірна комп'ютерна модель відображає конструктивне рішення об'єкта та містить плоскі, стрижневі та об'ємні елементи, основні геометричні та фізико-механічні характеристики яких приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Жорсткості елементів у розрахунковій схемі

№ п.п.	Назва елемента	Фізико-механічні та геометричні параметри*	Положення (призначення) в конструктивній схемі
1	Пластина	$E=2.3e+006$, $V=0.2$, $H=20$, $Ro=2.4$	Фундаментні подушки
2	Пластина	$E=2.0 e+007$, $V=0.35$, $H=10$, $Ro=7.8$	Пластини з'єднання балок
3	Труба-квадрат	Профіль «Молодечно» 80×80×3	Горизонтальні та вертикальні в'язі
4	Брус	$E=2.3e+006$, $Ro=2.5$, $B=50$, $H=80$	Колони

5	Брус	$E=2.3e+006, Ro=2.5, B=15, H=15$	Розкоси ферм
6	Брус	$E=2.3e+006, Ro=2.5, B=25, H=30$	Пояси ферм
7	Двугавр	$E=2.3e+006, Ro=2.5, H=140$	Підкранова балка
8	Об'ємні СЕ	$E=2.3e+006, V=0.2, Ro=2.5$	Фундаментна балка

Розрахункова модель основи – лінійно-деформований напівпростір. У ПК «ЛІРА» розрахункова модель основи представлено коефіцієнтами жорсткості основи по пласким КЕ (конструктивним елементам), розміщеним у площині ХОУ, якими змодельовано фундаментні подушки.

Розрахункові параметри ґрунтів основи фундаментів прийнято відповідно до інженерно-геологічних умов реальної ділянки будівництва, розташованої в м. Кузнецовську Рівненської області.

Розрахункова схема основи представлена системою взаємовпливаючих розрахункових ділянок фундаментів, що дозволяє виконати розрахунки основи за двома групами граничних станів. Коефіцієнти жорсткості основи в розрахункових схемах визначено з розв'язку контактної задачі. Розрахунок виконано ітераційним способом. У нульовій ітерації визначали напружено-деформований стан споруди на однакових коефіцієнтах жорсткості основ для всіх розрахункових ділянок фундаментів. Далі виконували розрахунок осідань і коефіцієнтів жорсткості основи. У першій і подальших ітераціях послідовно виконували розрахунки споруди з урахуванням згаданих коефіцієнтів жорсткості основ і визначення коефіцієнтів для наступної ітерації.

Отриману в результаті розв'язання контактної задачі розрахункову схему використано для моделювання появи карстових провалів. Відмову основи в області воронки змодельовано шляхом виключення з розрахункової моделі елементів фундаментних подушок, які потрапляють у межі воронки розрахункового діаметра.

Розрахунки з визначення коефіцієнтів жорсткості основи виконано для основного сполучення та сполучення навантажень під час утворення карстового провалу. Під час моделювання карстового провалу під колоною виконували додаткові ітерації до досягнення врівноваженого стану системи «основа-фундамент» на ділянках фундаментів поблизу провалу. Розрахункові значення коефіцієнтів жорсткості основи фундаментів в межах: від 2450 до 4400 т/м³ за умови відсутності провалів (рис. 3); від 2300 до 4400 т/м³ за умови моделювання провалу діаметром 9 м (рис. 4).

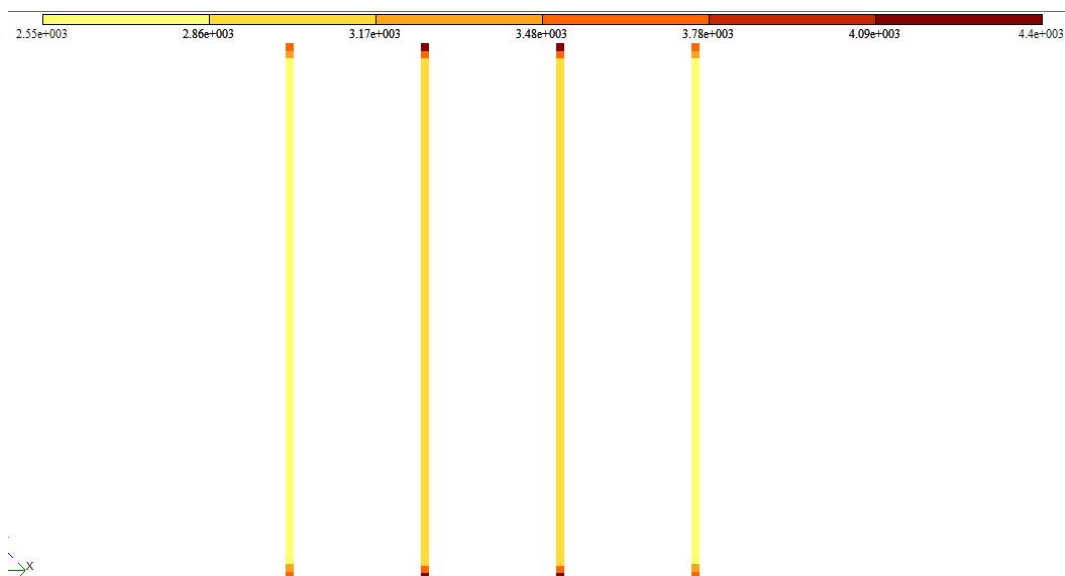


Рис. 3. Мозаїка розподілу розрахункових значень коефіцієнтів жорсткості основи за нормальних умов її експлуатації, т/м³

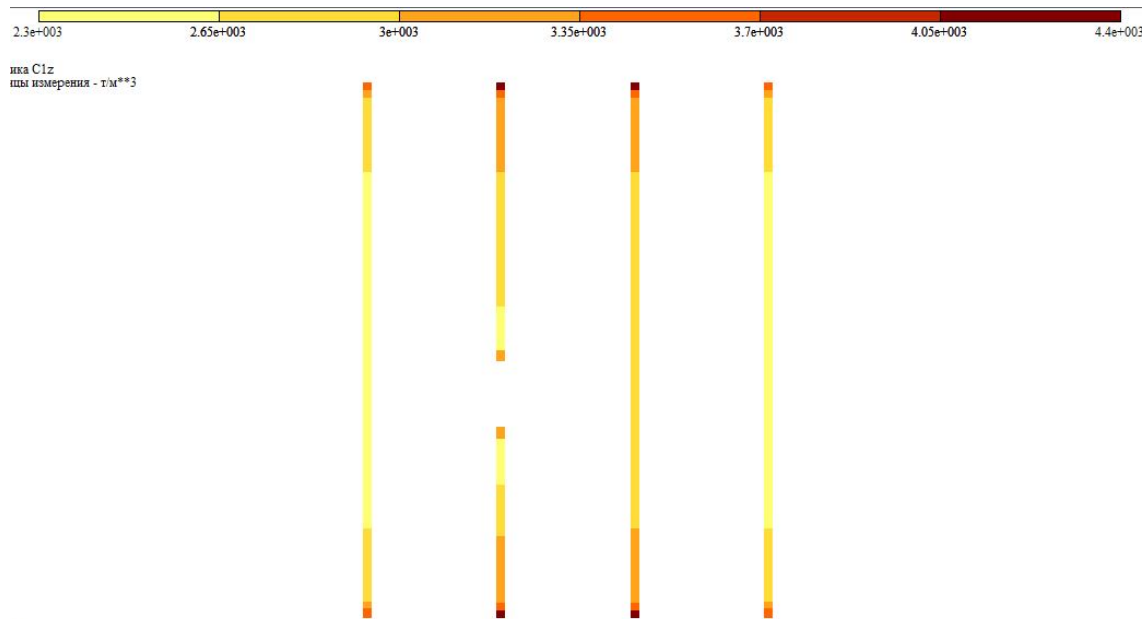


Рис. 4. Мозаїка розподілу розрахункових значень коефіцієнтів жорсткості основи під час моделювання провалу діаметром 9 м, т/м³

Розрахунковий опір ґрунту основи в природному стані становить 24,5 т/м². Максимальне значення тиску по підшві фундаментів за нормальних умов експлуатації основи досягає 18,3 т/м², що не перевищує розрахункового опору ґрунту основи. Згідно з проведеними розрахунками максимальні значення осідань досягають 6,4 мм. Максимальна відносна різниця осідань фундаментів становить 0,0003, що не перевищує $(\Delta s / L)u = 0.002$.

Під час моделювання карстового провалу під колоною змінюється розподіл тисків по підшві фундаментних подушок на відстані близько 12 – 13 м від краю провалу. Тиск по підшві крайніх подушок фундаментної балки, під якою змодельовано провал, збільшується на 80% і складає в середньому 25 т/м², що перевищує розрахунковий опір основи. Схему розподілу значень тисків по фундаментним подушкам до та після прояву карстового провалу зображено на рис. 5.

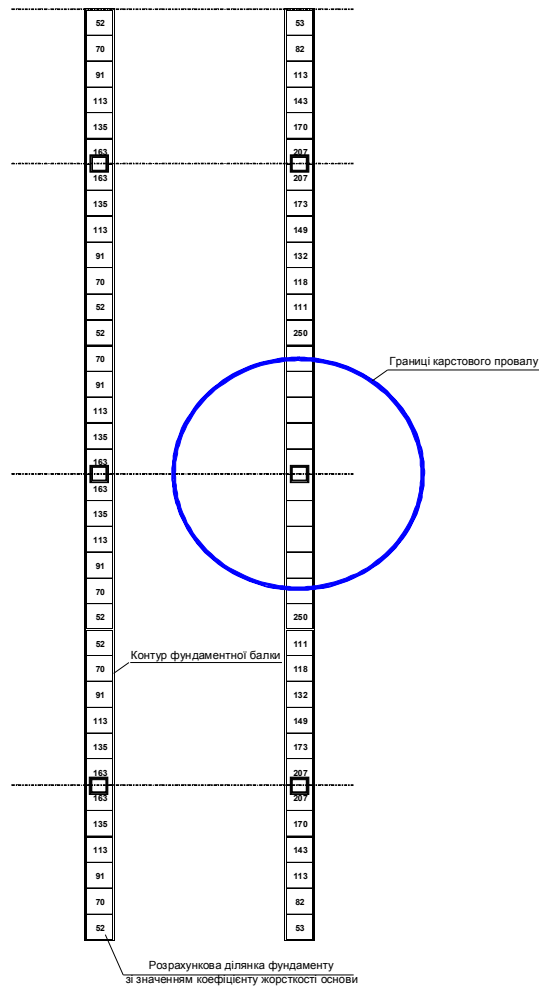


Рис. 5. Схема розподілу значень тиску по підшві фундаментів під час нормативних навантажень для ділянок фундаментів без провалу (зліва) та під час моделювання провалу (справа), т/м³

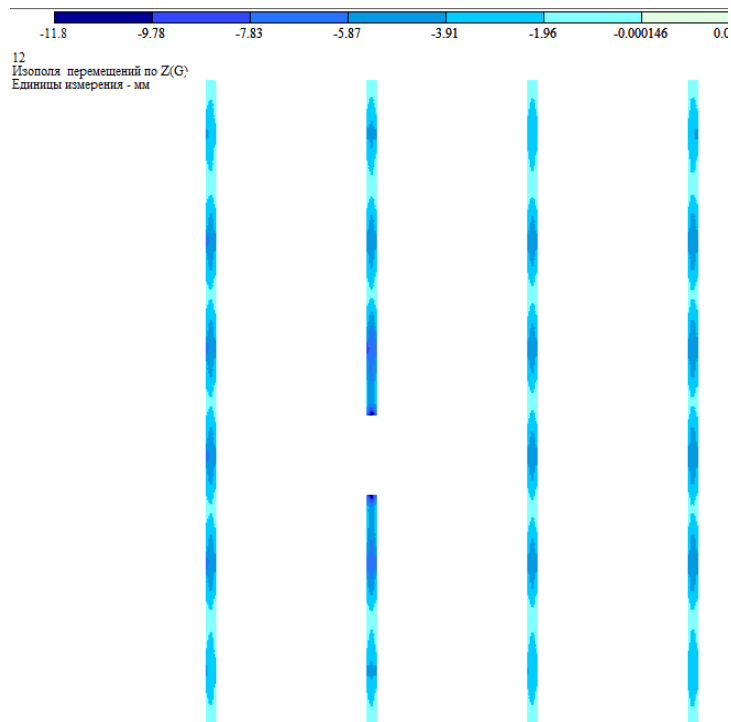


Рис. 6. Ізополя розподілу значень осідань основи під час нормативних навантажень за появи карстового провалу (розрахунок за 2-ю ГГС)

Висновки

Максимальне значення тиску по підшві фундаментів виникає на ділянці, де закінчується карстовий провал, і досягає $33,2 \text{ т/м}^2$ (середнє значення по розрахунковій ділянці фундаменту – 25 т/м^2), що перевищує розрахунковий опір ґрунту основи.

Максимальні додаткові значення вертикальних деформацій основи під підшовою фундаментів під час прояву карстового провалу досягають $11,8 \text{ мм}$ на тій же ділянці, де виникає максимальний тиск. Ізополя значень сумарних осідань приведено на рис. 6.

Максимальна відносна різниця осідань фундаментів становить $0,003$, що не перевищує $(\Delta s / L)_u = 0,002$. Жорсткість фундаментної плити достатня для забезпечення нормальної експлуатаційної роботи каркасу будівлі під час дії карстових процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
2. Патент України 73075 МПК⁷ Е 02 D 27/01. Збірний залізобетонний балочний фундамент з опорними блок-подушками / Березань М. О.; Руденко Ю. С.; заявник та патентовласник Черкаський державний технологічний університет. – № u201202369 ; заявл. 28.02.12, опубл. 10.09.12, Бюл. № 17.
3. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП Госстроя СССР. М., 1985. – 78 с.
4. Готман Н. З. Расчет карсто защитных фундаментов зданий / Н. З. Готман // Основания и фундаменты. – 2008. – №1. – С. 20 – 24.

Березань Микола Олександрович – к. т. н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва.

Бабак Юлія Сергіївна – аспірант кафедри промислового та цивільного будівництва.
Черкаський державний технологічний університет.