

УДК 624.042:624.072.1

**МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ «БУДІВЛЯ – ФУНДАМЕНТНА ПЛИТА – ГРУНТОВА ОСНОВА» З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ***к.т.н. Фостащенко О.М.**Запорізька державна інженерна академія*

**Постановка проблеми.** Сучасний перспективний напрям моделювання будівель включає розробку методів розрахунку просторових конструкцій як єдиних систем. Це стало можливим з одного боку завдяки розвитку методів розрахунку на основі дискретних моделей, що піддаються алгоритмізації і, з іншої - розширенню можливостей обчислювальної техніки. Використання дискретних просторових розрахункових моделей, що реалізуються по МСЕ в розрахунках каркасних систем дозволяє більш повно враховувати міцнісні та деформативні властивості окремих конструкцій і вузлових сполучень. Характер зміни параметрів взаємодії збірних елементів представляється важливими для правильної побудови ітераційного процесу в розрахунках для врахування нелінійності деформації та робить істотний вплив на міцність і жорсткість, як самих елементів каркаса, так і усєї конструктивної системи в цілому.

Для отримання надійних результатів потрібна методика, що дозволяє обгрунтовано виконувати уточнення розрахункових схем з урахуванням реальних властивостей матеріалів, конструкцій, їх сполучень і просторового характеру деформації, формувати просторові розрахункові моделі для реалізації по методу скінченних елементів.

**Зв'язок з науковими і практичними завданнями і аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні відома велика кількість робіт присвячених теорії та реалізації МСЕ, видані книги О.С. Городецького [1], О. К. Зенкевича [2], С.Ф. Клованича [3, 4], О.В. Перельмутера [6], а також [5], у яких вичерпно викладена теорія методу та дано представлення його реалізації на ЕОМ.

Нині розроблена та використовується розвинена бібліотека скінченних елементів, що дозволяє представляти будь-який елемент конструкції відповідним типом скінченного елемента [5].

Методи розрахунку міцності залізобетонних елементів не мають універсального характеру, використовують різні розрахункові моделі, містять різні обмеження та емпіричні залежності, отримані безпосередньо з експериментів. Для отримання надійних результатів дуже актуальною є проблема розробки розрахункових моделей і практичних методик, що дозволяють розраховувати складні будівлі з максимальним урахуванням реальних властивостей матеріалів, конструкцій, їх сполучень і просторового характеру деформації, формувати просторові розрахункові моделі для реалізації по методу скінченних елементів.

**Формулювання цілей.** Метою даного дослідження є кількісна оцінка напружено-деформованого стану взаємодії з основою індивідуальної 10-

поверхової вставки до житлової будівлі за адресою: м. Запоріжжя, вул. Алмазна, 11, і визначення параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій вставки, споруди в цілому та оцінка впливу вбудовуваної частини на існуючій будівлі.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Початковий проект 9-ти поверхової житлової будівлі був розроблений проектним інститутом «Запорожжягражданпроект» на початку 90-х років. На сьогодні будівля є об'єктом незавершеного будівництва, на якому зведені підземна частина на підготовленій основі та 1-й поверх без плит перекриття. Робота виконувалася на основі матеріалів і відомостей, представлених в звіті про інженерно-геологічні дослідження, виконані Запорізькою філією «УкрНІНТІЗ» [8], технічному висновку про стан конструкцій недобудованої частини будівлі [10], статичному розрахунку надземної частини проекрованої 10-ти поверхової вставки [11], а також в проектній документації, представленій ТОВ «Олександрівська будівельна корпорація».

Будівля індивідуальної 10-поверхової вставки має складну форму в плані з розмірами в крайніх осях  $25,3 \times 17,3$  м. Висота типового поверху - 2,8 м, технічного - 2,2 м. Є підземна частина у вигляді технічного підпілля, розташованого на фундаментній плиті, заввишки 1,82 м.

Конструктивне рішення - будівля безкаркасна, з цегляними несучими стінами, збірно-монолітними залізобетонними поясами, перекриття і покриття - збірні залізобетонні багатопустотні панелі.

Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою несучих стін, і збірно-монолітних залізобетонних поясів, що є складною просторовою несучою системою.

Передбачені заходи для захисту будівлі від можливих деформацій - просідання та над нормативних осідань - ґрунтова подушка, деформаційні шви між існуючими та проектованими будівлями, залізобетонні пояси.

Несприятливі фізико-геологічні процеси та явища відповідно до даних [49] спостерігається у вигляді підтопленості території та наявності льосових просідаючих ґрунтів.

Запорізькою філією УкрНІНТІЗ виконані інженерно-геологічні дослідження ґрунтів на цій ділянці. Результати досліджень приведені в звіті [8].

Територія відноситься до підтоплених. Категорія складності інженерно-геологічних умов - друга.

В результаті обстеження технічного стану будівлі [8] виявлено намокання ґрунтової подушки, що негативно позначається на її несучій здатності.

Для розрахунку взаємодії з основою індивідуальної 10-поверхової вставки до житлової будівлі, визначення параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій вставки, спорудження в цілому, та оцінки впливу вбудовуваної частини на існуючі будівлі, виконаний розрахунок просторової моделі будівлі з урахуванням її взаємодії з фундаментною плитою та ґрунтовою основою.

Для розрахунку використаний програмний комплекс «ЛІРА-САПР»

ліцензія №1д/2244, що реалізує метод скінченних елементів [5].

Розрахункова модель взаємодії будівлі вставки з основою представлена на рис. 1.1.

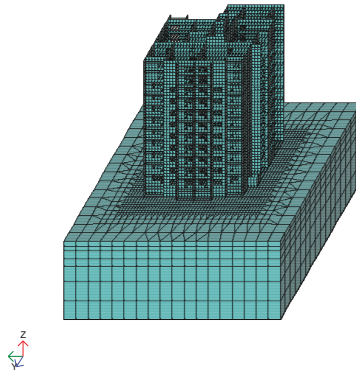


Рис. 1.1 - Розрахункова модель системи «будівля - основа» в осях 11-1

Основа моделювалася об'ємними скінченними елементами-призмами з жорсткістю, що відповідає фізико-механічним характеристикам шарів ґрунту та ґрунтової подушки під будівлею. Також враховувалося, що нульовий цикл і перший поверх були зведені раніше, що привело до процесів ущільнення ґрунтів під плямою будівлі, а також до його осідання.

Монолітна залізобетонна фундаментна плита моделювалася скінченними елементами - пластина, на пружній основі. Фундаментні стрічки моделювалися елементами типу балки-стілки із стержнями, що моделюють підшову (скінченний елемент типу універсального просторового стержня).

Зовнішні та внутрішні несучі стіни, моделювали скінченними елементами типу балки-стілки загального стану.

Збірно-монолітні залізобетонні пояси моделювалися універсальними стержневими скінченними елементами загального стану, плити перекриттів і покриттів – прямокутними скінченними елементами пластини, з шарнірами, що моделюють обпирання плит на цегляні стіни.

До елементів, що моделюють збірні залізобетонні плити міжповерхових перекриттів і покриття, прикладалося навантаження, передбачене проектом: власна вага плит і перегородок на них, навантаження від конструкції підлоги, а також тимчасове корисне навантаження. Кліматичні навантаження розраховувалися з урахуванням географічної і кліматичної прив'язки до місця будівництва. Снігове навантаження прикладалося до конструкцій покрівлі з урахуванням можливості утворення снігових мішків, вітрова активна і пасивна - на зовнішні стіни в напрямках, перпендикулярних площинам зовнішніх поверхонь будівель [7]. Власна вага ґрунтів основи, ґрунтової подушки, фундаментної плити, стрічкових фундаментів, цегляних несучих стін, збірно-монолітних залізобетонних поясів, збірних залізобетонних плит перекриттів і покриття прикладалась програмним комплексом автоматично за

характеристиками перерізів елементів, включених в розрахункову модель [5].

**Обговорення результатів.** В результаті розрахунку отримана деформована схема системи «будівля - фундаментна плита - основа», представлена у вигляді сумарних вертикальних переміщень і горизонтальних зміщень.

Максимальне сумарне горизонтальне зміщення верху будівлі складає 36,4 мм. Крен будівлі при його висоті 33,0 м складає  $36,4/33000 = 1/907$ , що більше гранично допустимого крену  $1/1000$  для будівель без противопросадочних заходів і менше гранично допустимого крену  $1/500$  для будівель з противопросадочними заходами [9]. Оскільки в якості таких заходів використані облаштування ґрунтової подушки, суцільної фундаментної плити та збірно-монолітних залізобетонних поясів, умова по деформаціях виконується.

Таким чином, горизонтальні деформації будівлі, визначені в результаті статичного розрахунку, знаходяться в допустимих межах.

Сумарна величина вертикальних переміщень (осідання в рівні низу фундаментів будівлі) складає 19,8 см при фізико-механічних характеристиках ґрунтів основи, що відповідають обводненому стану, зафіксованому при інженерно-геологічних дослідженнях [8] і при обстеженні технічного стану незавершеного будівництва об'єкту [10]. Це значення перевищує гранично допустиму величину для безкаркасних цегляних будівель - 15,0 см [9]. При врахуванні процесів ущільнення ґрунту під плямою незавершеної будівництвом будівлі, а також зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів при усуненні їх обводнення, була змодельована розрахункова ситуація та виконаний повторний розрахунок тієї ж моделі при поліпшених жорсткісних характеристиках основи. В результаті розрахунку максимальне осідання фундаментної частини будівлі склали 12,9...14,8 см, що практично співпадає з гранично допустимим значенням 15,0 см [9]. Оскільки в розрахунковій ситуації реалізований найгірший для будівлі варіант впливів, отримані осідання є максимально можливими.

Перекоє плити склав  $\Delta S/L = 23,2/12060 = 0,0019$ , що менше гранично допустимої величини 0,002 [9].

За результатами статичного розрахунку визначені розрахункові поєднання зусиль і головні напруження в несучих елементах, для оцінки їх міцності за матеріалом.

Для визначення головних напружень використаний модуль ЛІТЕРА програмного комплексу ЛІРА-САПР [5]. Обчислення робилися по розрахункових поєднаннях зусиль. При цьому використані критерії теорії найбільших головних напружень.

**Висновки.** Аналізуючи проведені дослідження були зроблені висновки: у разі нерівномірних деформацій основ для врахування їх взаємодії з конструкціями будівель, складається детальна просторова розрахункова модель плити у складі будівлі з використанням об'ємних скінченних елементів (тип 34 – універсальний просторовий шестивузловий ізопараметричний SE, тип 41 – універсальний прямокутний SE оболонки) та шарнірним або частково защемленим опиранням з моделюванням опорних

закріплені у вигляді стержневих або пластинчатих елементів зі змінною згинальною жорсткістю залежно від міри часткового затискання плити в опорній конструкції. Для умов, коли можлива робота плит в граничних станах, виконується розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності, при цьому характеристики матеріалів призначаються відповідно до діаграм  $\sigma$ - $\epsilon$  для конкретних матеріалів на екстремальні навантаження.

У разі нерівномірних деформацій опорних конструкцій, пов'язаних зі змінною висотною положення опорних ділянок плити, розрахунок виконується з урахуванням геометричної нелінійності, пов'язаної з нерівномірними зміщеннями опорних вузлів.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К.: Издательство «Факт», 2007. – 394 с.
2. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган // Пер. с англ. Б.И. Квасова; Под ред. Н.С. Бахвалова. –М.: Мир, 1986. –318 с.
3. Клованич С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики / С. Ф. Клованич. – Запорожье, 2009. – 400 с.
4. Клованич С. Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона / С. Ф. Клованич, И. Н. Мироненко. – Одесса, 2007. – 110 с.
5. ЛИРА - САПР 2011. Учебное пособие / [Ю. В. Гензерский, Д. В. Медведенко, О. И. Палиенко, и др.] – К.: Электронное издание, 2011г., – 396с.
6. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М.: Издательство ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
7. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с. – (Національні стандарти України).
8. «Индивидуальная 10-ти этажная вставка к жилому дому №11 по ул. Алмазной в г.Запорожье». Отчет об инженерно-геологических изысканиях. – Запорожье: ЗФ УкрНИИИТИЗ, 2008. – 32 с.
9. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Ч. II: Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах : ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинний від 2000-07-01]. – Офіц. вид. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України : Держбуд України, 2000. – 84 с.
10. Техническое заключение о состоянии строительных конструкций недостроенной 9-ти этажной индивидуальной вставки к жилому дому № 11 по ул. Алмазной в г.Запорожье.– Запорожье: ООО «НАСТРОЙ», 2008.–39с.
11. Статический расчет надземной части проектируемого жилого дома №11 по ул. Алмазной в г.Запорожье (2 этап). – Запорожье: ООО «НАСТРОЙ», 2008. – 33 с.