

*М.В. Корнієнко, к.т.н., професор*

*В.В. Жук, асистент*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

*І.С. Чегодаєв, головний конструктор, ТОВ «БК-Київ»*

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ КАРКАСНОГО ТИПУ НА ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТАХ НА ДІЛЯНКАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ В УМОВАХ ПІДТОПЛЕННЯ**

*Наведено результати чисельного моделювання взаємодії елементів системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» з використанням АСНД «VESNA». Розрахунки враховують конструктивну та фізичну нелінійність конструкцій та основи.*

**Ключові слова:** *чисельне моделювання, нерівномірні деформації, каркас, спільна робота, АСНД «VESNA».*

*Н.В. Корниенко, к.т.н., профессор*

*В.В. Жук, ассистент*

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

*И.С. Чегодаев, главный конструктор, ООО «СК-Киев»*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ КАРКАСНОГО ТИПА НА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТАХ НА УЧАСТКАХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ ПОДТОПЛЕНИЯ**

*Приведены результаты численного моделирования взаимодействия элементов системы «основание – фундамент – надземная часть здания» с использованием АСНИ «VESNA». Расчеты учитывают конструктивную и физическую нелинейность конструкций и основания.*

**Ключевые слова:** *численное моделирование, неравномерные деформации, каркас, совместная работа, АСНИ «VESNA».*

*M.V. Kornienko, Ph.D.*

*V.V. Zhuk, Assistant*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

*I.S. Chegodaev, general designer, «BK-Kyiv»*

## **DESIGN FEATURES OF THE FRAME STRUCTURES ON SLAB FOUNDATIONS IN DENSE URBAN AREAS IN UNDERFLOODING CONDITIONS**

*The investigation results of numerical simulations of structure-foundation-soil-interaction are shown. Nonlinear simulations for constructions and soil mass are performed using ASSR «VESNA».*

**Keywords:** numerical simulation, nonlinear deformations, frame, interaction, ASSR «VESNA».

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Як відомо, значна частина території України покрита ґрунтами, що мають здатність змінювати властивості при підтопленні. Досвід будівництва показує, що каркасні багатоповерхові будинки є дуже чутливими до нерівномірних деформацій. В умовах щільної міської забудови такі будинки, що спираються на окремі фундаменти, як правило, зазнають впливу нерівномірних деформацій. Тому здебільшого ці будинки проєктують на пальових фундаментах. Чи доцільно це робити в усіх випадках? Використання чисельного моделювання спільної роботи будівлі з ґрунтовою основою дають можливість знайти раціональне рішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** Моделювання напружено-деформованого стану основ плитних фундаментів розглядалося в роботах [1 – 6].

**Виділення не розв'язаних раніше частин проблеми, яким присвячується стаття.** Сучасні умови проєктування вимагають проведення розрахунків системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» з урахуванням оточуючої забудови чисельними методами, що дають можливість реалізувати просторову постановку задачі й враховувати нелінійні властивості ґрунтів основи. Тому моделювання взаємодії елементів цієї системи є безумовно актуальним.

Отже, **метою роботи** є проведення чисельного моделювання взаємодії елементів системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» з використанням АСНД «VESNA» з урахуванням конструктивної та фізичної нелінійності конструкцій та основи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Чисельне моделювання спільної роботи системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» виконувалось на прикладі дослідного майданчика в Шевченківському районі м. Києва (рис. 1).

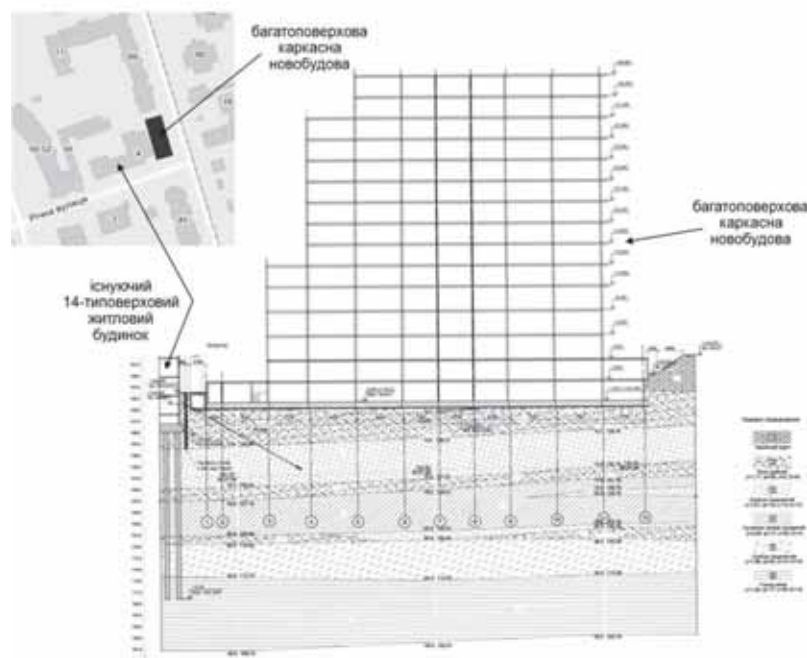


Рисунок 1 – Посадка будівлі на інженерно-геологічний розріз

Офісний комплекс із паркінгом та вбудовано-прибудованими приміщеннями планувалося звести поруч з існуючим житловим 14-поверховим будинком на пальових фундаментах. Новобудова являє собою каркасну 13-поверхову споруду каскадного типу з

двоповерховим підземним паркінгом. Каркас – залізобетонний, монолітний. За попередніми розрахунками, фундаментна плита прийнята суцільною товщиною 1,0 м.

Вага будинку з фундаментною плитою становить 425 667 кН. Середній тиск під подошвою фундаментної плити – 127 кПа. Очікуване осідання за результатами розрахунків у розрахунковому комплексі LIRA становить 11,1 см.

В геоморфологічному відношенні майданчик будівництва розташований в межах верхової частини лівого схилу долини р. Либідь.

Геологічну будову майданчика представлено делювіальними відкладеннями – пісками дрібними (ІГЕ-2), супісками твердими (ІГЕ-3), суглинками тугопластичними (ІГЕ-4), які з поверхні вкриті техногенними утвореннями – насипними супісками пилюватими (ІГЕ-1) потужністю до 2-х метрів. Підстилаються з 32-метрової глибини супісками харківської світи (ІГЕ-5) потужністю до 8 м та глиною напівтвердою (ІГЕ-6) київської світи, розвідана потужність якої складає 15 м.

Основою палихових фундаментів існуючого сусіднього будинку є глина (ІГЕ-6), а фундаментна плита новобудови спирається на піски (ІГЕ-2).

Грунтові води зустрінуто на глибині 12,5–15,7 м від поверхні (змінюється рельєф майданчика).

У відношенні прогнозу змін інженерно-геологічних умов є можливість водонасичення ІГЕ-3 за рахунок природного підняття рівня ґрунтових вод або аварійних витікань із водонесучих мереж. Тому було поставлено задачу виконати уточнюючі розрахунки для визначення НДС системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» в умовах можливого підтоплення шару супісків ІГЕ-3.

Моделювання спільної роботи системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» виконувалося з використанням АСНД «VESNA» [4] у двовимірній постановці для перерізу, що проходить через геометричний центр ваги будинку (рис. 2).

Розрахунки проводились у нелінійній постановці з врахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності. Оскільки пилюваті супіски (ІГЕ-3) за своїми властивостями близькі до лесових просідаючих ґрунтів, було застосовано моделі лесового ґрунтового середовища [5] та модель, що додатково враховує структурну міцність ґрунту [6]. Остання є важливим доповненням для об'єктивного визначення формування напружено-деформованого стану основи.

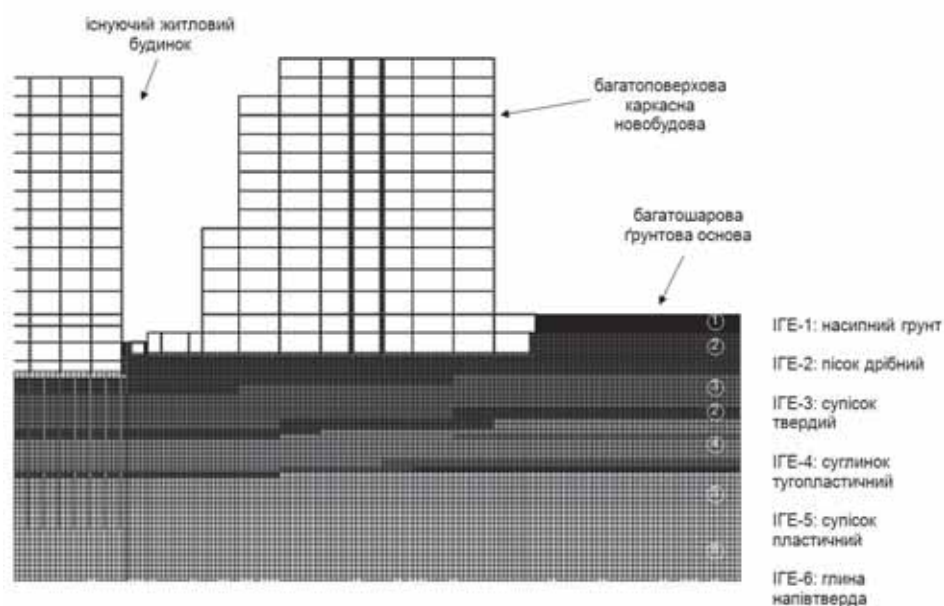


Рисунок 2 – Скінченно-елементна модель для чисельного моделювання взаємодії елементів системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі»

Постановки задач враховували такі етапи будівництва (рис. 3):

- напружено-деформований стан ґрунтового масиву від власної ваги ґрунту;
- напружено-деформований стан від існуючого житлового будинку;
- напружено-деформований стан від розробки котловану;
- напружено-деформований стан від влаштування фундаментних конструкцій;
- зведення першого ярусу (до 4-го поверху включно) каркаса новобудови;
- зведення другого ярусу (до 11-го поверху включно) каркаса новобудови;
- напружено-деформований стан від зведення повного каркаса з врахуванням корисного навантаження;
- варіант замочування шару супісків (ІГЕ-3) під всім будинком;
- варіант замочування супісків (ІГЕ-3) ліворуч від новобудови;
- варіант замочування супісків (ІГЕ-3) праворуч від новобудови.

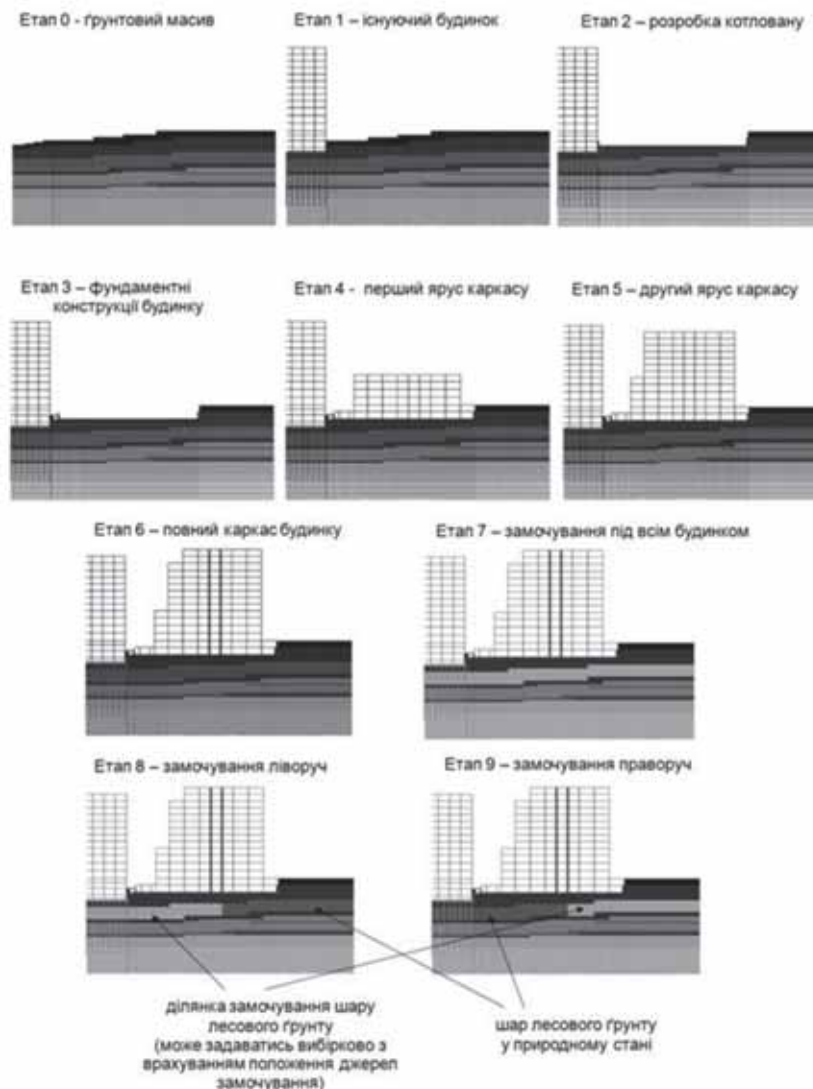


Рисунок 3 – Постановки задач, що враховують різні етапи будівництва

Зони можливого підтоплення (рис. 3) при моделюванні розглядали для замочування шару пілуватих супісків (ІГЕ-3) під всією новобудовою (етап 7), під

половиною фундаментної плити новобудови з боку існуючого будинку (етап 8) та з протилежного боку (етап 9).

За результатами розрахунків напружено-деформованого стану системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» осідання під центром ваги споруди становило 10,2 см на етапі зведення повного каркаса будинку (рис. 4), при цьому очікуване осідання фундаментної плити, отримане розрахунком за методикою норм [7], становило 5,7 см. Привантаження крайнього ряду паль існуючого будинку прогнозують у вигляді додаткового осідання на 7,1 мм, при цьому за методикою норм [7] очікуване осідання ґрунту навколо паль крайнього ряду існуючого будинку становило 7 мм, що підтверджує результати чисельного моделювання. З іншого боку, отримані за різними підходами величини впливу на роботу паль крайнього ряду існуючого будинку показують, що негативним тертям, яке може передаватися на ці палі, можна знехтувати.

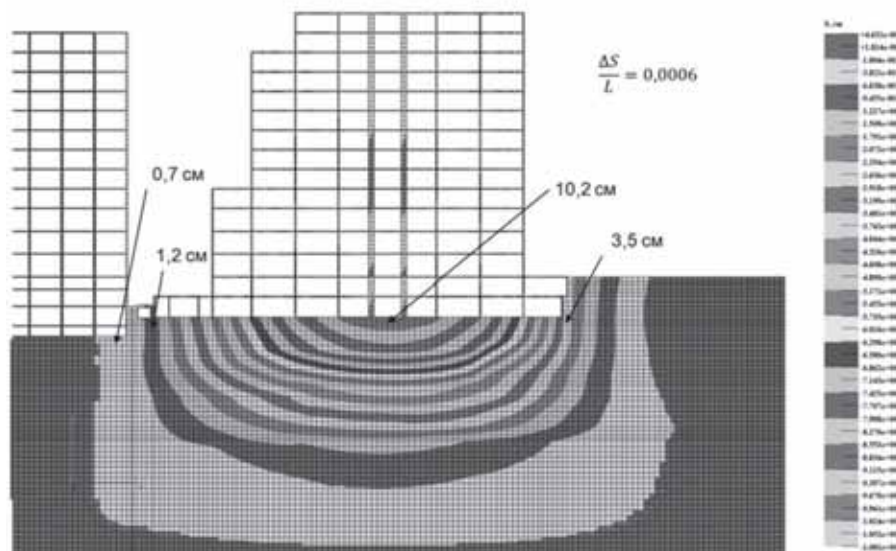


Рисунок 4 – Осідання, см (етап зведення повного каркаса)

Розрахунки напружено-деформованого стану системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» для варіанта можливого підтоплення всього шару супісків (етап 7) показали збільшення величини максимального осідання на 17 мм, по краях плити прогнозують збільшення на 7 – 9 мм (рис. 5). Проте відносна різниця осідань фундаментної плити новобудови при цьому становить 0,0007, що не перевищує допустиме нормами [7] значення  $(\Delta S / L)_{\text{н}} = 0,003$ , а вплив на прилеглі до сусідньої забудови ділянки не перевищує 1 мм.

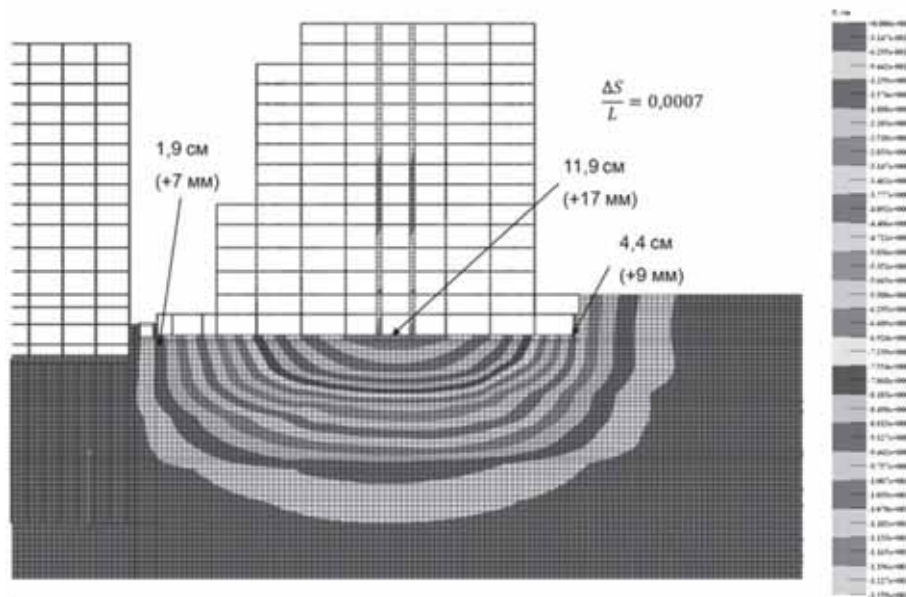


Рисунок 5 – Осідання, см (етап замочування під всім будинком)

Аналіз результатів чисельного моделювання для варіанта замочування основи ліворуч (етап 8) показав зміщення зони максимального осідання в бік джерела замочування. Збільшення величини осідання в центральній частині плити при цьому очікується на 14 мм, по краях плити осідання збільшиться на 4 – 8 мм. Осідання ґрунту біля крайнього ряду паль існуючого будинку при цьому становить 8 мм (рис. 6). Прогнозна відносна різниця осідань фундаментної плити новобудови при цьому дорівнює 0,00064, що не перевищує допустиме нормами [7] значення  $(\Delta S / L)_u = 0,003$ .

Розрахунки напружено-деформованого стану системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі» для варіанта можливого замочування праворуч показали зміщення зони максимального осідання в бік джерела замочування. При цьому збільшення величини осідання в центральній частині плити очікується на 13 мм, по краях плити – збільшення на 6 – 13 мм (рис. 7). Відносна різниця осідань фундаментної плити новобудови при цьому не перевищує допустиме нормами [7] значення  $(\Delta S / L)_u = 0,003$  та становить 0,00065. Напруження у фундаментній плиті при цьому перерозподіляються, змінюючись як за величиною, так і за напрямком. Вплив на прилеглі до сусідньої забудови ділянки не перевищує 2 мм.

На прикладі цього конструктивного рішення (за рахунок каскадного типу каркаса) вплив на існуючий будинок зменшується шляхом «переміщення» центру ваги новобудови в протилежний бік від існуючої споруди. Наявність захисних конструкцій (вдавлювані двотаври або закріплення ґрунту по периметру котловану) підсилює цей позитивний ефект.

Сьогодні до чисельного моделювання можна ставитися з високою ймовірністю як до надійного методу прогнозування поведінки елементів системи «основа – фундамент – надземна частина будівлі». Особливу увагу слід приділяти фізико-механічним характеристикам ґрунтів та їх зміні в часі.

Можливість чисельного моделювання етапів будівництва дає можливість прогнозувати перерозподіл напружень та розвиток деформацій під час зведення споруди.

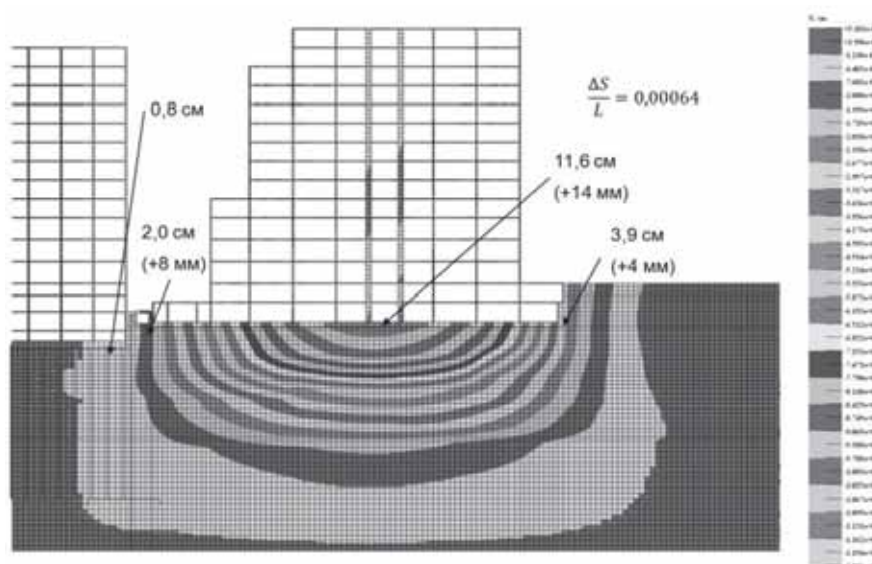


Рисунок 6 – Осідання, см (етап замочування ліворуч)

Отже, використання програмних комплексів, що забезпечують чисельне моделювання роботи надземних та підземних частин будівлі разом із ґрунтовою основою дають можливість:

- врахувати взаємодію каркасної будівлі з основою, ґрунти якої зазнають зміни властивостей при підтопленні, при цьому можна прослідкувати розвиток деформацій основи як в часі (при зведенні будівлі), так і за умови підтоплення ґрунту на різних «прогнозних» ділянках основи;
- знайти раціональне конструктивне рішення каркасної будівлі;
- врахувати взаємовплив новобудови та оточуючих споруд.

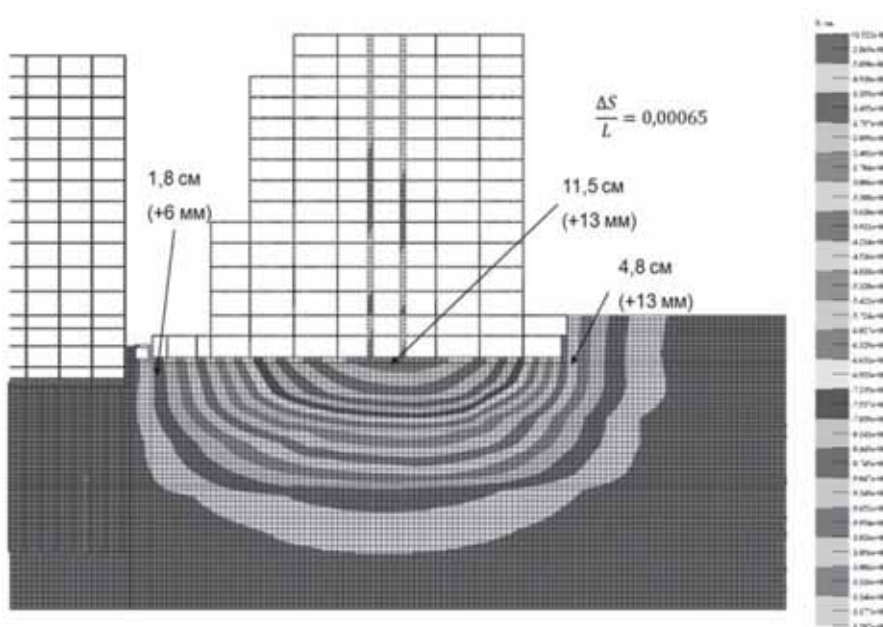


Рисунок 7 – Осідання, см (етап замочування праворуч)

Запропонований підхід дає можливість уточнювати конкретні задачі взаємодії сусідніх будівель як в процесі зведення, так і на перспективу в часі. Одним із важливих моментів при цьому є оцінка можливості проявлення сил негативного тертя на палі

крайнього ряду сусідньої забудови (включаючи навіть підпірні стіни на палях чи огорожуючі конструкції, що було влаштовано раніше).

**Висновки.** Сьогодні при проектуванні багатоповерхових будинків в умовах щільної забудови в основному віддають перевагу пальовим фундаментам. При цьому варіант буронабивних паль, що влаштовуються в обсадних трубах, як показує практика, не завжди гарантує отримання очікуваного ефекту. З досвіду відомо, що вплив на оточуючі будинки та споруди рідко вдається усунути повністю. У той же час, перехід на плитний варіант фундаментів дає можливість отримати суттєву економію. Прямі витрати на влаштування паль, як показує досвід, становлять від 15% до 30% від загальної вартості багатоповерхової будівлі каркасного типу.

Можливість чисельної оцінки впливу на сусідні оточуючі будинки майданчика, що забудовується, дозволяє обґрунтувати надійність варіанта використання плитних фундаментів, вартість яких набагато нижча від пальових фундаментів.

#### Література

1. Улицкий, В.М. *Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки)* / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010. – 552 с.
2. Федоровский, В.Г. *Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании* / В.Г. Федоровский, С.Г. Безволев, О.М. Дунаева // *Нелинейная механика грунтов: тр. IV Рос. конф.* – Т.1. – СПб., 1993.
3. Копейкин, В.С. *Расчет осадок фундаментов с учетом влияния НДС на характеристики деформируемости грунта* / В.С. Копейкин, В.Ф. Сидорчук // *Основания, фундаменты и механика грунтов.* – 1993. – №4. – С. 8–13.
4. САПР. *Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості* / О.С. Сахаров, В.Ю. Щербина, О.В. Гондляр, В.І. Сівецький. – К.: Поліграф Консалтинг, 2006. – 156 с.
5. Жук, В.В. *Методика моделювання спільної роботи каркасної будівлі з лесовою просідальною основою* / В.В. Жук, М.В. Корнієнко, В.О. Сахаров // *Основи і фундаменти.* – К.: КНУБА, 2006. – Вип.30. – С. 39 – 46.
6. Бойко, І.П. *Моделювання нелінійного деформування ґрунтів основи з урахуванням структурної міцності в умовах прибудови* / І.П. Бойко, В.О. Сахаров // *Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб.* – К.: НДІБК, 2004. – Вип.61. – С. 27 – 33.
7. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування* / Мінрегіонбуд України. – Київ, 2009. – 104 с.

Надійшла до редакції 20.09.2012  
© М.В. Корнієнко, В.В. Жук, І.С. Чегодаєв