

**ШКОДА ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри «Міське будівництво та господарство» Запорізької державної інженерної академії.

Основні напрямки наукової діяльності: будівництво та експлуатація будинків, зведених у складних інженерно-геологічних ґрунтових умовах.

Автор більш 73 наукових праць.

E-mail: krozis@list.ru

**СЬОМЧИНА МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА**

Асистент кафедри «Міське будівництво та господарство» Запорізької державної інженерної академії.

Основні напрямки наукової діяльності: будівництво та експлуатація будинків, зведених у складних інженерно-геологічних ґрунтових умовах.

Автор 15 наукових праць.

E-mail: masha\_syom@mail.ru

**ШКОДА АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

Аспірант кафедри «Городское строительство и хозяйство» Запорожской государственной инженерной академии.

Основные направления научной деятельности: строительство и эксплуатация зданий, возведенных в сложных инженерно-геологических ґрунтовых условиях.

Автор 4 научных работ.

E-mail: andrei.shkoda@mail.ru

УДК 624.042.7:624.131.55

## МЕТОДИКА ВИБОРУ ТИПУ ФУНДАМЕНТІВ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ, ЯКІ ЗВОДЯТЬСЯ В СКЛАДНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ

*Ключові слова:* розрахункова модель, напружено-деформований стан, просадка, деформації ґрунту, основа.

*В статті пропонується використання методики розрахунку системи «будівля-основа» з врахуванням можливих просадочних деформацій. На прикладі будівлі торговельного центру, який проектується в районі будинку «Одягу» в м. Запоріжжі, виконаний розрахунок і аналіз отриманих результатів. Запропоновано таке конструктивне рішення фундаментів будівлі, яке в даних складних ґрунтових умовах є оптимальним.*

*В статье предлагается использование методики расчета системы «здание-основание» с учетом возможных просадочных деформаций. На примере здания торгового центра, проектируемого в районе дома «Одежды» в г. Запорожье выполнен расчет и анализ полученных резуль-*

*татов. Предложено такое конструктивное решение фундаментов здания, которое в данных сложных ґрунтовых условиях является оптимальным.*

*In the article the use of methodology of calculation of the system is offered "building-founding" taking into account possible soil deformations. On the example of building of the shopping center designed in the district of house of "Clothes" in Zaporizhzhya a calculation and analysis of the got results are executed. Other structural solution of foundations of building which in data the difficult ground terms is more optimal.*

**Актуальність проблеми.** Враховуючи складні інженерно-геологічні умови Запорізького регіону нині при зведенні і реконструкції будівель для оцінки їх надійності і збереження несучої здатності, необхідно робити розрахунок конструкцій будівлі в цілому або її фрагмента. Такий розрахунок дозволяє оцінити наслідки, які можуть позначитися на конструкціях будівлі в процесі її експлуатації.

**Метою даного дослідження** є аналіз напружено-деформованого стану будівлі від дії можливих просідаючих впливів [1,2].

На підставі результатів такого розрахунку проводиться аналіз прийнятих в проекті конструктивних рішень фундаментів, а також вибір найбільш надійного та економічного варіанту.

**Методика розрахунку.** Одним з методів оцінки несучої здатності будівлі, яка проектується, є дослідження її напружено-деформованого стану від дії можливих просідаючих впливів ґрунтової основи будівлі. Така методика дозволяє досліджувати напружений-деформований стан конструкцій будівлі спільно з просідаючою основою по тривимірній розрахунковій моделі.

Конструкції будівель на ґрунтах з II типом просадочності проектують з врахуванням можливості прояви просадок ґрунту від навантажень, які передаються фундаментами в межах зони, що деформується (вертикальних переміщень), від власної ваги ґрунту в нижній частині просідаючої товщі, а також від горизонтальних переміщень [2].

Максимальна просадка (вертикальне переміщення) ґрунту від власної ваги визначається за формулою [2]:

$$S_{np.sp}^m = \sum_{i=1}^n \delta_{np,i} \cdot h_i \cdot m ,$$

де

$n$  – число шарів, на які розбита зона, що деформується;  
 $\delta_{np,i}$  – відносна просадочність ґрунту  $i$ -го шару в межах товщини зони просадки від власної ваги в умовах повного водонасичення ґрунту при тиску, рівному природному тиску в середині даного шару;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару ґрунту, м;

$m$  – коефіцієнт умов роботи основи (приймається 1,0).

Величина просадок ґрунтів від їх власної ваги  $S_{np.sp}^m(x)$  на криволінійних ділянках  $r$  їх розвитку в плані визначається за формулою [2]:

$$S_{np.sp}^m(x) = 0,5 \cdot S_{np.sp}^m \cdot (1 + \cos \frac{\pi \cdot x}{r}) ,$$

де

$S_{np.sp}^m$  – максимальна просадка ґрунту від власної ваги в центрі замочуваної площі, см;

$x$  – відстань від центру замочуваної площі або від початку горизонтальної ділянки просадки до  $i$ -ї крапки, в якій визначається величина просадки  $S_{np.sp}^m(x)$  (в межах  $0 < x < r$ ), см;

$r$  – довжина криволінійної ділянки просадки ґрунту від власної ваги, см; визначається за формулою

$$S_{np.sp}^m = \sum_{i=1}^n \delta_{np,i} \cdot h_i \cdot m ,$$

де

$H_{sl}$  – повна величина просідаючої товщі, м.

Розрахункова модель будівлі включає всі елементи стін, плит перекриття і фундаментів, які моделюються пластинчастими елементами кінцевої товщини, а також колон і ригелів, представленими стержневими кінцевими елементами.

Основа моделюється просторовими тривимірними

Дивись рисунок 1, 2 на стор. 4 обложки

кінцевими елементами, що пошарово моделюють масив ґрунту відповідно до інженерно-геологічних умов майданчика. При цьому для правильного обліку впливу ґрунту за межами будівлі і запобігання впливу закріплень на результати розрахунку цей масив включає ґрунт на відстані 10-15 м від крайніх несучих конструкцій будівлі.

Просідаюча воронка з розрахунковими характеристиками в результаті прогнозованого замочування просідаючих ґрунтів моделюється локальною зміною жорсткісних характеристик кінцевих елементів, що моделюють основу у вигляді локальної зони замочування.

Характеристики просідаючих шарів ґрунту у водонасиченому стані приймаються відповідно до результатів інженерно-геологічних досліджень. При цьому враховується найбільш несприятливе розташування зони замочування ґрунтів основи. Проте оскільки повне замочування всієї просідаючої товщі маловірогідне, при такому розрахунку область замочування слід задавати поетапно (пошарово), відповідно змінюючи на кожному етапі розрахункові параметри воронки. Це дозволить визначити максимально можливу величину замочування просідаючої товщі, при якій ще виконуватиметься умови по граничних деформаціях і будівля все ще відповідатиме умовам нормальної експлуатації, а також оцінити результати НДС будівлі, що проектується, з врахуванням просідаючої основи на кожному етапі замочування.

**Матеріали дослідження.** Така методика розрахунку будівель застосовувалася для визначення напружено-деформованого стану і перевірки прийнятих конструктивних рішень каркаса і фундаментів по проектованій будівлі торговельного центру по пр. Леніна в районі будинку "Одягу" в м. Запоріжжі.

Проектована будівля - 4-х поверхова, з підвалом. Будівля запроєктована по каркасній конструктивній системі з монолітних залізобетонних колон, балок і перекриттів.

Несуча здатність будівлі в подовжньому і поперечному напрямках забезпечується монолітними залізобетонними балочними плитами перекриття і покриття.

При виборі оптимального конструктивного рішення фундаментів було розглянуто два варіанта:

1. Фундаменти під колони каркаса будівлі, під зовнішні і внутрішні стіни підвалу запроєктовані у вигляді суцільної фундаментної плити товщиною 800 мм.

2. Фундаменти запроєктовані у вигляді системи перехресних залізобетонних стрічок, що спираються на окремі куці буронабивних паль, розташованих в місцях установки колон каркаса.

При розрахунку використовувався програмний комплекс LIRA-Windows версії 9.4 (ліцензія НДІАСБ № 1Д/549 для ЗДІА № 9Y037014), що реалізовує метод кінцевих елементів [3].

На рис. 1 представлена модель взаємодії будівлі з основою, яка була прийнята для першого варіанту розрахунку.

За результатами статичного розрахунку системи "будівля-основа" без урахування можливості розвитку просадочних деформацій встановлені необхідні площі армування несучих елементів каркаса будівлі.

Також отримані вертикальні осідання основи і фундаментів. На рис. 2 представлені вертикальні деформації ґрунтової основи від дії постійного та корисного навантажень. Сумарне максимальне осідання будівлі від усіх завантажень склало 349 мм, що значно перевищує гранично допустиме значення для цього типу будівель (для цивільних багатопверхових будівель з повним залізобетонним каркасом з облаштуванням монолітних залізобетонних перекриттів

максимальне допустиме осідання будівлі складає 150 мм) [4].

Таким чином, міцність, жорсткість і стійкість конструктивної системи каркаса будівлі не можна вважати забезпеченою із-за наявності слабких сильно стиснутих ґрунтів в основі проекрованої будівлі навіть без урахування замочування просідаючих ґрунтів основи.

На наступному етапі обчислення дозволили визначити показники для розрахунку проекрованої будівлі на просідаючі дії ґрунту:

- максимальна для території забудови просадка ґрунту від власної ваги в центрі просідаючої воронки  $S_{пр.сп}^m = 4,4$  см;
- повна величина просідаючої товщі  $H_{sl} = 3,5$  м;
- радіус просідаючої воронки  $r = 6$  м.

При розрахунку враховувалася можливість зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів при замочуванні просідаючої основи з водонесучих комунікацій. При цьому найбільш вірогідним і несприятливим варіантом замочування визначено місце розташування точкового або лінійного джерела замочування у лівому торці будівлі.

В результаті розрахунку отримана деформована схема системи "будівля - основа" при замочуванні ґрунтової товщі з утворенням посадочної воронки в торцевій частині будівлі. Отримані вертикальні осідання основи і фундаментів для кожного із завантажень: постійного, корисного і снігового навантаження при розвитку просадочної воронки від нульового до максимального значення, а також горизонтальні деформації. При замочуванні усієї просадочної товщі максимальне осідання будівлі складає 390 мм, причому нерівномірність осідань в межах плану будівлі - 59 мм, Відносна різниця осідань:

$$\left(\frac{\Delta S}{l}\right)_{\text{н}} = \frac{59}{28000} = 0.0021 >= 0.002.$$

Таким чином, при повному замочуванні просадочної товщі і утворенні воронки з розрахунковими параметрами, умова по граничних деформаціях не виконується, максимальне осідання будівлі перевищує граничні значення для цього типу будівель 150 мм.

За результатами проведених досліджень за оцінкою напружено-деформованого стану проекрованої будівлі з

урахуванням можливих просадочних деформацій можна зробити висновок, що зважаючи на наявність просадочних, а також слабких сильно стиснутих ґрунтів в основі проекрованої будівлі, монолітна фундаментна залізобетонна плита на природній основі малоефективна і не забезпечує міцності, надійності і стійкості усіх конструктивних елементів будівлі.

Для другого варіанту розрахункова модель взаємодії пальових фундаментів з основою представлена на рис. 3.

Монолітний залізобетонний стрічковий ростверк будівлі моделювався стержневими кінцевими елементами прямокутного перерізу із заданими розмірами. Палі моделювалися також стержневими кінцевими елементами круглого суцільного перерізу. Основа моделювалася аналогічно розрахунковій моделі першого варіанту.

До конструкцій залізобетонного стрічкового ростверку прикладалось навантаження у вигляді приведених зосереджених сил в місцях розташування колон, які були отримані за результатами виконання розрахункових поєднань зусиль при статичному розрахунку будівлі по першому варіанту.

За результатами статичного розрахунку визначені основні зусилля і розрахункові поєднання зусиль в основних елементах фундаментів, визначена площа необхідного армування ростверку і паль.

При такому конструктивному русенні фундаментів палі прорізають просадочні і слабкі сильно стиснуті ґрунти і спираються на скельні ґрунти, тим самим забезпечуючи виконання умови по граничних деформаціях [1].

Міцність, надійність і стійкість усіх конструктивних елементів фундаментів будівлі забезпечена.

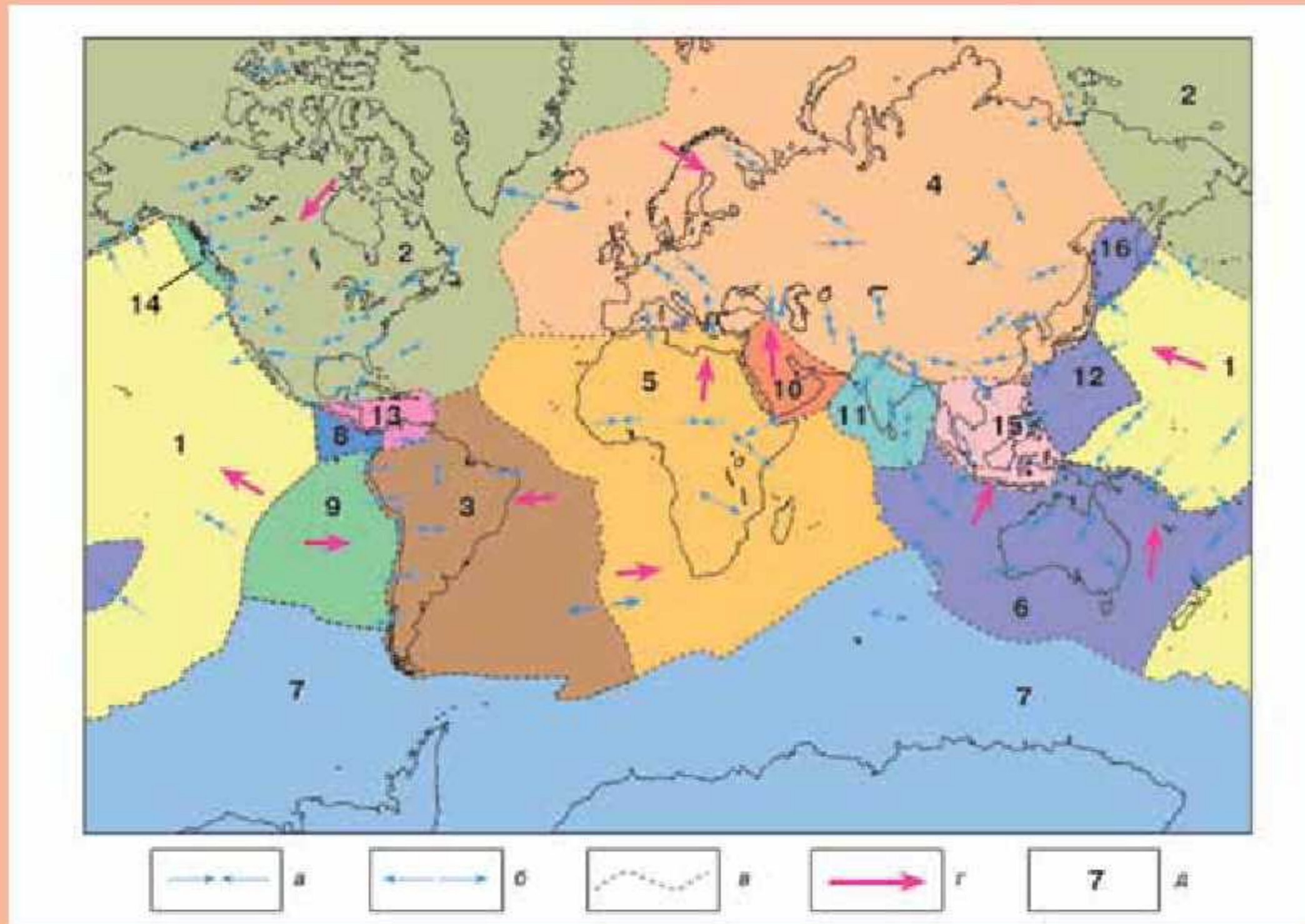
#### ВИСНОВКИ:

На підставі отриманих результатів розрахунків по першому і другому варіантах і порівнянні надійності та ефективності фундаментів, можна зробити висновок, що для даних складних ґрунтових умов оптимальним та надійним типом фундаментів можна вважати систему перехресних залізобетонних стрічок, що спираються на окремі куці буронабивних паль.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

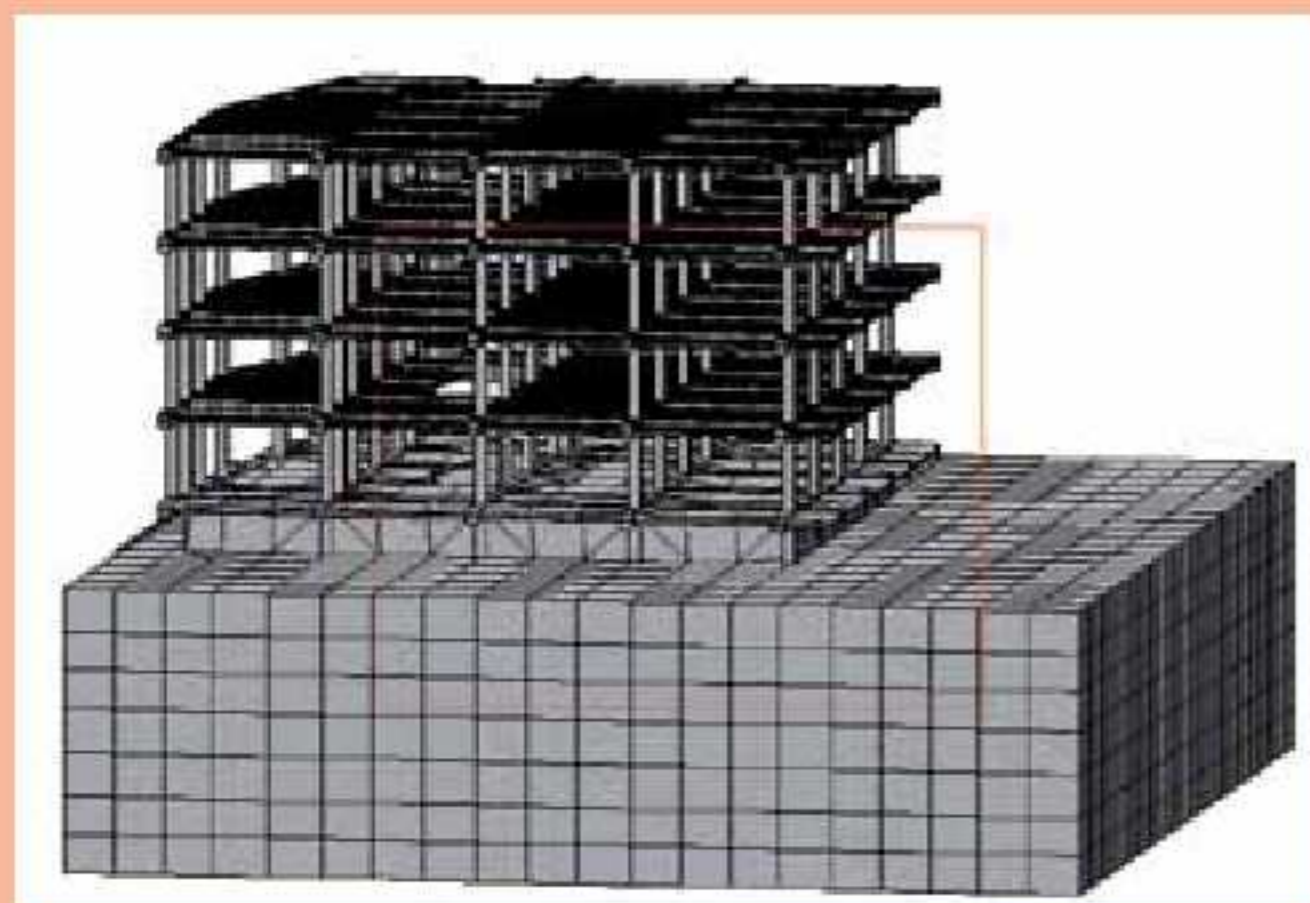
1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 79 с.
2. ДБН В.1.1-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах // Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – У 2-х частинах. – Частина II. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – К.: Держбуд України, 2000. – 84 с.
3. ПК ЛИРА, версія 9. Програмный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. А.С.Городецкого. – К. - М., 2003. – 464 с.

**РИСУНКИ К СТАТЬЕ ДУВАНСКОГО А.В.  
«КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПРОТЯЖЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЗАКРЫТОГО СПОСОБА РАБОТ»**



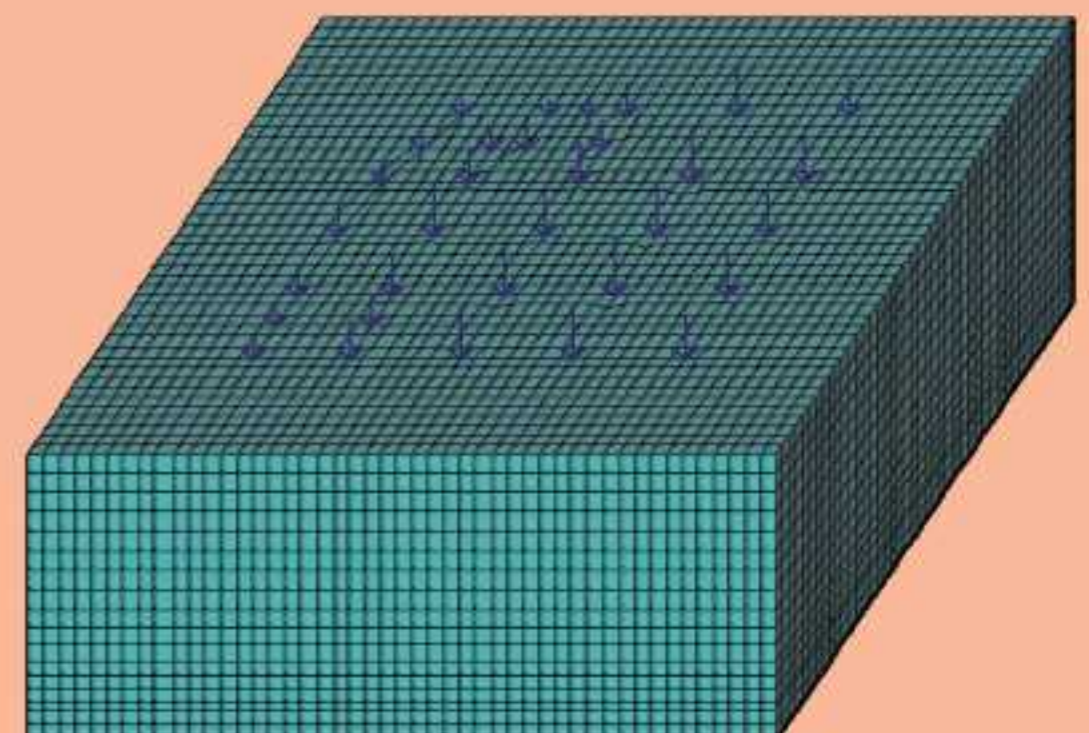
**Рис. 1.** Характер ориентировки тектонических напряжений в земной коре: а – ориентировки осей горизонтального сжатия; б – ориентировки осей горизонтального растяжения; в – границы литосферных плит; г – направление движений литосферных плит; д – номера плит: 1 - Тихоокеанская, 2 – Северо-Американская, 3 – Южно-Американская, 4 - Евразийская, 5 – Африканская, 6 – Австралийская, 7 – Антарктическая, 8 – Кокос, 9 – Наска, 10 – Аравийская, 11 – Индостанская, 12 – Филиппинская, 13 – Карибская, 14 – Хуан-де-Фука, 15 – Индокитайская, 16 – Охотская

**РИСУНКИ ДО СТАТТІ ШКОДА В.В., СЬОМЧИНА М.В., ШКОДА А.В.  
«МЕТОДИКА ВИБОРУ ТИПУ ФУНДАМЕНТІВ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ, ЯКІ ЗВОДЯТЬСЯ В СКЛАДНИХ ГРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ»**

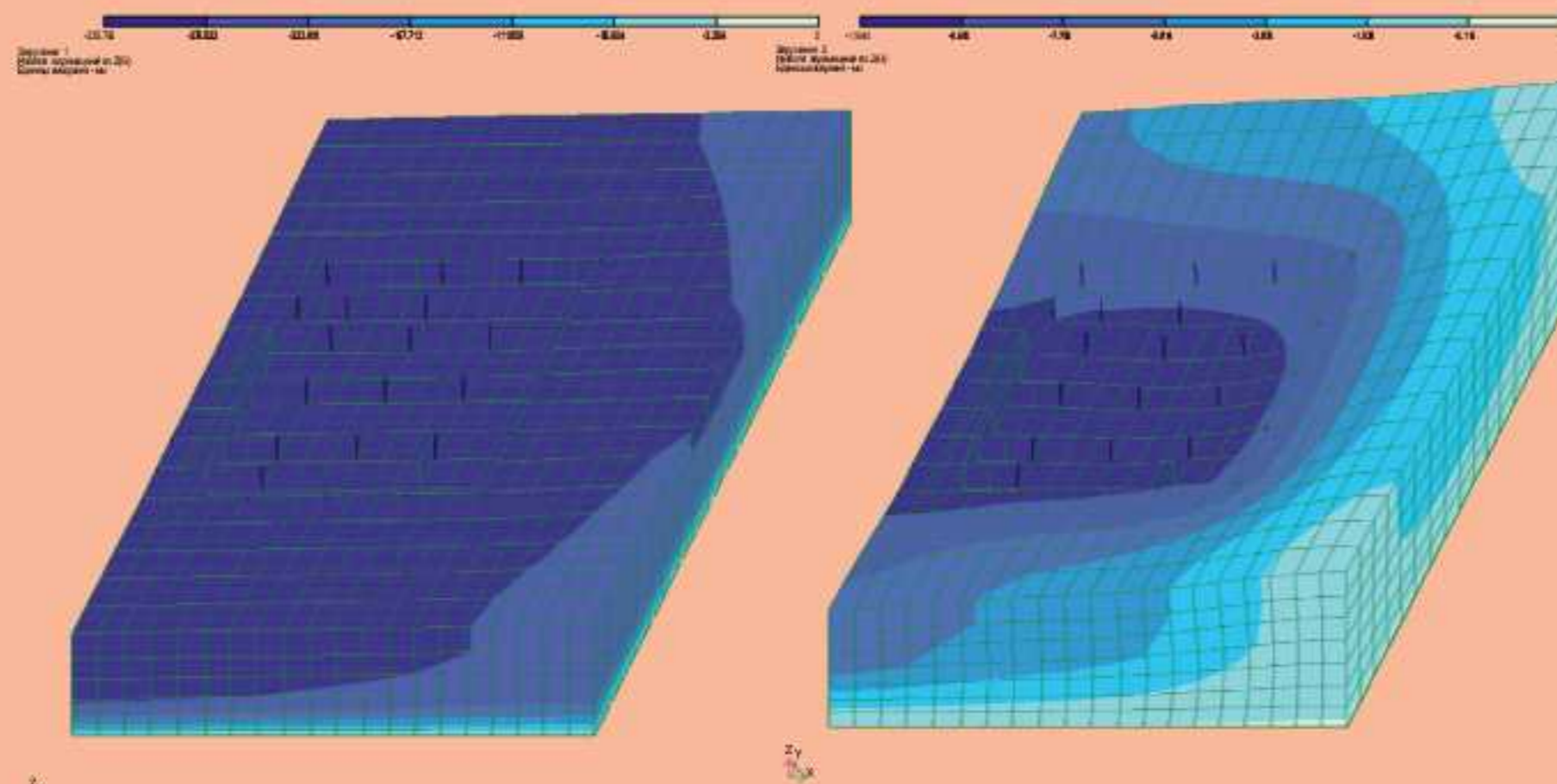


**Рис. 1.** Розрахункова модель системи «будівля-основа».

Зображення 1



**Рис. 3.** Розрахункова модель системи «пальові фундаменти-основа».



**Рис. 2.** Вертикальні деформації системи «будівля-основа» від постійного та корисного навантажень.