

**ШКОДА ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Запорожской государственной инженерной академии.

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

Автор более 70 научных работ.

E-mail: krozis@list.ru

**СЁМЧИНА МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА**

Ассистент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Запорожской государственной инженерной академии.

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

Автор 10 научных работ.

E-mail: masha\_syom@mail.ru

**ШКОДА АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

Аспирант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Запорожской государственной инженерной академии.

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

Автор 3 научных работ.

E-mail: andrei.shkoda@mail.ru

УДК 624.042.7:624.131.55

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ ПРИ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОМ НАДБУДОВИ ДОДАТКОВИХ ПОВЕРХІВ

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

Розглядаються існуючі розрахункові моделі будівель спільно з основою. Проаналізовані проблеми, що виникають при розрахунку по таких моделях. Пропонується використання нової методики розрахунку системи «будівля-основа» з врахуванням можливих посадочних деформацій по тривимірній моделі, що усуває недоліки, які властиві двовимірній моделі. На прикладі будівлі гуртожитку по вул. Панфілівців, 13 в м. Запоріжжі виконаний розрахунок і аналіз результатів по можливості надбудови додаткового поверху в будівлі. Несуча здатність будівлі з врахуванням реконструкції забезпечується за умови виключення замочування просідаючих ґрунтів основи і розробці комплексу водозахисних заходів.

Рассматриваются существующие расчетные модели зданий совместно с основанием. Проанализированы проблемы, возникающие при расчете по таким моделям. Предлагается использование новой методики расчета системы «здание-основание» с учетом возможных посадочных деформаций по трехмерной модели, устраняющей недостатки присущие двумерной модели. На примере здания общежития по ул. Панфиловцев, 13 в г. Запорожье выполнен расчет и анализ результатов по возможности надстройки дополнительного этажа в здании. Несущая способность здания с учетом реконструкции обеспечивается при условии исключения замачивания посадочных грунтов основания и разработке комплекса водозащитных мероприятий.

*The existent calculation models of buildings are examined jointly with foundation. Problems arising up at a calculation on such models are analysed. The use of new method of calculation of the system is offered «building-foundation» taking into account possible subsidence soil deformation on a three-dimensional model to removing failings inherent a two-dimensional model. On the example of building of hostel on a street Panfilovtsev, 13 in Zaporozhye a calculation and analysis of results is executed on possibility buildings on of additional floor in building. Bearing strength of building taking into account a reconstruction is provided on condition of exception of soakage of unstable soils of foundation and to development of complex of waterproof measures.*

**Актуальність проблеми.** В даний час в Україні спостерігається зниження об'ємів нового будівництва і все більше обертів набуває реконструкція будівель. Особливо актуальною стала надбудова додаткових поверхів над існуючими і недобудованими будівлями і зміна функціонального призначення приміщень в них. Зв'язано це з рядом причин: потреба в додаткових площах громадських будівель, відсутність вільних площ під будівництво в районах із забудовою, що вже склалася, зниження витрат на придбання земельної ділянки, а також виключення вартості вже існуючих конструкцій будівлі і всіх інженерних мереж. Переважно реконструюються будівлі, розташовані в центральній частині міст, побудовані в 60-70-х гг, які проектувалися без врахування впливу можливих деформацій ґрунтової основи. Тому зараз гострою є проблема збереження несучої здатності таких будівель після їх реконструкції.

**Метою** даного дослідження є аналіз напружено-деформованого стану будівлі від дії можливих просідаючих впливів, на підставі якого здійснюється вибір способу посилення або оцінка резерву несучої здатності конструкцій будівлі, що реконструюється.

**Методика розрахунку.** Одним з методів оцінки несучої здатності будівлі, що реконструюється, є дослідження його напружено-деформованого стану від дії можливих просідаючих впливів на ґрунтову основу будівлі.

Безумовно, принадно побудувати розрахункову модель для відносно точного визначення взаємодії будівлі з просідаючою основою, що включає локальну область, що обводнює. Така модель дала б можливість визначати напружено-деформований стан будівлі при різних типах замочування.

Для досягнення цієї мети необхідна розробка моделі просідаючої основи, яка могла б ефективно використовуватися як складова частина системи "будівля-основа".

Будемо спостерігати послідовне досягнення цієї мети. Мабуть, вперше напружений стан просідаючого ґрунту при локальній області замочування проаналізовані В.І.Крутовим і В.П.Дьяконовим [1]. Ними визначалися зусилля, передавані від обводненого ґрунту на ґрунт природної вологості за допомогою диференціального рівняння першого порядку. У роботах А.Н.Гел'фандбейна і Л.А.Геліс [2], [3] розрахункова модель побудована для двовимірної області і призначена також для визначення нерівномірної деформації поверхні ґрунту.

С.Н.Клепиков і А.А.Васильковський досліджували напружено-деформований стан (далі НДС) просідаючого ґрунту при різних контурах областей замочування [4, 5], а також взаємодія просідаючого ґрунту із закріпленими масивами. Розрахунок виконувався в такій послідовності. Спочатку визначався НДС ґрунту природної вологості від власної ваги, потім НДС ґрунту із замоченою зоною від того ж навантаження. Результатом розрахунку була різниця НДС між першим і другим розрахунком. Така модель простіше

попередніх, але вона програє в точності моделювання. Мабуть, при такій схемі розрахунку складніше врахувати історію вантаження і відобразити нелінійну роботу ґрунту.

Розглянемо методи розрахунку системи "будівля-основа", які застосовувалися до теперішнього часу. Використовувалися два види розрахункових моделей. У схемі першого вигляду, вживаній за ґрунтових умов першого типу просадочності, основа представлялася моделю змінного коефіцієнта жорсткості. Нерівномірність жорсткості основи, обумовлена обводненням ґрунту, визначалася за даними інженерно-геологічних досліджень. Розрахунок виконується на навантаження від будівлі.

Для ґрунтових умов II типу просадочності застосовувалася розрахункова модель, в якій жорсткість основи приймається однакової величини по всій довжині будівлі [6]

$$C_{II} = \frac{C}{1 + \frac{l_{np}}{l_{oc}}}$$

де  $C$  - жорсткість необводненої основи;

$l_{np}$  - середня відносна деформація ґрунту при його просадці від власної ваги;

$l_{oc}$  - середня відносна деформація ґрунту при навантаженні від фундаменту в межах стиснутої зони.

При цьому значення жорсткості знижується в 6-12 разів відносно необводненої основи. Викликає сумнів таке істотне зниження жорсткості основи, особливо за наявності потужної ґрунтової подушки і лише локальному обводненню основи.

Недоліком прийнятої розрахункової моделі є також неврахування стадійності розвитку просадки, відсутність алгоритму вибору найбільш не вигідного положення області замочування відносно будівлі і неврахування непружної роботи основи і конструкцій будівлі.

Вплив цих чинників може бути істотним, і тому їх следує яким-небудь чином враховувати.

При розрахунку на горизонтальні дії до підшви фундаменту прикладаються сили, рівні граничним величинам зрушення фундаменту по ґрунту. Такий розрахунок дає чималі розтягуючі зусилля, особливо у фундаментно-підвальної частині. На практиці пошкодження нижньої частини будівлі спостерігаються відносно рідко. Тому вживаний метод розрахунку на горизонтальні дії має бути переглянутий.

Істотне вдосконалення розрахунків будівель на просідаючих основах може бути вироблене не стільки уточненням окремих параметрів, як введенням нових розрахункових моделей.

Слід оцінити можливість використання розрахункових моделей з двовимірною областю основи. Вживання таких моделей знімає проблеми розрахунку на горизонтальні дії, обліку розподільної здатності основи, контури просідаючої воронки і багато що інше. В рамках цієї моделі можливі також облік нелінійної роботи ґрунту і послідовності розвитку просадки.

З виконаного аналізу виходить, що наявні розрахункові моделі системи "будівля-основа" не можуть задовільнити потреби практики проектування при визначенні НДС будівель від дії просідаючої основи.

Сучасний стан обчислювальної техніки робить можливим використання в розрахунковій практиці моделей з тривимірною основою. Вживання ефективних чисельних методів, таких як метод кінцевих елементів, дає можливість розраховувати будівлі спільно з просідаючою основою за

сповна прийнятний час розрахунку.

Така методика розрахунку будівель розроблена на кафедрі «Міського будівництва і господарства» Запорізької державної інженерної академії. Вона дозволяє досліджувати напружений-деформований стан конструкцій будівлі спільно з просідаючою основою по тривимірній розрахунковій моделі, дає можливість виключити недоліки, властиві попереднім розрахунковим моделям.

Для стабільності оцінки результатів розрахунок умовно розділяється на три послідовні етапи.

На першому етапі оцінюється можливість і об'єми планованої реконструкції без врахування просадки. На цьому етапі розрахункова модель будівлі включає всі елементи несучих стін, фундаментів, які моделюються пластинчастими елементами кінцевої товщини, а також конструкцій перекриттів і покриття будівлі, представленими стержневими кінцевими елементами еквівалентної жорсткості. Результатами розрахунку є напруга, що виникає в існуючих несучих стінах, а також таких, що надбудовуються. За результатами розрахунку на даному етапі цілком можна судити про можливість або ж масштаби реконструкції, а також доцільність подальшого дослідження НДС будівлі. Проте, враховуючи той факт, що розрахунок виконується без врахування впливу ґрунтових умов, ці результати не можуть бути використані для остаточного аналізу, оскільки не відображують реальну ситуацію.

На другому етапі проводиться розрахунок будівлі спільно з основою. Розрахункова модель будівлі, що реконструюється, аналогічна попередній, а основа моделюється просторовими тривимірними кінцевими елементами, що пошарово моделюють масив ґрунту відповідно до інженерно-геологічним умовам 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. Результатами розрахунку на цьому етапі також є напруги в несучих стінах будівлі, а також величини осідань будівлі і горизонтальних переміщень ґрунту від діючих навантажень.

На третьому етапі виконується розрахунок просідаючої ґрунтової основи від можливого замочування відповідно до рекомендацій [7, 8]. При цьому враховується вірогідність замочування просідаючих ґрунтів з водонесучих комунікацій (інженерних мереж – водопроводу і каналізації, включаючи зливу каналізацію), і аналізуються можливі варіанти розташування просідаючої воронки.

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

Максимальна просадка (вертикальне переміщення) ґрунту від власної ваги (рис. 1) визначається по формулі:

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

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 при-

родному 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  $S_{np,gr}^M(x)$  на криволінійних ділянках  $r$  їх розвитку в плані визначається по формулі:

$$S_{np,gr}^M(x) = 0,5 \cdot S_{np,gr}^M \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi \cdot x}{r}\right),$$

де  $S_{np,gr}^M$  – 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  $S_{np,gr}^M(x)$  (в межах  $0 < x < r$ ), см;

$r$  – довжина криволінійної ділянки просадки ґрунту від власної ваги, см; визначається по формулі:

$$r = H_{st} (0,5 + m_p \cdot tq \beta_1),$$

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

Значення величини  $0,5 + m_p \cdot tq \beta_1$  приймається по таблиці [8] залежно від будови просідаючої товщі.

На даному етапі використовується попередня розрахункова модель «будівля-основа», а 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 реконструюється, з врахуванням просідаючої основи на кожному етапі замочування. Такий розрахунок дозволяє найточніше оцінити можливі наслідки реконструкції.

**Матеріалі дослідження.** Така методика розрахунку застосовувалася для оцінки можливості реконструкції шляхом надбудови додаткових поверхів в громадських будівлях по вул. Лермонтова, 20, Леніна 180а, а також житлової

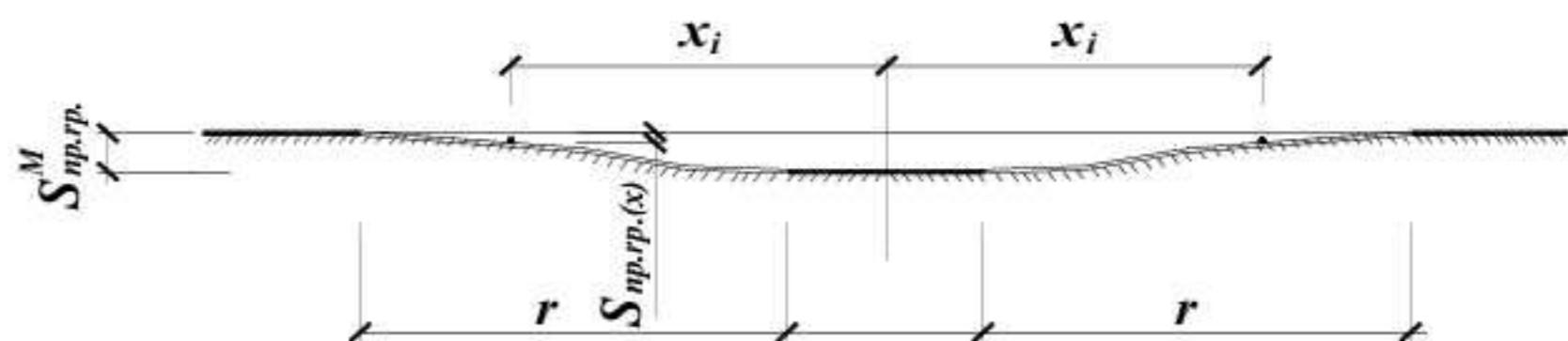


Рис. 1. – Крива вертикальних переміщень ґрунту при замочуванні

будівлі по вул. Панфілівців 13 в м. Запоріжжя. Результати розрахунків розглянемо на прикладі будівлі гуртожитку по вул. Панфілівців, 20.

Будівля гуртожитку має прямокутну форму в плані з габаритними розмірами 48,21x12,77 м. Будівля безкаркасна із застосуванням збірних залізобетонних елементів, а також подовжніх несучих цегляних стін.

Будівля 3-х поверхова з підвалом. Висота приміщень підвалу складає 2,37-2,60 м від рівня підлоги до низу плит перекриття. Висота приміщень 1-го, 2-го і 3-го поверхів будівлі складає 3,0 м.

Реконструкцією даної будівлі планувалося демонтувати дерев'яне покриття, а також частину збірного перекриття 3-го поверху будівлі. Також за проектом реконструкції надбудовується 4-й поверх з газобетонних блоків і влаштовується монолітний залізобетонний пояс поверх стін. На сталеві балки покриття і монолітний залізобетонний пояс зовнішніх і внутрішніх стінв спираються покриття з профільованих листів по сталевих балках.

При розрахунку використовувався програмний комплекс LIRA-Windows версії 9.4 (ліцензія НДІАСБ № 1Д/549 для ЗДІА № 9У037014), що реалізовує метод кінцевих елементів [9].

Розрахункова модель будівлі представлена на рис. 2. За результатами статичного розрахунку будівлі, що реконструюється, на першому етапі отримані розподіли головної стискуючої і розтягуючої напруги в зовнішніх і внутрішніх стінах будівлі. Значення напруги порівнювалися із несучою здатністю цеглини і газобетону, на стискування і розтягування і набутих значень не перевищують допустимих [10]. Таким чином, даний варіант реконструкції будівлі міг бути прийнятий для подальшого проектування.

На другому етапі розрахунку складена розрахункова модель будівлі спільно з основою, яка представлена на рис. 3. В результаті отримані розподіли головної напруги з врахуванням спільної роботи будівлі і ґрунтової основи, вертикальні осідання основи і фундаментів, а також горизонтальні деформації. Значення напруги в існуючих стінах з цеглини, а також що надбудовуються з газобетону не перевищили гранично допустимих, осідання будівлі склало 165 мм, що також менше гранично допустимого значення для даного типу будівель, яке складає 180 мм [11].

На третьому етапі обчислення дозволили визначити показники для розрахунку будівлі, що реконструювалася, на просідаючі дії:

- максимальна для території забудови просадка ґрунту від власної ваги в центрі просідаючої воронки  $S_{пр.зр}^{м} = 12,9$  см;
- повна величина просідаючої товщі  $H_{sl} = 9$  м;
- радіус просідаючої воронки  $r = 12,7$  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 посередині будівлі.

В результаті розрахунку отримана деформована схема системи «будівлі – основа» при частковому замочуванні ґрунтової товщі з утворенням просідаючої воронки під серединою будівлі. При частковому замочуванні просідаючої товщі (на глибину 1 м від рівня підлоги фундаментів) осадка будівлі складає 169 мм. Також отримана головна максимальна стискуюча і розтягуюча напруга в стінах з врахуванням замочування шарів просідаючої основи.

#### **ВИСНОВКИ:**

Аналіз отриманих результатів розрахунку показав, що в разі розвитку просідаючих деформацій навіть при частковому і незначному замочуванні основи, несуча здатність цегельних і газобетонних стінв при реконструкції будівлі недостатня.

За результатами проведених досліджень за оцінкою напружено-деформованого стану будівлі, що реконструюється, з врахуванням можливих просідаючих деформацій, можна зробити висновок, що прийняті конструктивні рішення по реконструкції дозволяють забезпечити необхідну несучу здатність житлової будівлі, за умови виключення замочування просідаючих ґрунтів основи.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Крутов В.И., Дьяконов В.П. Расчет просадок лессовых ґрунтов от собственного веса с учетом формы и размеров увлажненной зоны // Основания, фундаменты и механика ґрунтов. – 1973. - №3. – с. 12-14.
2. Гельфандбейн А.М., Гелис Л.А. Расчет деформаций просадочных оснований при локальном замачивании // Основания и фундаменты в сложных инженерно-геологических условиях / Межвуз. сборник научн. трудов. – Казань, 1980. – с. 18-21.
3. Гельфандбейн А.М., Гелис Л.А. Методические рекомендации по проектированию оснований промышленных зданий, возводимых на просадочных ґрунтах. – Харьков: ПромстройНИИпроект, 1980. – 49с.
4. Васильковский А.А. К вопросу об изменчивости напряженно-деформированного состояния просадочного массива ґрунта при локальном замачивании // Проблемы защиты, строительства зданий и сооружений на просадочных ґрунтах: Тез. докл. Республ. научн. конф. 16-17 апреля 1987 г. – Киев, 1987. – с. 70-71.
5. Клепиков С.Н., Трегуб А.С., Матвеев И.В. Расчет зданий и сооружений на просадочных ґрунтах. – Киев: Будивельник, 1987. – 200с.
6. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся на просадочных ґрунтах с применением комплекса мероприятий. РСН 297-78. – Киев, 1978. 85с.
7. 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.
8. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся на просадочных ґрунтах с применением комплекса мероприятий // РСН 297-78. – Киев, 1978.
9. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. А.С.Городецкого. – К. - М., 2003. – 464 с.
10. СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции»: - М.: Стройиздат, 1983. - 40 с.
11. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 79 с.

Дивись рисунки 2,3 на стор. 4 обкладенки

РИСУНКИ ДО СТАТТІ ОСТРОВЕРХ Б. М., САВИЦЬКИЙ О. А., РЕВА Т. Л., ЛИТВИНЕНКО О. Р., СІДЬКО М. І.  
 «РУХ ТА НАПРУЖЕНИЙ СТАН СХИЛІВ ТА УКОСІВ»

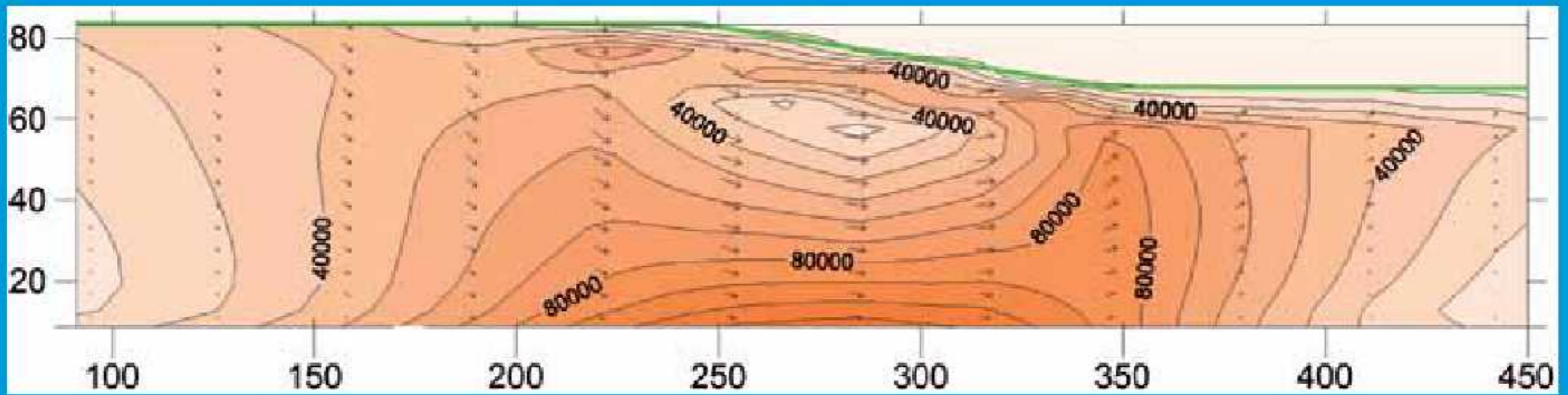


Рис. 1. Вигляд руху (поле швидкостей – стрілки) та напруженого стану ( $\tau_{xy}$ , Па) ґрунту на схилі з кутом  $\alpha = 10^\circ$  під дією власної ваги. Максимальна швидкість в'язкої течії  $V=16$  см/рік

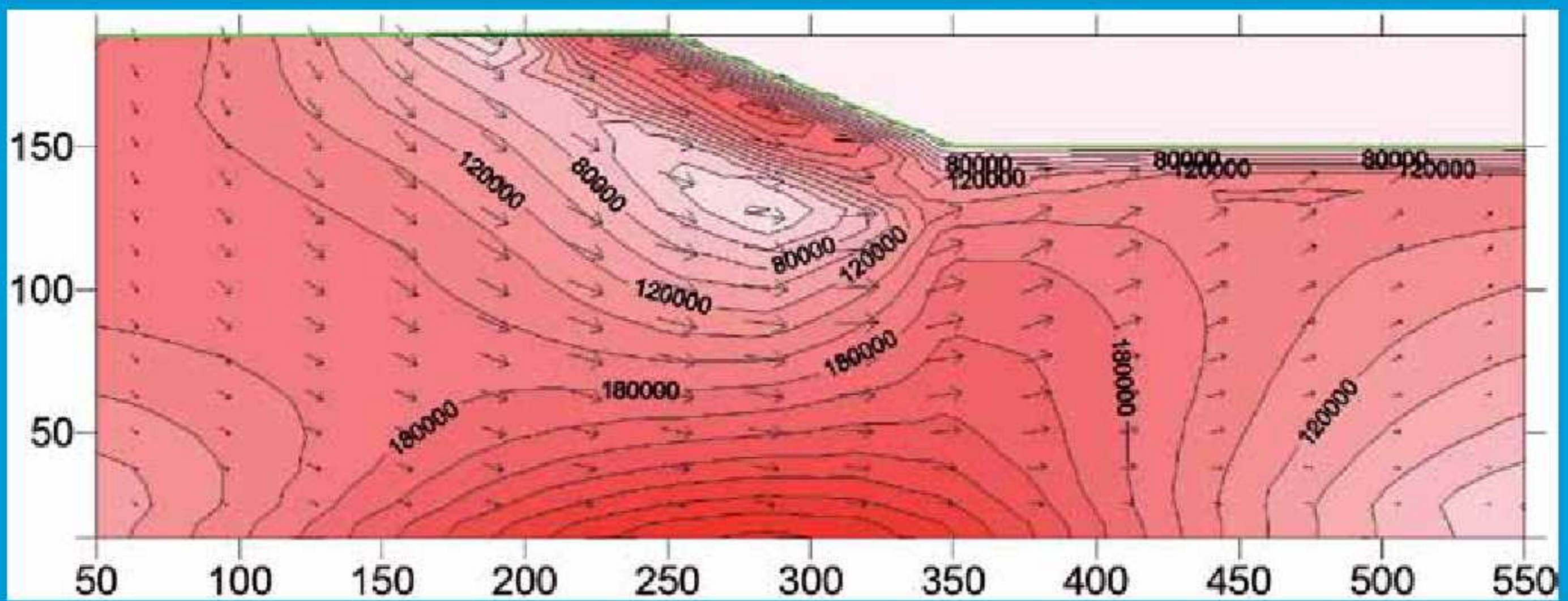


Рис. 3. Поле швидкостей (стрілки) та напружений стан ( $\tau_{xy}$ , Па) ґрунтового схилу з кутом  $\alpha = 22^\circ$ . Максимальна швидкість  $V=61$  см/рік

РИСУНКИ ДО СТАТТІ ШКОДА В.В., СЬОМЧИНА М.В., ШКОДА А.В. «ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ ПРИ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОМ НАДБУДОВИ ДОДАТКОВИХ ПОВЕРХІВ»

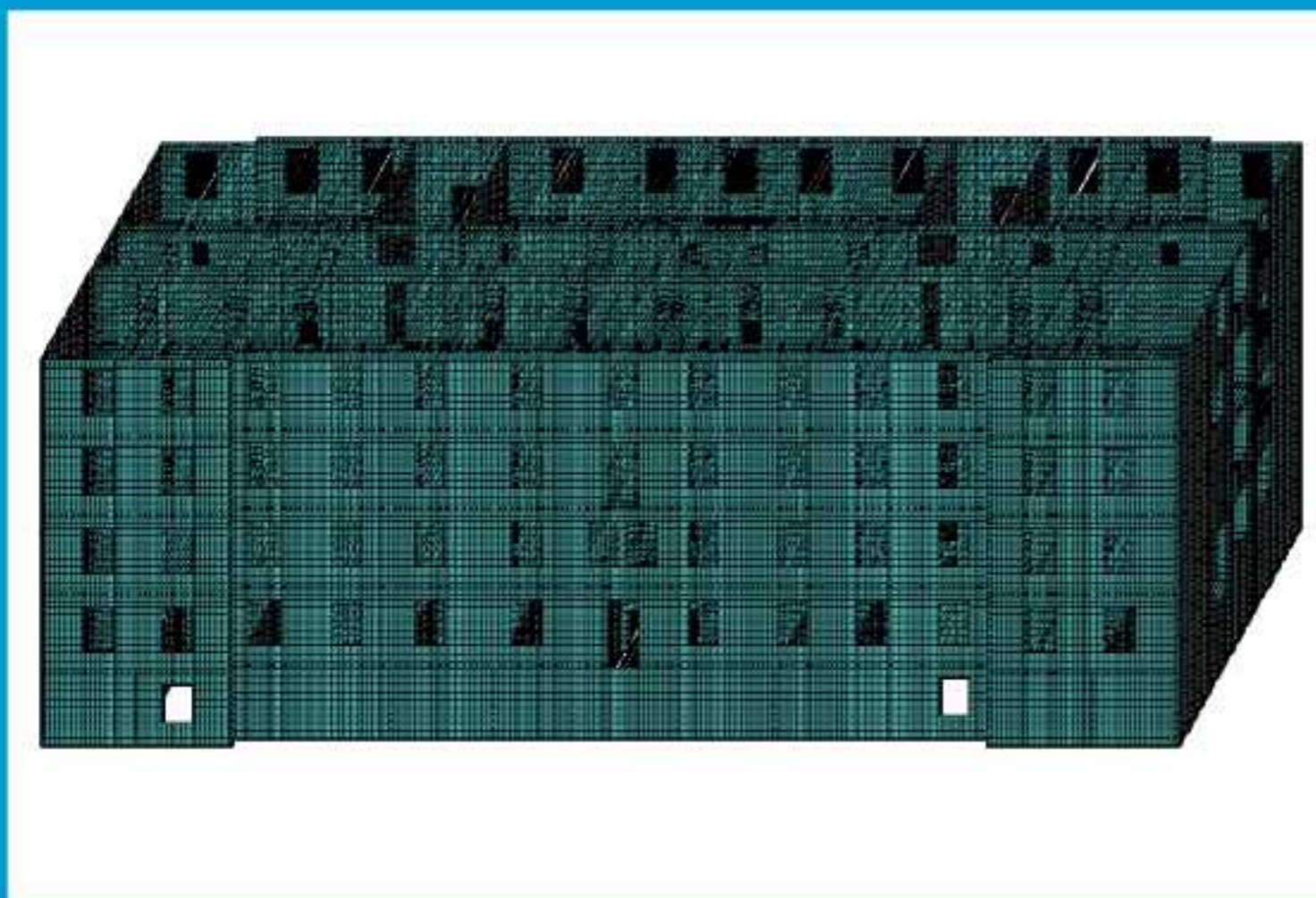


Рис. 2. Розрахункова схема моделі будівлі з врахуванням надбудови додаткового поверху

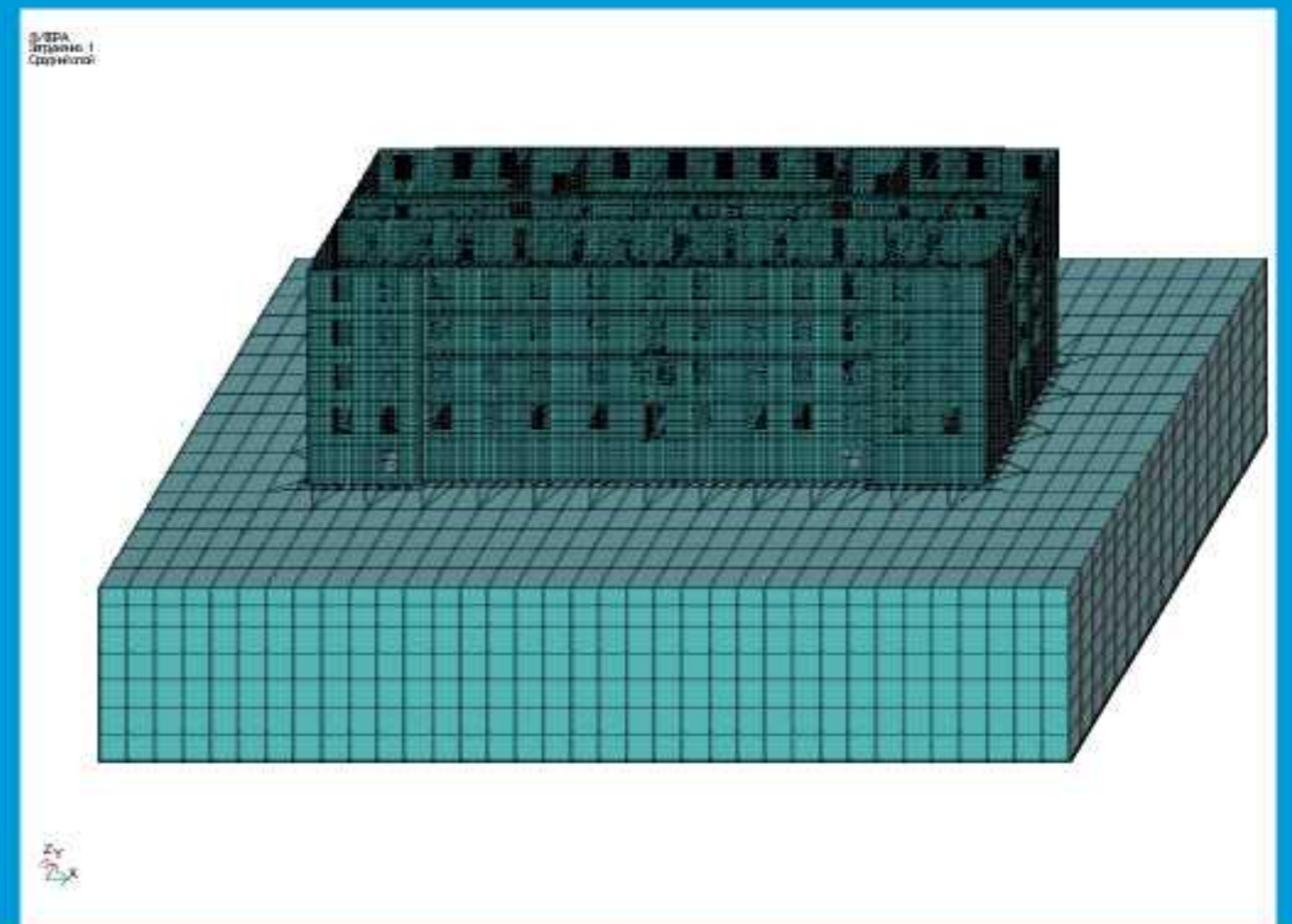


Рис. 3. Розрахункова модель системи «будівля-основа»