

УДК 624.042.7:624.131.55

к.т.н., професор Банах В.А.,
Сьомчина М.В., Шкода А.В.,
Запорізька державна інженерна академія

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ З НАДБУДОВОЮ ДОДАТКОВИХ ПОВЕРХІВ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Розглядаються існуючі розрахункові моделі будівель у взаємодії з основою. Проаналізовані проблеми, що виникають при розрахунках із застосуванням таких моделей. Пропонується використання нової методики розрахунку системи «будівля – основа» з урахуванням можливих просадочних деформацій по тривимірній моделі, яка усуває недоліки, що властиві двовимірним моделям. На прикладі будівлі гуртожитку у м. Запоріжжі виконаний розрахунок і аналіз результатів при реконструкції з надбудовою поверху в будівлі. Несуча здатність будівлі з урахуванням реконструкції забезпечується за умови виключення замочування просідаючих ґрунтів основи та розробці комплексу водозахисних заходів.

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

Актуальність проблеми. В даний час в Україні спостерігається зниження обсягів нового будівництва і все більших обертів набуває реконструкція будівель. Особливо актуальною стала надбудова додаткових поверхів над існуючими і недобудованими будівлями, а також зміна функціонального призначення приміщень в них. Пов'язано це з рядом причин: потреба в додаткових площах громадських будівель, відсутність вільних площ під будівництво в районах з існуючою забудовою, зниження витрат на придбання земельної ділянки, а також виключення вартості вже існуючих конструкцій будівлі та всіх інженерних мереж. Переважно реконструюються будівлі, розташовані в центральній частині міст, збудовані у 60...70-х роках, які проектувалися без врахування впливу можливих деформацій ґрунтових основ. 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 просадочних деформацій, на підставі якого здійснюється вибір способу підсилення або оцінка резерву несучої здатності конструкцій будівлі, що реконструюється.

Методика розрахунку. Одним з методів оцінки несучої здатності

будівлі, що реконструюється, є дослідження її напружено-деформованого стану від дії можливих просадочних деформацій 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 дифференціального 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 складних інженерно-геологічних умов з урахуванням просадочних ґрунтів застосовувалася розрахункова модель, в якій жорсткість основи приймається однаковою 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 стискуваної 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 обводненні основи.

Недоліком прийнятої розрахункової моделі є також неурахування стадійності розвитку просадки, відсутність алгоритму вибору найбільш не вигідного положення області замочування відносно будівлі і неурахування 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 підшови 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 розрахунків 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:

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

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).

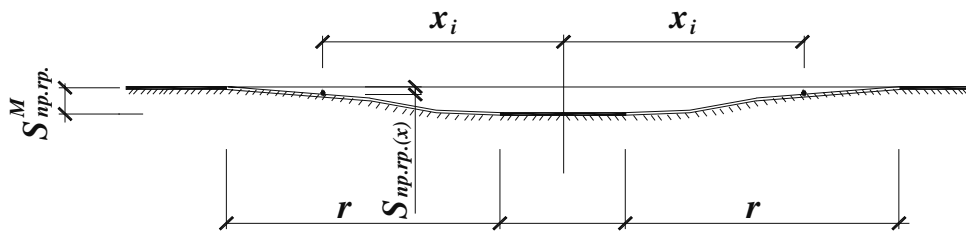


Рис. 1. Крива вертикальних переміщень ґрунту при замочуванні

Величина просадок ґрунтів від їх власної ваги $S_{np.zp.}^M(x)$ на криволінійних ділянках r їх розвитку в плані визначається по формулі:

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

де $S_{np.zp.}^M$ – 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 точки, в якій визначається величина просадки $S_{np.zp.}^M(x)$ (в межах $0 < x < r$), см;

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

$$r = H_{sl} (0,5 + m_{\beta} \cdot tq \beta_l),$$

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

Значення величини $0,5 + m_{\beta} \cdot tq \beta_l$ 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 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 триповерхова з підвалом. Висота приміщень підвалу складає 2,37...2,60 м від рівня підлоги до низу плит перекриття. Висота приміщень 1-го, 2-го та 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 стін 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.

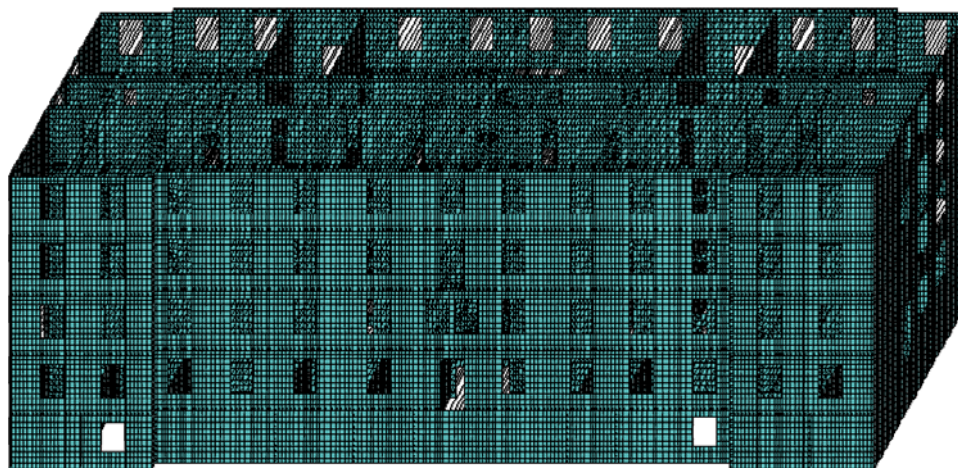


Рис. 2. Розрахункова схема моделі будівлі з врахуванням надбудови додаткового поверху

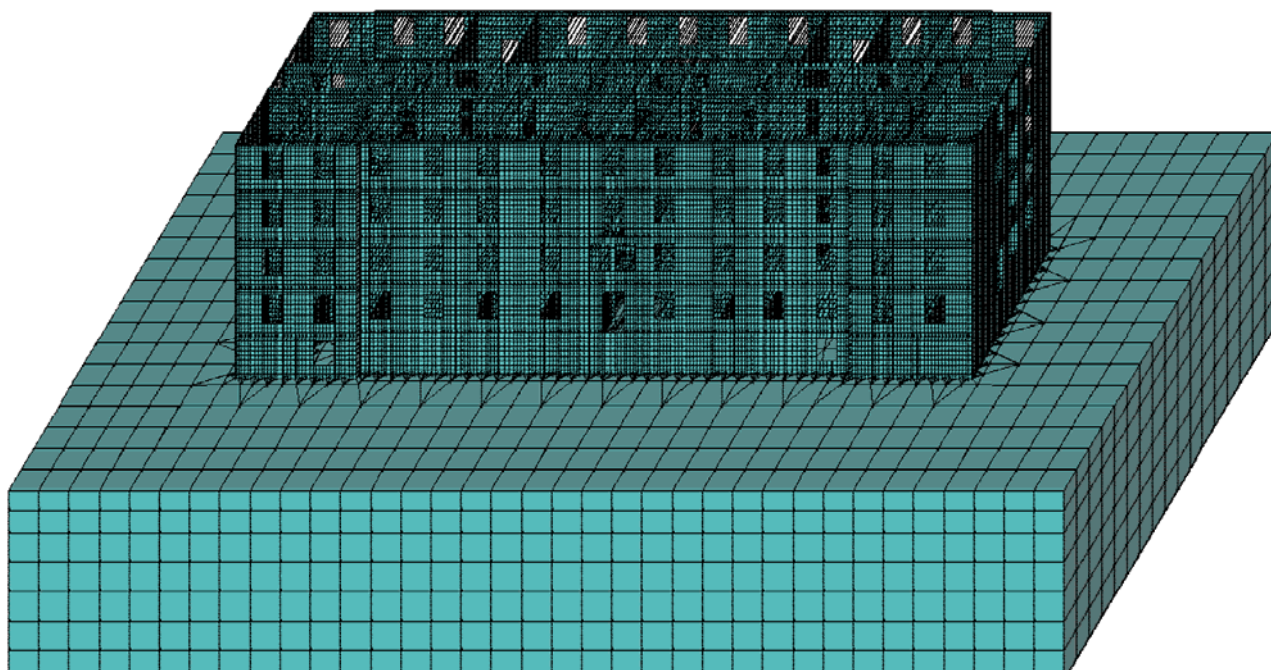


Рис. 3. Розрахункова модель системи «будівля-основа».

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 $S_{пр.зр}^M = 12,9$ см;
- повна величина просідаючої товщі $H_{st} = 9$ 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 подошви 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 стін 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.

Література

1. Крутов В.И., Дьяконов В.П. Расчет просадок лессовых грунтов от собственного веса с учетом формы и размеров увлажненной зоны // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 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 грунтах. – Харьков: ПромстройНИИпроект, 1980. – 49с.
4. Васильковский А.А. К вопросу об изменчивости напряженно-деформированного состояния просадочного массива грунта при локальном замачивании // Проблемы защиты, строительства зданий и сооружений на просадочных грунтах: 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 грунтах. – Киев: Будивельник, 1987. – 200с.
6. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся на

просадочных грунтах 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 грунтах // Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – У 2-х частинах. – Частина II. Будинки і споруди на просідаючих грунтах. – К.: Держбуд України, 2000. – 84 с.

8. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся на просадочных грунтах 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.

Аннотация

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 просадочных деформаций по трехмерной модели, устраняющей недостатки присущие двумерной модели. На примере здание 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 просадочных грунтов основания и разработке комплекса водозащитных мероприятий.

Ключевые слова: расчетная модель, напряженно-деформированное состояние, просадка, деформации грунта, реконструкция, основание.

Annotation

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.

Keywords: calculation model, tense-deformed state, subsidence soil, deformations of soil, reconstruction, the basis.