

*С.А.Кулік, студент кафедри маркшейдерії ДВНЗ «НГУ»
Т.Г.Ніколаєва, кандидат технічних наук, професор кафедри
маркшейдерії ДВНЗ «НГУ»*

АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗ СТІЙКОСТІ СХИЛУ, ВІДВЕДЕНОГО ПІД ЗАБУДОВУ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ З ПІДЗЕМНИМ ПАРКІНГОМ НА ВУЛ. САПЕРНО-СЛОБОДСЬКІЙ (М. КИЇВ)

У виробничій діяльності при забудові важливе місце займає геолого-маркшейдерська служба. Враховуючи той факт, що інформація, яка надається нею, є первинною і складає основу для подальших будівельних процесів, починаючи від проектування і закінчуючи експлуатацією, на неї покладаються функції та обов'язки з аналізу та контролю усіх можливих чинників, що виникають в процесі будівництва.

Одним з найголовніших чинників – є геологічний. Порушеність цілісності масиву, надмірна насиченість ґрунтів вологою, нестійкі породи та такі що не відповідають технічним властивостям як несучі – ось одні з багатьох проблем, з якими зтикаються маркшейдерська та проектна служби у ході будівництва.

Однією з найсерйозніших та найнагальніших проблем стала проблема нестійких порід, які складають земну товщу у місцях будівництва, особливо у схилівій їх частині ділянки.

Для визначення коефіцієнтів стійкості схилу в даний момент розроблено багато методик та способів, але мета у них усіх одна – визначення поведінки тієї або іншої ділянки схилу при її забудові.

В наш час ця проблема набула не аби якої актуальності через те, що у минулі роки активно використовувались ресурси земельного фонду, відведені під будівництво. Через це гостро встало питання земельних ділянок, проектування та будівництва на яких не було б ускладнено геологічними або технічними факторами.

Якщо не враховувати ці фактори споруда буде схильна до руйнування внаслідок черезмірного зсувного тиску, реактивних напружень, які виникають вздовж фундаменту, завищених тангенціальних напружень та інших шкідливих факторів. Руйнування споруди, в свою чергу, може привести до людських жертв, що є недопустимим.

Для встановлення числових значень негативних факторів та усіх фізико-механічних явищ у масиві на ділянці забудови можуть використовуватись такі методики розрахунку стійкості схилів та відкосів:

У практиці проектування застосовуються інженерні методи розрахунку стійкості, що містять різного роду зпрощені припущення. Найбільш поширений з них – метод кругло циліндричних поверхонь ковзання, що відносять до схеми плоского завдання.

Цей метод був вперше застосований К. Петерсоном в 1916 р. для розрахунку стійкості укосів [1-9] (тоді і ще довгий час потім називався методом шведського геотехнічного суспільства).

З інших способів, що використовують круглоциліндричну поверхню ковзання, слід згадати метод круга тертя (прийоми Гультіна і Петерсона, Казагранде, Крея, Тейлор, Гольдштейна, Федорова та ін.), метод багатокутника сил Фреліха, метод Чугаєва-Вяземського, метод Бішопа та ін. Всі вони є порівняно ефективними для оцінки міри стійкості схилів, але важко застосовні для визначення величини зсувного тиску. Те ж слід сказати про методи розрахунку стійкості укусу по кривій ковзання, що має форму логарифмічної спіралі (наприклад, метод Рендуліка).

На практиці даний метод часто ускладнюється невизначеністю в положенні центру обертання O . Його координати, а також радіус r визначаються так, щоб відобразити в розрахунку найбільш не вигідне положення поверхні ковзання, при якому значення коефіцієнта стійкості K_y виходить мінімальним з можливих для даного схилу (укусу). Дуже часто положення центру O встановлюють підбором, шляхом проведення декількох розрахунків для відшукування найбільш небезпечного для даного випадку положення поверхні ковзання. Такий хід розрахунку пов'язаний із значною трудомісткістю. Для аналізу прогнозування стійкості силової частини ділянки що забудовується об'єктом зі пальним типом фундаменту на основі круглоциліндричного методу були проведені розрахунки коефіцієнтів стійкості за п'ятьма інженерно-геологічними розрізами за лініями I-I, II-II, III-III, IV-IV та V-V розвідочного буріння. Нижче приведена таблиця 1 з розрахунковими коефіцієнтами стійкості.

Таблиця 1

Таблиця розрахованих коефіцієнтів стійкості ґрунтів за інженерно-геологічними розрізами

| розріз | коефіцієнт стійкості ґрунтів у природному стані | коефіцієнт стійкості ґрунтів у водонасиченому стані | коефіцієнт стійкості ґрунтів з урахуванням структурного зчеплення | норма |
|---------|---|---|---|-------|
| I - I | 1,282 | 1,12 | 1,038 | 1,2 |
| II-II | 1,52 | 1,269 | 0,98 | 1,2 |
| III-III | 1,575 | 1,283 | 0,9425 | 1,2 |
| IV-IV | 1,468 | 1,286 | 1,177 | 1,2 |
| V-V | 1,434 | 1,208 | 0,92 | 1,2 |

Як видно з таблиці, схил за усіма 5 розрізами з урахуванням структурного зчеплення не має достатнього коефіцієнту стійкості, а у водонасиченому стані ледве його перевищує. Це викликає серйозні проблеми, оскільки неминучим стає формування дзеркал ковзання великої амплітуди (більше 5 метрів). Цей факт є украй негативним для будівництва у зоні схилу, оскільки при його навантаженні можуть виникнути додаткові напруження та зсувні сили. Ці сили будуть діяти на фундамент та усі конструкції що матимуть безпосередній контакт зі схиловою

частиною (підземні майданчики для паркування, електро, газо та водні комунікації, прокладені у зоні виникнення дзеркал ковзання). Нижче приведена частина геологічного розрізу з накресленою на ній зоною дзеркала ковзання (рис.1).

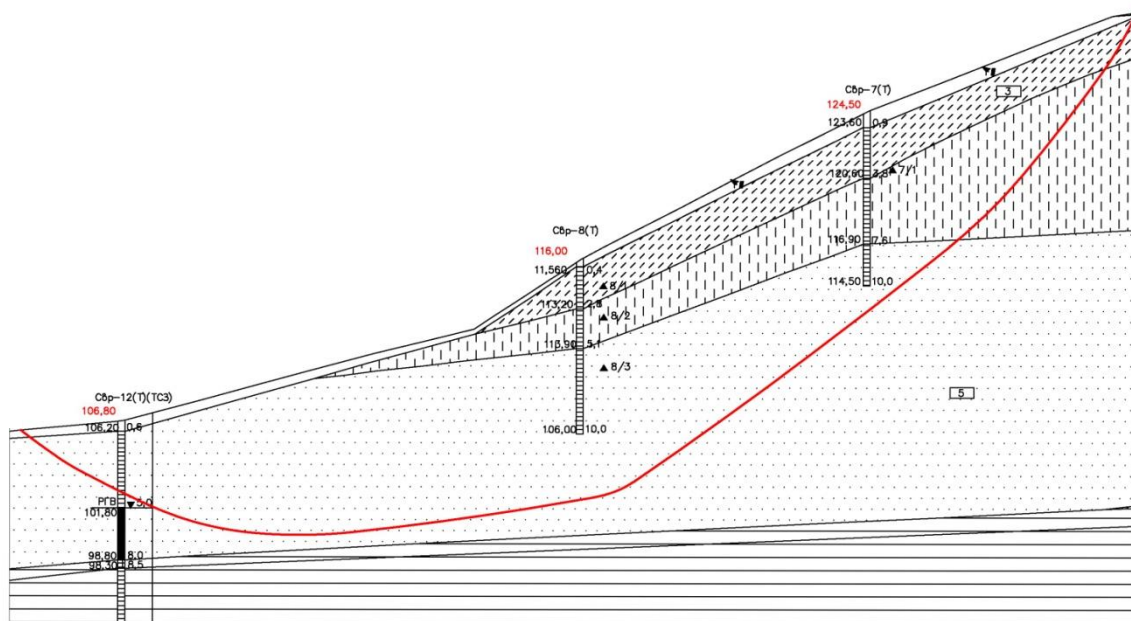


Рис. 1. Зона дзеркала ковзання за одним із інженерно геологічних розрізів.

У результаті розрахунку зон дзеркал ковзання за усіма 5 інженерно-геологічними розрізами було виявлено, що їхні максимальні значення коливаються від 7,3 м (за розрізом IV-IV) до 17,5 – 18 м (за розрізами II-II, III-III та I-I).

Ці розрахунки дозволили зрозуміти – наскільки серйозно ускладнені інженерно-геологічні умови на деяких ділянках.

Крім того, процес виникнення зон дзеркал ковзання посилений присутністю на ділянці 3 водоносних горизонтів потужністю 1 м, 0,7 м та 1,2 м.

Слід також враховувати, що водоносний горизонт, який простягається уздовж усієї силової частини на глибині приблизно 8,5 м – 9 м посилює, а як наслідок, і збільшує розміри зон дзеркал ковзання.

Для більш детального розуміння розповсюдження зон дзеркал ковзання, та, як наслідок, для більшої інформативності був побудований сумісний план топографічної поверхні ділянки забудови та гіпсометричного плану ізопотужностей дзеркал ковзання. Шаг ліній ізопотужностей був прийнятий 5 м.

План був розбитий на зони з різними діапазонами коливань дзеркал ковзання.

Нижче приведена частина плану з зонуванням та різним кольоровим градієнтом (рис.2).

Побудова цього суміщеного плану дозволила локалізувати дві зони з найбільшими величинами вертикальних потужностей (рис. 2, зони 1 та 2), де будь яке будівництво без попередніх інженерно-технічних та геологічних рішень має бути суворо заборонено. Ці зони дислокуються у південно-західній та південно-східній частинах ділянки, та мають амплітуду від 10 до 18,5 метрів

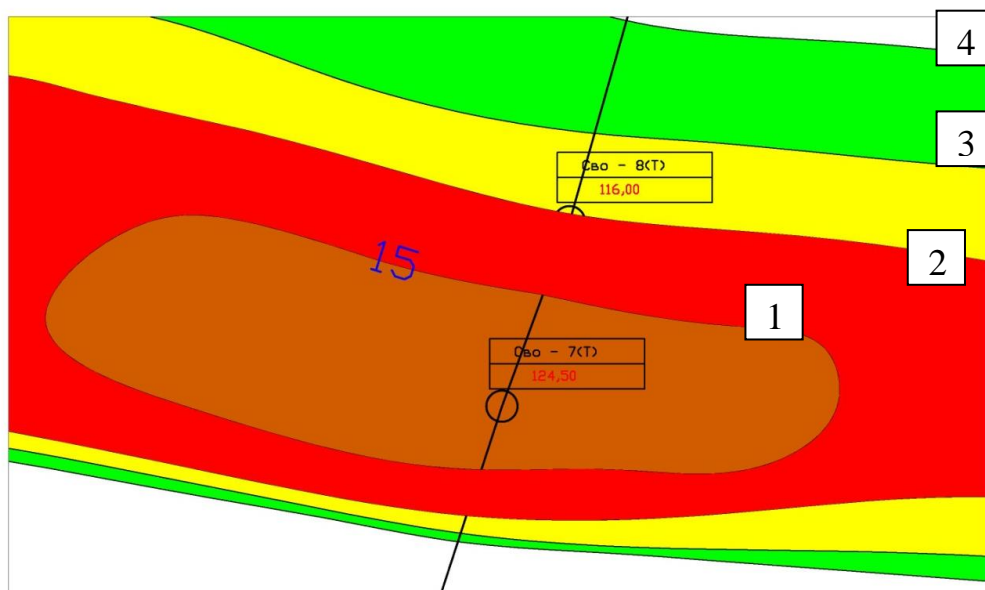


Рис.2 Зони дзеркал ковзання розподілені за амплітудами вертикальних потужностей

Також була виділена відносно безпечна зона 3, що знаходиться майже в середині схилової частини ділянки та має амплітудні коливання від 5 до 7,5 метрів. Однак без інженерно технічних рішень будівництво на цій ділянці також має бути заборонено.

Наступна зона (рис. 2, зона 4), яку можна виділити розбита на 2 частини, що оконтурюють ділянку на півночі та півдні. Амплітуди дзеркал ковзання коливаються в діапазоні від 0 до 5 метрів. У крайовій ділянці з найменшою амплітудою, навіть без використання інженерних рішень можлива прокладка підземних комунікацій, але бажано запровадити водовідведення, оскільки при прориві водогону можливе погіршення стану схилу у цій його частині через водонасичення та зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Головним здобутком у результаті розрахунку, побудови плану ізопотужностей та суміщення і зонування стала можливість локалізовано побачити найбільш проблемні ділянки та величини вертикальних потужностей зон дзеркал ковзання на них. Для проектування таких комунікацій як лінії електропередач, водогони та газогони дана інформація є найважливішою з точки зору їх збереження від руйнування та нормального функціонування.

При забудові об'єктів земельні ділянки яких ускладнені геологічними порушеннями часто будівельники стикаються з такими проблемами: недостатня стійкості поверхневого шару; черезмірні напруження, що виникають у несучих конструкціях в наслідок передачі їх від породного масиву безпосередньо самій конструкції; переміщення як поверхневого шару ґрунту, так і самої конструкції у вертикальній та горизонтальній площинах.

Щоб запобігти таким випадкам потрібно виконувати моделювання таких величин, як нормальні та дотичні напруження і горизонтальні переміщення на стадії проектування будівлі та прилеглих інженерних комунікацій.

Основою для такого моделювання служать дані геологічних вишукувань які повинні виконуватись перед будь яким будівництвом.

Данні геологічних вишукувань на ділянці Леруа-Саперна були отримані в результаті проведення комплексу геологічних робіт, що включали в себе буріння інженерно-геологічних свердловин, видобуток зразків ґрунтів та гірських порід, які складають земну товщу у місці забудови, та їх лабораторне дослідження. Крім того, у 6-ти точках виконувалось дослідження земної товщі методом статичного зондування.

Сукупно це дозволило мати широке уявлення про фізико-механічні властивості земної товщі на ділянці забудови.

Методика розрахунку напружень та переміщень поділяється на аналітичну, спрощену, яка може дати загальну картину без локалізації порушень та на графоаналітичну – більш детальний аналіз.

Методика загального аналізу за площиною розрахунку враховує усереднені властивості земної товщі за усією площею і данні таких розрахунків ні в якій мірі не можуть розглядатись як ті, що відображають дійсність і не можуть прийматись за основу для подальшого проектування.

Точний метод аналізу враховує площу кожної ділянки, що розглядається, її фізико-механічні властивості, рівень ґрунтових вод та, що головне, взаємний вплив усіх складових одне на одне. Ця методика дозволяє набагато точніше виявляти локальні зони порушень, підвищених напружень та можливі зсувні явища.

Моделювання нормальних та дотичних напружень і горизонтального переміщення ґрунтів виконувалось у програмному комплексі «ЛІРА» та конкретно у його модулі «СКЛОН».

Програмний комплекс «ЛІРА» має багато регульованих параметрів за якими і проводиться моделювання схилу. Одним з основних параметрів є площа мінімальної ділянки, на якій проводиться моделювання. Для розрахунку напружень та переміщень нами було вибрано величину $0,1\text{m}^2$ за для детального аналізу явищ, що виникають у схилі за лініями інженерно геологічних розрізів.

Було проведено моделювання та побудовано 12 вертикальних розрізів за 4 лініями (I-I, II-II, III-III, IV-IV). Моделювання за лінією V-V не проводилось, так як схилова частина за розрізом зменшується і на цій ділянці забудова не передбачається.

Нижче приведені у якості прикладів частини модельованих розрізів за лінією I-I (рис. 3, 4, 5)

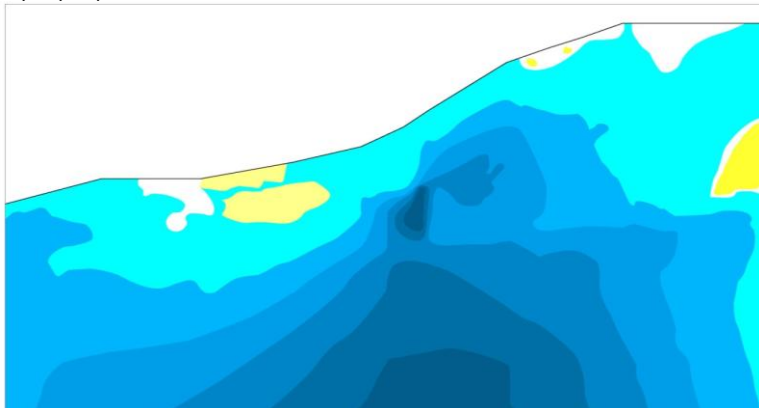


Рис.3 Дотичні напруження у схилівій частині за лінією I - I

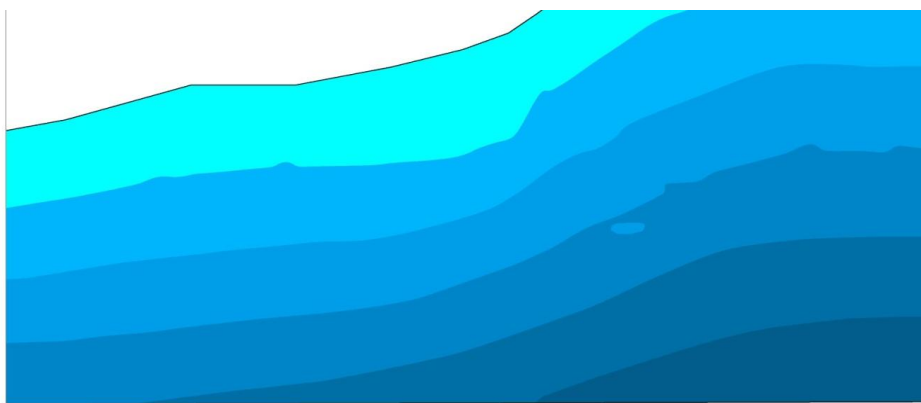


Рис.4 Нормальні напруження у схилівій частині за лінією I - I

В ході моделювання було виявлено багато локальних зон з підвищеними значеннями дотичних напружень, що дуже негативно могло би вплинути на спайний фундамент проектованого об'єкту.

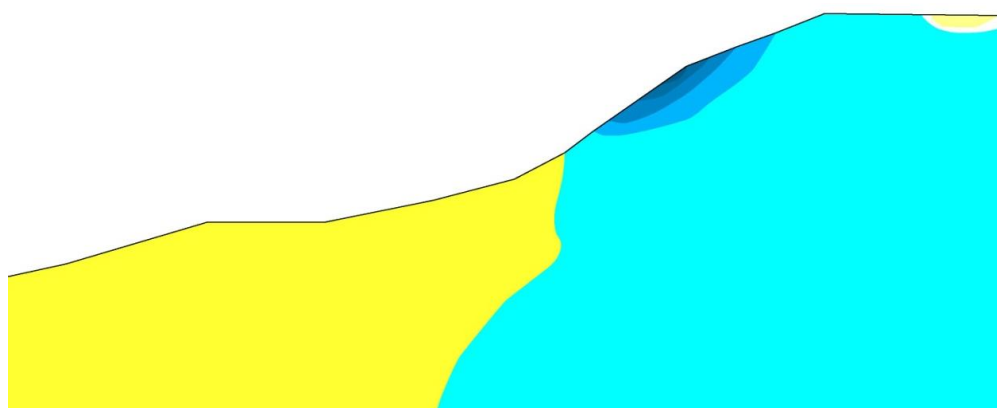


Рис.5 Горизонтальні переміщення ґрунту силової частини за розрізом I-I

У більшості випадків максимальні значення дотичних напружень виникають на місці, де закінчуються зони дзеркал ковзання та починається перший водоносний шар. Ці два фактора при поєднанні багатократно посилюють величини дотичних напружень.

При моделюванні було отримано як позитивні, так і негативні числові значення напружень (табл. 2).

Таблиця 2

Значення дотичних, нормальних напружень та горизонтальних переміщень ґрунту

| | Розріз I-I | Розріз II-II | Розріз III-III | Розріз IV-IV |
|----------------------------------|---|---|---|---|
| Дотичні напруження | -10,1 т/м ² +6,86т/м ² | -14,3 т/м ² +2,06т/м ² ; | -15,8 т/м ² +1,83т/м ² ; | -18,3 т/м ² +13,8т/м ² ; |
| Нормальні напруження | -103т/м ² +0,156т/м ² | -88,1т/м ² +0,02т/м ² | -106т/м ² +0,125т/м ² | -107т/м ² +0,263т/м ² |
| Горизонтальні переміщення ґрунту | -47,7мм +4,33мм | -23,1мм +4,1мм | -34,7мм +5,14мм | -34,3мм +5,12мм |

Була відмічена одна особливість. При моделюванні дотичних напружень та горизонтальних переміщень в зоні, яка є прикордонною між позитивними та негативними значеннями виникає так звана «зона розвантаження», у якій значення дорівнюють нулю. Величина цієї зони прямо залежить від порід, що складають земну товщу. Чим менша об'ємна вага породи та крутіший кут внутрішнього тертя, тим більша площа цієї зони.

З нормальними напруженнями спостерігається інша картина. Вони за великим рахунком мають хвилеподібний характер і розповсюджуються вздовж усього схилу, повторюючи його контур, але на ділянках сполучення різних порід є тенденція до скачкоподібного збільшення величини напруження.

За результатами моделювання було визначено величини максимальних та мінімальних значень за розрізами:

Результати цього моделювання можуть служити надійною основою для подальшого проектування місця забивки паль, щоб оминати зони підвищених напружень та горизонтальних переміщень, можливі зони проектування інженерних комунікацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фисенко Г.Л., Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Изд-во «Недра», 1965.
2. Управление состоянием массивов на открытых разработках/Копач П.И., Краснопольский И.А., Полищук С.З., Шапарь А.Г.-Киев: Наук. думка, 1998.-248 с.
3. Григоренко А.Г Измерение смещений оползней. - М.: Недра, 1988.-142с.
4. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000.-464с.
5. Зуска А.В., Николаева Т.Г. Определение и классификация факторов, формирующих динамику оползневых процессов в регионе города Днепропетровск // Сборник научных трудов НГУ №17, том 2.-Днепропетровск.: РИК НГУ, 2003.С.509-515.
6. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Министерство угольной промышленности СССР, Всесоюзный научно - исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела.- М.: Недра, 1987.240с.
7. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин, Г. И. Герасименко, А. Г. Акимов и др. – 3-е изд., перераб. и доп. М., «Недра», 1981. 704с.
8. Устойчивость бортов и осушение карьеров. Учебник для вузов. М., Недра, 1982, 165 с.
9. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов. – В двух частях/Под ред.И.Н. Ушакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – Часть 2/А.Н. Белоликов, В.Н. Земисев, Г.А. Кротов и др. – 437 с.:ил.