

С.В. БІДА, к.т.н., доц.,

О.В. КУЦ, аспірант,

К.В. ПІДРІЙКО, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

УДК 624.131.23; 624.131.537

## ВПЛИВ УЛОГОВИН НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

*Ключеві слова: забивні призматичні палі, улоговини, лесові ґрунти, характеристики міцності..*

*Проаналізовано причини невідповідності значень несучої здатності забивних призматичних палей, визначених за результатами статичних випробувань та аналітичним методом. Рух потоків ґрунтових вод по улоговинах у покрівлі водотривкого шару призводить до зменшення характеристик міцності лесових ґрунтів, а отже, і до зменшення несучої здатності палевих фундаментів.*

*Проанализированы причины несоответствия значений несущей способности забивных призматических свай, определенных по результатам статических испытаний и аналитическим методом. Движение потоков грунтовых вод по ложбинам в кровле водоупора приводит к уменьшению характеристик прочности лесовых грунтов, а следовательно, и к уменьшению несущей способности свайных фундаментов.*

*The reason of nonconformity of knock-prismatic piles bearing capacity, which was being defined as a result of static testing and analytical method was analyzed in this article. The flow of ground water in the hollows in the impermeable layer leads to reduce of loess soils strength characteristics, which in turns leads to decrease of pile foundation bearing capacity.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Рельєф території України досить різноманітний, однак слід зауважити, що значну частину території можна охарактеризувати як рівнинну. Характерною особливістю є те, що у формуванні рельєфу велику роль відіграють ріки. Річкові долини у більшості випадків широкі, мають різко асиметричну будову: правий схил їх крутий, високий, лівий – пологий. Через схили річкових долин відбувається розвантаження ґрунтових вод із плато. За рахунок постійного впливу потоку ґрунтових вод зменшуються характеристики міцності

лесових ґрунтів [1], розвиваються явища суфозії, що в свою чергу призводить до розвитку зсувних явищ на схилах [2, 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** Аналізуючи характер виходу ґрунтових вод на схил, можна зробити висновок, що рух ґрунтових вод відбувається по улоговинах – пониженнях у покрівлі водотривкого шару [4, 5, 6, 7].

Під улоговинами звичайно розуміють неглибоке пониження рельєфу (у нашому випадку – покрівлі водотривкого шару) у плані з ухилом вздовж осі. Улоговини не мають чітко вираженої бровки, мають невеликий кут нахилу відносно горизонту і плавно переходять до дна чи вододільного простору. Однак внаслідок тих чи інших геологічних чи антропогенних процесів параметри утворення, яке ми називаємо улоговиною, можуть змінюватися в дуже широких межах. Різноманітні за походженням улоговини можуть з'являтися в місцях розташування древніх зсувів внаслідок розмивання поверхні водотриву в процесі формування відкладів,



Рис. 1. Схема розміщення ділянки під забудову:  
1 – ділянка під забудову



людської діяльності, в результаті розмивання товщі відкладів поверхневими текучими водами аж до глибини розміщення водотриву. Улоговини можуть розміщуватись безпосередньо на схилі або на плато з виходом на схил, також можливе знаходження улоговини на плато без виходу на схил [5, 6, 8]. Улоговини можна спостерігати як на відкритих територіях – яри і балки з виходом корінних порід на бортах, так і під шаром делювіально-пролювіальних відкладів або у покрівлі водотривкого шару, заповнені антропогенними чи природними відкладами, що утворились пізніше.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** Таким чином, можна зробити висновок, що вплив потоків ґрунтових вод проявляється не лише на схилах, а і на територіях, розміщених поблизу схилів за наявності улоговин. За рахунок ослаблення лесових ґрунтів несуча здатність фундаментів зменшується, будівлі і споруди, розміщені поблизу схилів, отримують додаткові деформації. Особливо активно ці процеси розвиваються в останні десятиліття, що пов'язано з різким підвищенням рівня ґрунтових вод у містах України. Тому виникла необхідність аналізу зміни характеристик лесових ґрунтів під впливом потоків ґрунтових вод з метою прогнозування зміни несучої здатності фундаментів, влаштованих у таких умовах, що і було прийнято за мету наших досліджень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження геологічних умов Центрального регіону України показали, що лесові породи (світло-жовтого кольору) чергуються з відкладами лесовидних порід (переважно темного, коричневого забарвлення) і в переважній більшості підстиляються червоно-бурими глинами, які служать водотривом. Чергування нашарувань геологічних порід пояснюється змінами льодовикових періодів стадіями потепління клімату Землі і навпаки. Кожного разу внаслідок танення льодовиків під час зростання температури на території України розвивалася система рік, струмків, які формували рельєф шляхом ерозії та перевідкладання порід, сформованих раніше. Діяльність таких поверхневих вод дала можливість для формування балочних систем різної глибини на поверхні кожного відкладу лесовидних ґрунтів. Але під час наступного періоду зледеніння утворені заглиблення заповнювались лесовими відкладами різної товщини, вирівнюючи поверхню. Таким чином, аналізуючи інженерно-геологічну будову тієї чи іншої території, можна зустріти прадавні пониження рельєфу, заповнені лесовим ґрунтом, у вигляді прихованих балок – улоговин, які зустрічаються не лише на схилах, а і на плато. Особливу увагу треба звернути на улоговини у водотривкому шарі, поховані наступними шарами ґрунту. По таких улоговинах рух ґрунтових вод здійснюється значно швидше, ніж на плато, тому ґрунти в улоговині (особливо леси) знаходяться під впливом інтенсивного потоку ґрунтових вод. Отже, суфозійні процеси, перехід лесових ґрунтів у текучий стан відбувається швидше. Зменшення характеристик лесового ґрунту спричиняє втрату несучої здатності основи на місці прихованої улоговини. Тому наявність таких заглиблень може значно впливати на особливості експлуатації будівель і споруд за рахунок різної несучої здатності основи в межах одного будівельного майданчика.

Як приклад можна навести ділянку будівництва по вулиці Чорновола, 26 у м. Полтава (рис. 1).

Рельєф цієї території рівнинний з невеликим ухилом  $i=0,025$  на схід, суттєво змінений діяльністю людини. У межах майданчика розповсюджені насипні ґрунти товщиною до 3,5 м. На період вишукувань на майданчику знахо-

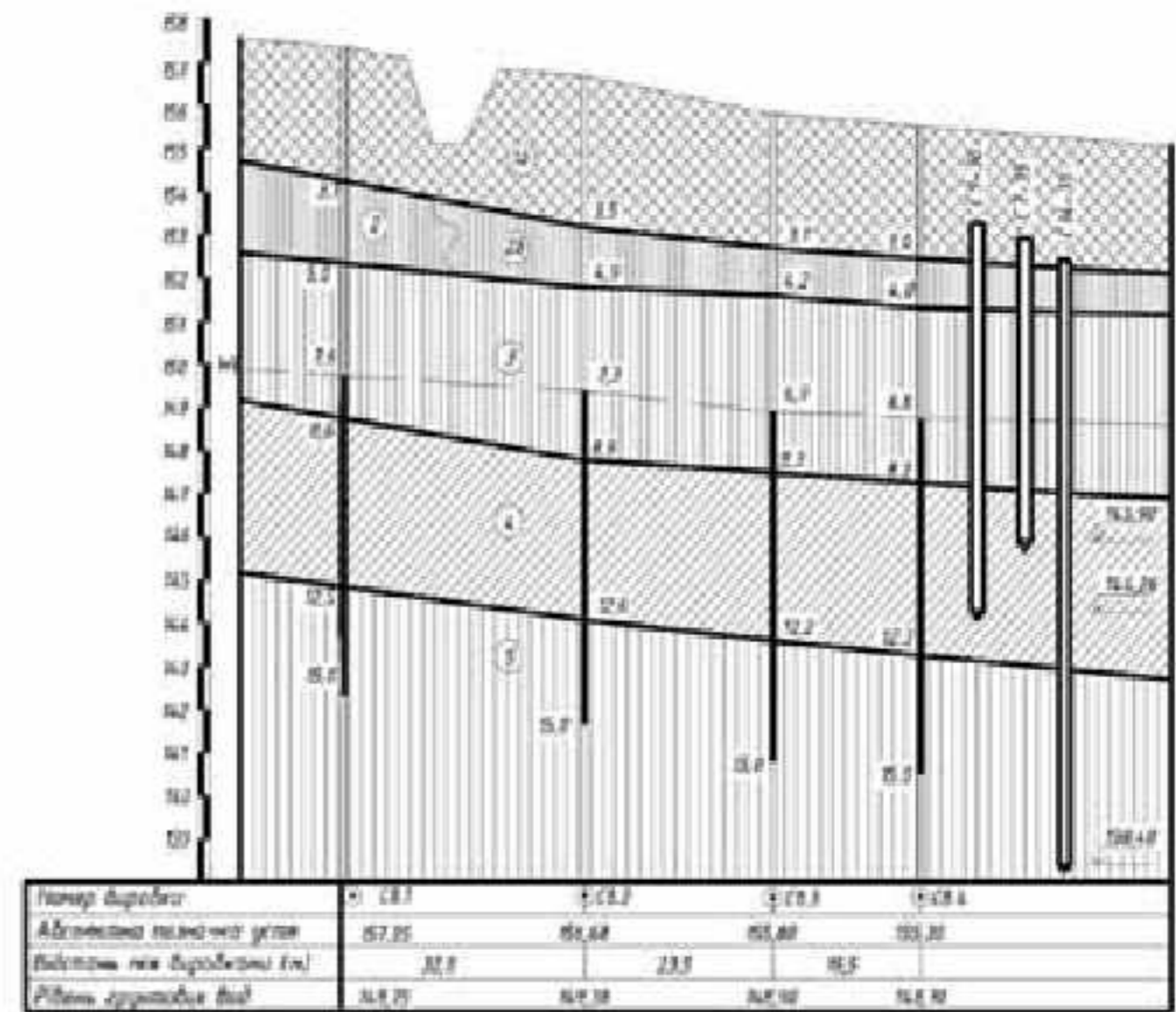


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз по вул. Чорновола, 26 у м. Полтава.

дились відкопані котловани глибиною до 2,5 м. Абсолютні позначки поверхні землі на період проведення інженерно-геологічних вишукувань склали – 156,00 – 157,00 м, а позначки поверхні дна котловану – 154,00 м.

На ділянці близько 20 років тому вже проводились інженерно-геологічні вишукування. Однак внаслідок різних причин будівництво не розпочалося. Після відновлення будівництва було прийнято рішення про виконання додаткових інженерно-геологічних досліджень на майданчику, оскільки попередні вишукування були проведені досить давно і стали застарілими. Глибина свердловин була прийнята 15 м.

У геологічній будові ділянки приймає участь потужна товща глинистих відкладів четвертинного періоду еолово-делювіального походження.

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю постійного безнапірного водоносного горизонту ґрунтового типу, водовміщуючими породами для якого служать легкі лесові суглинки. Розвантаження ґрунтових вод відбувається у бік балки, розташованої на схід від майданчика. Живлення горизонту інфільтраційне, посилене витокami з водонесучих комунікацій міста. Рівень ґрунтових вод на момент вишукувань складав 6,10 – 7,60 м від поверхні землі.

У межах ділянки було виділено наступні інженерно-геологічні елементи (інженерно-геологічний розріз представлений на рис. 2): ІГЕ-1а – насипні ґрунти; ІГЕ-2 – суглинки лесові, жовто-бурі, карбонатні, високопористі, напівтверді, просадочні; ІГЕ-2а – суглинки лесові, жовто-бурі, карбонатні, тугопластичні; ІГЕ-3 – суглинки легкі (леси), палево-жовті, карбонатні, високопористі, м'якопластичні; ІГЕ-4 – суглинки важкі, тонкошарові, сіро-коричневі, карбонатні, низькопористі, тугопластичні; ІГЕ-5 – суглинки легкі (леси), жовті, карбонатні, низькопористі, м'якопластичні.

За даними інженерно-геологічних вишукувань, ІГЕ-5 має такі характеристики:  $\varphi=28^\circ$ ;  $c=7$  кПа;  $E=9$  МПа.

На рис. 3 приведений фрагмент карти поверхні водотривкого шару, отриманий за результатами інженерно-геологічних вишукувань. Як бачимо, на ньому чітко простежується наявність пониження – улоговини, причому на поверхні ділянки відсутні ознаки, які б вказували на таку особливість геологічної будови. При проведенні інженерно-



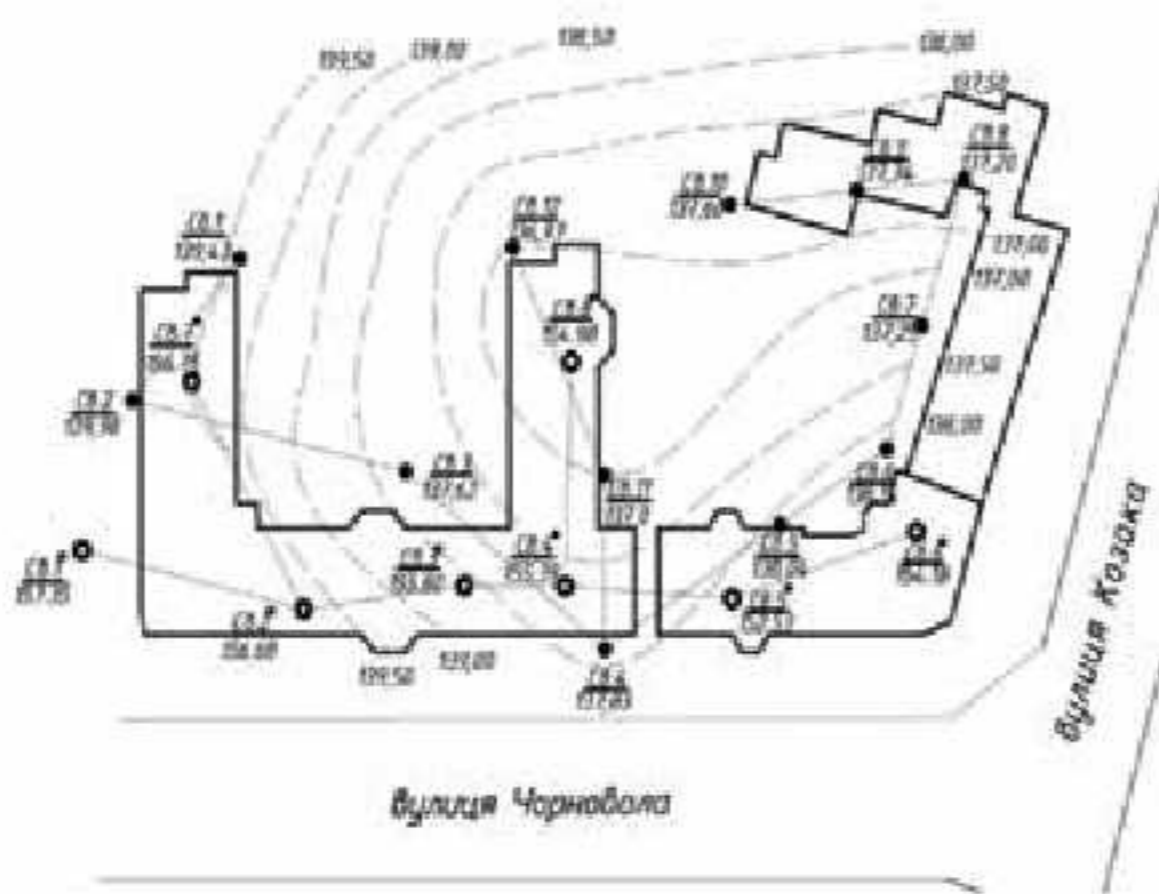


Рис. 3. Карта поверхні водотривкого шару на майданчику по вул. Чорновола, 26: • – свердловини попередніх вишукувань (позначка покривлі водотриву); ○ – свердловини повторних вишукувань (позначка устя свердловини)

геологічних вишукувань на ділянці будівництва по вул. Чорновола, 2 б, ґрунтові води було виявлено на різній глибині. Напрямок ґрунтових вод відповідає ухилу улоговини у водотривкому шарі. Таким чином, можна зробити висновок, що ПЕ-5 перебуває під тривалим впливом потоку ґрунтових вод.

Фактично відібрати зразки ґрунту природної структури, а отже, і визначити його характеристики в таких умовах неможливо. У такому випадку найчастіше відбирають зразки з генетично спорідненого ґрунту, що знаходиться вище рівня ґрунтових вод, проводять їх випробування і визначені характеристики міцності розповсюджують на всю товщу ґрунту даної території. Такий підхід призводить до неправильних висновків щодо характеристик міцності ґрунту, а отже, і до висновків стосовно стійкості основи, оскільки міцнісні характеристики мають дещо завищене значення, бо не враховують постійний вплив потоку ґрунтових вод на масив лесового ґрунту в улоговині.

На ділянці, виділеній для будівництва по вулиці Чорновола, 26, планувалося зведення 9-поверхового житлового будинку. Фундаменти під будівлю планувалися неглибокого закладання, але у зв'язку з неефективністю таких фундаментів за наявності слабких ґрунтів вирішили обрати фундаменти на забивних призматичних палях. Розглядалося декілька варіантів забивних призматичних паль (за довжиною), вертикальна прив'язка яких представлена на інженерно-геологічному розрізі (рис.2).

Вістря паль С7-35 та С9-30 занурені в ПЕ-4 – важкий суглинок, однак, вважаючи, що ці палі будуть мати низьку несучу здатність, для її збільшення рекомендовано було розглянути варіант фундаментів на забивних призматичних палях С14-35. Така паля проходить ПЕ-4 та занурена в ПЕ-5 – лесовий ґрунт.

Статичні випробування паль, проведені на майданчику, показали, що несуча здатність палі С14-35 виявилася майже однаковою з палями С9-30 (таблиця 1). Необхідно

Таблиця 1. Несуча здатність паль за результатами статичних випробувань на майданчику по вул. Чорновола, 26

Палі	№1 С-7-35	№2 С-7-35	№3 С-14-35	№4 С-9-30	№5 С-9-30	№6 С-9-30
Несуча здатність, кН	295	270	420	405	440	395

було визначити причину низької несучої здатності, тому виникло питання відповідності характеристик міцності ПЕ-5, отриманих за результатами інженерно-геологічних вишукувань, дійсним. Тим більше, що за результатами аналітичних розрахунків несуча здатність була значно вища. Для перевірки цієї гіпотези було проведено моделювання статичних випробувань забивних призматичних паль на майданчику будівництва. Для виконання розрахунків було складено розрахункові схеми розміром 6 м × 6 м × 15 м для паль довжиною 7 м та 9 м і 6 м × 6 м × 20 м для палі 14 м. Характеристики інженерно-геологічних елементів, їх товщина, рівень ґрунтових вод відповідають даним інженерно-геологічних вишукувань. Умови моделювання несучої здатності паль у програмному комплексі були максимально наближені до статичних випробувань паль у природних умовах на майданчику. Було задано три фази розрахунку: генерування початкових умов, забивання паль та прикладення навантаження. Навантаження на палю прикладалося ступенями до повної втрати несучої здатності. Отримані результати представлені на рис. 4.

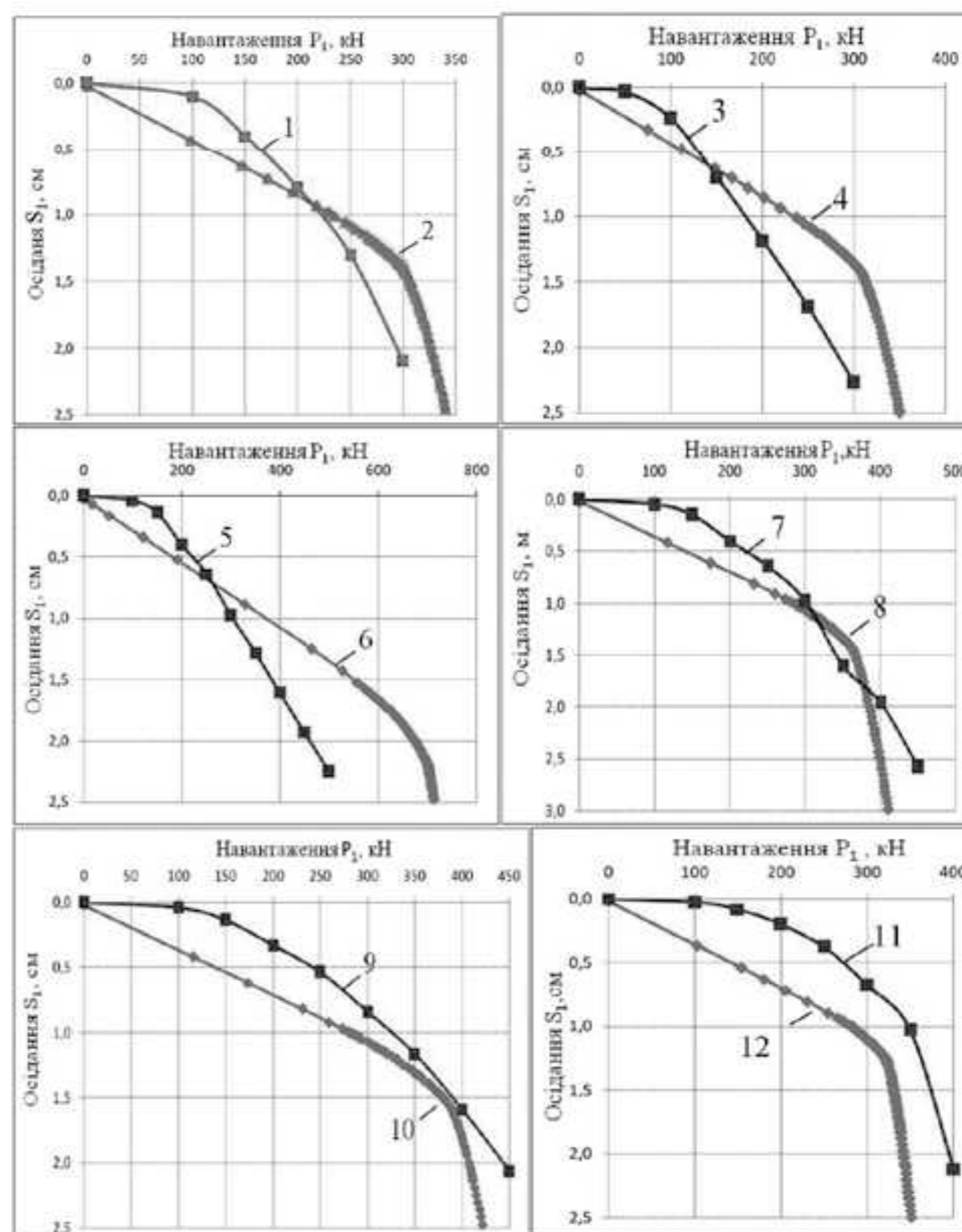


Рис. 4. Результати статичного випробування паль та моделювання за допомогою програмного комплексу PLAXIS: графіки 1, 3 – паля С 7-35; графік 5 – паля С 14-35; графіки 7, 9, 11 – паля С 9-30 за результатами статичного випробування; графіки 2, 4 – паля С 7-35; графік 6 – паля С 14-35; графіки 8, 10, 12 – паля С 9-30 за результатами моделювання у програмному комплексі PLAXIS

Провівши аналіз, можна відзначити доволі добру відповідність результатів моделювання та випробувань паль С7-35 та С9-30. При порівнянні слід також враховувати, що остання ступінь навантаження, при якій осідання палі досягається 2 см, не доводилось до стабілізації з умови подальшого використання паль. Різниця у значеннях несучої здатності паль, визначених цими способами, складає 9 – 15%. Несуча здатність палі С14-35, отримана



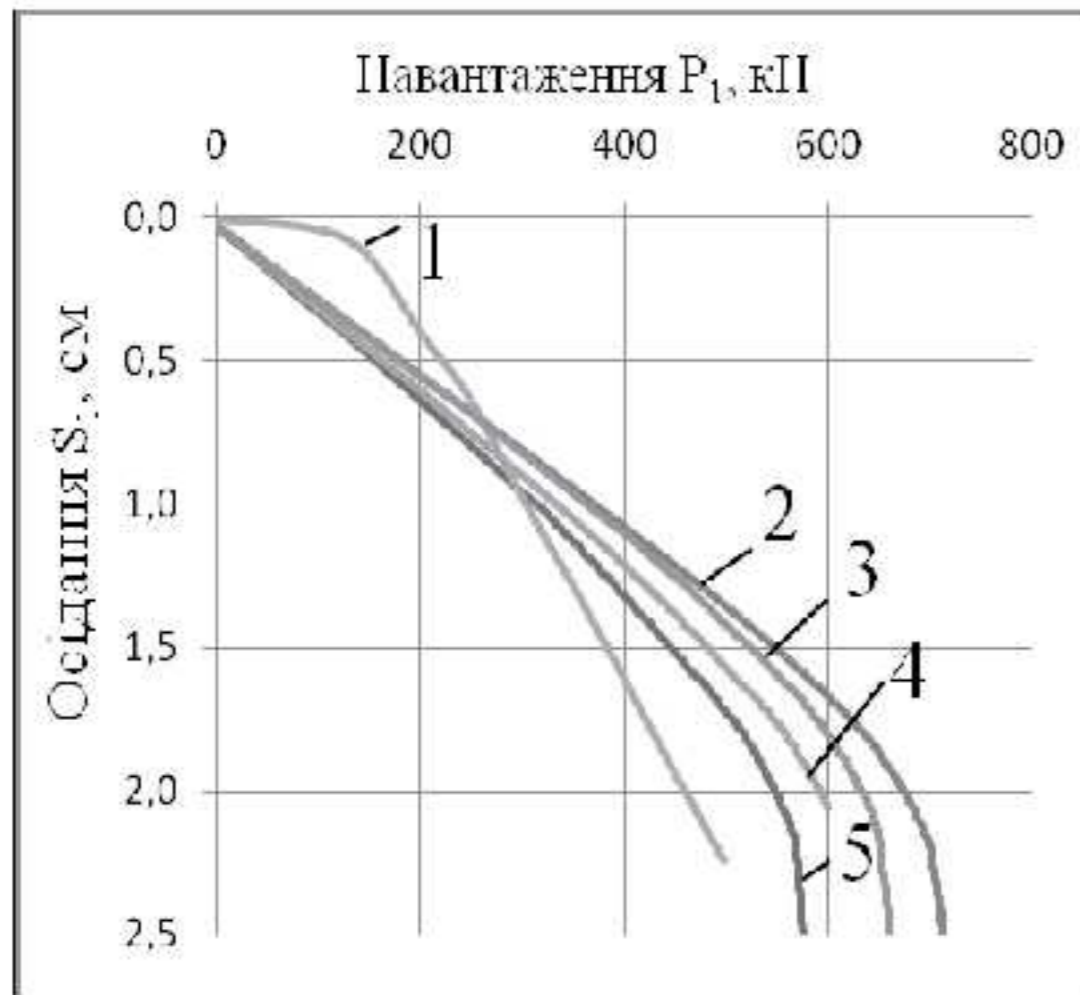


Рис. 5. Порівняння графіка залежності осідання палі С 14-35 від навантаження за результатами статичного випробування та за результатами моделювання в програмному комплексі PLAXIS з різними характеристиками ПЕ-5:

- 1 – графік за результатами статичного випробування палі С 14-35;
- 2 – графік за результатами моделювання з характеристиками  $\varphi=28^\circ$ ,  $c=7$  кПа;
- 3 – те ж, з характеристиками  $\varphi=24^\circ$ ,  $c=5$  кПа;
- 4 – те ж, з характеристиками  $\varphi=20^\circ$ ,  $c=3$  кПа;
- 5 – те ж, з характеристиками  $\varphi=14^\circ$ ,  $c=2$  кПа.

за результатами моделювання в програмному комплексі PLAXIS, становить 676 кН, тоді як за результатами статичних випробувань вона складає 460 кН.

Така невідповідність спричинена тим, що характеристики міцності ПЕ-5 (куди занурено вістря палі С14-35), які були взяті для розрахунку несучої здатності палей, значно завищені і не відповідають дійсним міцносним характеристикам цього ґрунту. Причина невідповідності дійсних характеристик міцності ґрунту та розрахункових у тому, що рух ґрунтових вод по улоговинах спричинив замокання лесової товщі, що не було враховано при розрахунках визначення характеристик міцності ґрунту.

Для визначення дійсних характеристик міцності ПЕ-5 було використано метод підбору при моделюванні випробувань С14-35 у програмному комплексі PLAXIS. Отримані результати зображені на рис. 5.

Характеристики міцності ПЕ-5, а саме кут внутрішнього тертя та питоме зчеплення за результатами інженерно-геологічних вишукувань, становили  $\varphi=28^\circ$  та  $c=7$  кПа відповідно. Методом підбору їх зменшували наступним чином:  $\varphi=24^\circ$ ,  $c=5$  кПа,  $\varphi=20^\circ$ ,  $c=3$  кПа,  $\varphi=14^\circ$ ,  $c=2$  кПа. Найбільш наближеними до реальних умов виявились результати моделювання з характеристиками  $\varphi=14^\circ$ ,  $c=2$  кПа.

#### ВИСНОВКИ:

1. Улоговини, що утворились у покрівлі водотривкого шару і заповнені лесовими, лесоподібними, делювіальними чи антропогенними ґрунтами, є місцями, через які відбувається розвантаження ґрунтових вод з плато на схили річкових долин.
2. Наявність улоговин змінює гідрогеологічні умови, створюючи умови для швидкого руху потоку ґрунтових вод, що спричиняє виникнення суфозії лесових ґрунтів, їх перехід у текучопластичний чи текучий стан і, як наслідок, зменшення характеристик міцності цих ґрунтів.
3. У зв'язку з труднощами відбору зразків ґрунту непорушеної структури нижче рівня ґрунтових вод під час проведення інженерно-геологічних вишукувань для визначення характеристик міцності, такі характеристики (екстрапольовані з генетично однорідних ґрунтів) мають завищене значення і призводять до неправильних висновків щодо міцності основи.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біда, С.В. Вплив режиму ґрунтових вод на зміну характеристик міцності лесового ґрунту / С.В. Біда, О.В. Куц, К.В. Підрійко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 533 – 540.
2. Біда, С.В. Підтоплення Полтави та його вплив на розвиток зсувних процесів / С.В. Біда, Ю.Й. Великодний. // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. – Вип. 61. – К.: НДІБК, 2004. – Т. 2. – С. 275 – 278.
3. Беда, С.В. Причини розвитку оползневих процесів на схилах, складених лесовими ґрунтами. / С.В. Беда // Вісник Одеської держ. акад. буд. та арх. – Вип. №36. – Одеса: ОДАБА, 2009. – С. 52 – 57.
4. Особливості розвантаження ґрунтових вод Полтавського плато / Ю.Й. Великодний, С.В. Біда, А.М. Ягольник, Б.М. Петер, М.П. Кашликов // Нагальні питання вирішення проблеми підтоплення ґрунтовими водами територій міст та селищ міського типу: матеріали 2-ї міжнар. наук.-практ. конф. (28 – 31 жовтня 2003 р., Харків). – К.: Знання, 2003. – С. 53 – 56.
5. Великодний, Ю.Й. Улоговини зсувних схилів Полтавського плато та їх різновиди / Ю.Й. Великодний, С.В. Біда, А.М. Ягольник // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Вип. 50. – Днепропетровск, ПГАСА, 2009. – С. 86 – 89.
6. Біда, С.В. Класифікація улоговин Полтавського лесового плато / С.В. Біда, Ю.Й. Великодний, А.М. Ягольник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наук. праць. – Випуск 18. – Рівне, 2009. – С. 548 – 553.
7. Беда, С.В. Причини розвитку оползневих процесів на схилах, складених лесовими ґрунтами / С.В. Беда // Вісник Одеської держ. акад. буд. та арх. – Вип. №36. – Одеса: ОДАБА, 2009. – С. 52 – 57.
8. Біда, С.В. Особливості зсувних процесів на схилах річкових долин / С.В. Біда // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Вип. 75: у 2-х кн. Кн. 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 371 – 377.