

Т.В. Кріль

ЯВИЩЕ РОЗРІДЖЕННЯ У ГРУНТАХ ТА ФАКТОРИ, ЩО НА НЬОГО ВПЛИВАЮТЬ

T.V. Kril

PHENOMENON OF LIQUEFACTION IN SOILS AND FACTORS WHICH INFLUENCE ON IT

Saturated dispersible soils even at insignificant dynamic actions can be diluted. Thus the array of soil can fully lose stability and acquire properties of viscous liquid. It is investigational and physics of the phenomena of rarefaction of the saturated soils is explained in detail. The basic criteria of estimation of stability are set. Factors which influence on ability of soils to be diluted are resulted

Key words: saturated soils, dynamic influence, liquefaction, porosity, consolidation.

Водонасыщенные дисперсные грунты даже при незначительных динамических действиях могут разжижаться. При этом массив грунта может полностью терять устойчивость и приобретать свойства вязкой жидкости. Исследовано и подробно разъяснено физику явлений разрежения водонасыщенных грунтов. Установлены основные критерии оценки устойчивости. Приведены факторы, которые влияют на способность грунтов разжижаться

Ключевые слова: водонасыщенные грунты, динамическое воздействие, разжижение, пористость, уплотнение.

ВСТУП

Складна природа ґрунтів визначає труднощі у кількісній оцінці їх поведінки в якості основ, середовища або матеріалу споруд. При цьому необхідними є уявлення про поведінку не тільки окремих компонентів цієї складної системи, але й взаємозв'язків та взаємодії фаз, властивостей та явищ як результату цієї взаємодії. Закономірності поведінки ґрунтів при дії на них динамічних навантажень є актуальною проблемою, особливо щодо територій, в межах яких розповсюджені слабкі ґрунти. Розрідження при-таманне як глинистим, так і піщаним ґрунтам, найчастіше спостерігається у піщано-глинистих. Вивченню цього явища присвячені роботи М.М. Маслова, В.А. Флоріна, М.Н. Гольдштейна, П.Л. Іванова, Е.А. Вознесенського та ін.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Під розрідженням (liquefaction) розуміють перехід ґрунту у текучий стан незалежно від причин — статичне або динамічне навантаження, підйом рівня ґрунтових вод, виникнення значних градієнтів напору.

Розрідження під впливом динамічного навантаження являє собою перехід водонасиче-

них дисперсних ґрунтів у текучий стан у результаті руйнування структурних зв'язків під дією хвиль коливань.

За даними П.Л. Іванова [4], весь процес розрідження складається з таких стадій: 1) руйнування структури ґрунту; 2) власне розрідження незв'язного ґрунту; 3) ущільнення ґрунту. Розглянемо детальніше кожен із цих стадій (рис. 1).

Процес розрідження відбувається при руйнуванні структури ґрунту. Руйнування структури іде шляхом зсуву одного шару частинок відносно іншого, контакти між частинками втрачаються (рис. 1, б). У такому стані не відбувається передачі між частинками ґрунту тисків від власної ваги частинок або зовнішнього навантаження. Пористість при цьому залишається тією ж, змінюється взаємне розташування частинок. Загалом, система набуває здатності текти. У випадку повного розрідження ґрунту (структура зруйнована повністю) новоутворену масу можна уявити в якості суспензії (частинки ґрунту зважені у воді).

На наступному етапі частинки, розташовані вище, під дією власної ваги прагнуть спуститися до нижче розташованих, утворюється більш щільна упаковка частинок (рис. 1, в). Зміню-

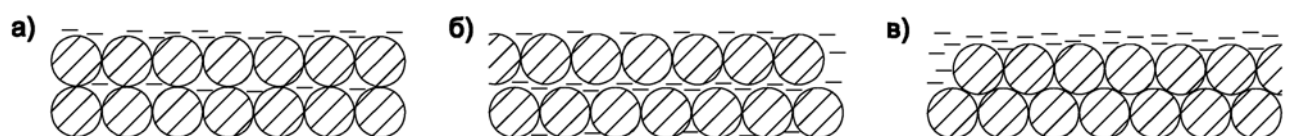


Рис. 1. Схема переходу незв'язних водонасичених ґрунтів у розріджений стан (на прикладі умовної моделі) за [4]

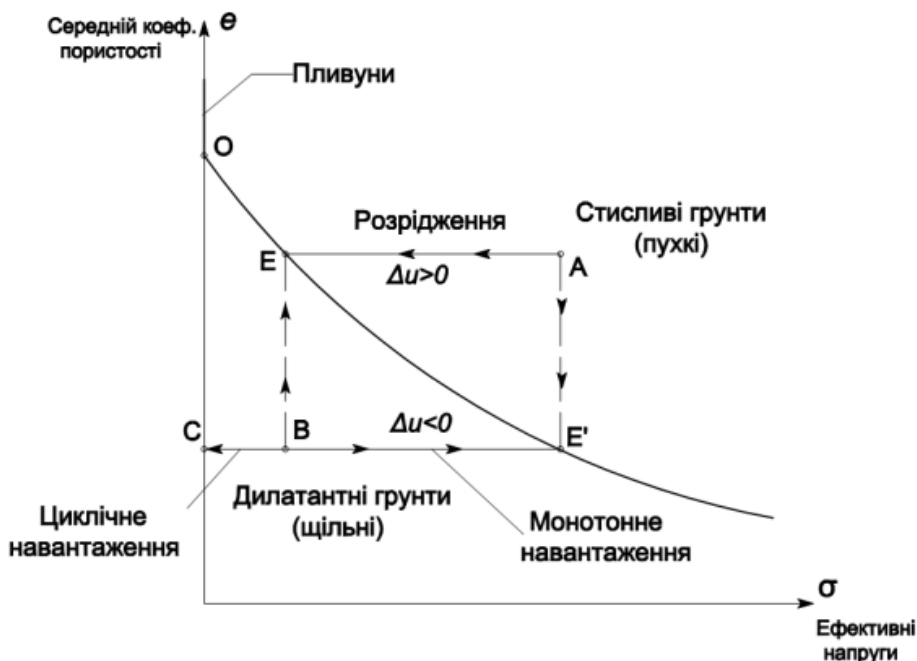


Рис. 2. Схема стану піщаних ґрунтів при дії динамічних навантажень

ється пористість, що супроводжується віджиманням води. Ущільнений в результаті перекладання частинок ґрунту стає більш стійким до подальших динамічних впливів.

Такий механізм динамічного розрідження характерний для незв'язних (піщаних) ґрунтів. Процес розрідження пісків можна пояснити на схемі (рис. 2). Наведена на графіку крива є залежністю критичного коефіцієнта пористості e від середньої ефективної напруги.

Сукупність точок, яка лежить вище кривої, відповідає пухкому стану ґрунту (точка А). Перехід таких різностей у текучий стан за променем АЕ' відбуватиметься при неповному водонасиченні або у дренажних умовах. Переходу у текучий стан у недренажних умовах відповідатиме точка Е (наявний надлишковий поровий тиск $\Delta u > 0$). В точці О та всіх інших, розташованих вище, ефективні напруги дорівнюють нулю і ґрунти мають нульову міцність. В цьому стані піски проявляють пливунність.

Якщо початковому стану ґрунту відповідає сукупність точок нижче кривої (щільний стан), то під впливом динамічного навантаження буде відбуватися перерозподіл пористості. Зразок ґрунту почне розм'якшуватися (перехід ВЕ') при неповному водонасиченні або виникне від'ємний поровий тиск ($\Delta u < 0$) із зростанням ефективних напруг (перехід ВЕ'). Для дилатантних ґрунтів ступінь перерозподілу пористості та зростання деформацій визначаються переходом напруженого стану через гідростатичний

при циклічному навантаженні [5]; тому ефективні напруги при достатньо високих рівнях впливу стають рівними нулю (перехід ВС).

Для зв'язних ґрунтів характерний інший механізм. При проходженні хвиль коливань відбувається зниження ефективних напруг та руйнування коагуляційних структур. Це спричиняє різке зниження опору ґрунту і призводить до розрідження.

Основною умовою виникнення явища розрідження є повне або близьке до нього насичення ґрунту водою. В цьому аспекті більш складними стають питання розрідження, пов'язані із зв'язними ґрунтами. На відміну від незв'язних, для них характерною є наявність зв'язаної води, крім вільної (гравітаційної). Міцність зв'язків глинистих ґрунтів зумовлена водними оболонками на поверхні частинок. Відповідно до електрокінетичної теорії, на поверхні частинок утворюється три види гідратних оболонок: внутрішні (міцнозв'язані), середні (дифузні) або рихлозв'язані та зовнішні оболонки (вільна вода). Руйнування структури зволжених зв'язаних ґрунтів відбувається у процесі коливань при зниженні їх зв'язаності, яка залежить від товщини водних оболонок.

Під впливом проходження хвиль коливань (сейсмічних хвиль), які характеризуються амплітудами переміщень та прискоренням, в товщі ґрунту утворюються деформації зсуву. Результатом цього є порушення в орієнтації молекул у водно-колоїдних оболонках частинок, в

результаті чого змінюється їх товщина. Поступово відбувається трансформація рихлов'язаної води у вільну, що сприяє руйнуванню структури ґрунту.

Те, що втрата міцності водонасичених ґрунтів супроводжується зміною зв'язності, підтверджується дослідженнями. Найбільш доцільним є метод кулькового штамп, запропонований Н.А. Цитовичем для визначення зміни величини сил зчеплення. Про зменшення величини зв'язності свідчить занурення кульки в ґрунт та її швидкість при коливаннях.

Слабкі ґрунти мають змішану за своїм типом структуру. Кулонівські сили тертя в них менші, ніж у чистому піску, а коагуляційна сітка надто слабка, переривчаста. Низька проникність перешкоджає дисипації порового тиску, що полегшує та прискорює розрідження в них.

На розрідженість ґрунтів впливає велика кількість взаємозв'язаних факторів. Це зовнішні (параметри динамічного впливу) — прискорення коливань, частота; внутрішні фактори — мінеральний склад, структура, стан, фізико-хімічні властивості; третя група факторів залежить від особливостей будови масиву. Тому неможливо виділити деяку сукупність ґрунтів, потенційно здатну до розрідження.

За критерій оцінки розрідження піщаних ґрунтів при динамічних навантаженнях приймають величину критичного прискорення коливань [1]. Її вивчають експериментально за допомогою штампів із вібраційними навантаженнями, динамічних стабілометрів, на вібростендах та віброкомпресійних приладах [2].

Під критичним прискоренням $a_{кр}$ розуміють таке прискорення коливального руху, нижче значення якого ґрунт зберігає свою статичну міцність, а вище починається руйнування структури:

$$a_p = k_z a_d \leq a_{кр}, \quad (1)$$

де a_p — розрахункове прискорення коливань; k_z — коефіцієнт запасу понад 1; a_d — діюче прискорення коливань у зоні (точці) масиву ґрунту, що розглядається.

Цей метод був запропонований О.А. Савіним у 1949 р. для дослідження фундаментів, які знаходяться під впливом вібрації від машин із динамічним режимом роботи. Найбільш детально вивчався М.М. Масловим (1953 р.) для оцінки руйнування структури водонасичених піщаних ґрунтів при коливаннях. Проте прискорення залежить від амплітуди та частоти коливань

$$a = A \cdot (2\pi f)^2, \quad (2)$$

де A — амплітуда; f — частота.

Навіть якщо прискорення змінюється тільки за рахунок амплітуди за умов постійної частоти, то змінюється і швидкість прикладання навантаження, а також швидкість деформування. Якщо додатково буде змінною і частота впливу, то прогнозування реакції ґрунту буде ускладнюватися. Таким чином, віброприскорення не можна вважати незалежним параметром оцінки розрідження ґрунту [3].

У відповідності до теорії М.М. Маслова, до розрахункових показників, що необхідні для вирішення задач стійкості піщаних мас під дією динамічних навантажень відносяться критичне прискорення ($a_{кр}$), коефіцієнт динамічного ущільнення (v_n) та модуль динамічного ущільнення (A_n).

Е.А. Вознесенським пропонується енергетичний спосіб оцінки динамічної нестійкості ґрунтів. В його основу покладено використання універсальних енергетичних критеріїв [2, 3].

ВИСНОВКИ

Вплив характеристик мінерального складу, стану і властивостей ґрунтів на можливість їх динамічного розрідження можна узагальнити таким чином. Принципово розрідження ґрунту можливо при ступені вологості $Sr \geq 0,9$. Ґрунти можуть набувати такого ступеня, зокрема і при частковому ущільненні при динамічних впливах. Зростання стійкості пісків до розрідження, у відповідності до самого механізму цього явища, відбуватиметься при зростанні ефективних напруг. Цьому сприяють збільшення глибини залягання, статичне привантаження від будівель і споруд. Таке твердження є вірним і для нормально ущільнених глинистих ґрунтів, а для переущільнених різностей виконується лише, поки ґрунт залишається переущільненим.

Зазвичай нормально або слабко переущільнені глинисті ґрунти зменшують свій об'єм при зсуві, що зумовлює розвиток додатного порового тиску та створює умови для його розрідження при динамічній дії. При деформуванні сильно переущільнених глин набуває розвитку від'ємний поровий тиск, що виключає можливість розрідження ґрунту.

Розрідження ґрунтів підвищується при зниженні ступеня щільності, який визначає саму можливість їх більш щільної переупаковки, що відноситься до однієї з умов розрідження.

Дослідження динамічної реакції глинистих ґрунтів говорить про те, що вірогідність їх динамічного розрідження знижується із ростом фізико-хімічної активності та дисперсності.

Особливості будови масиву ґрунтів також мають вплив на їх здатність до розрідження. Вірогідність розрідження (сейсмічного) ґрунтів знижується із збільшенням глибини залягання шару, здатного до розрідження. Разом із тим слабо проникні відклади, які перекривають водонасичені піщані та грубоуламкові ґрунти, запобігають дисипації порового тиску і підвищують можливість їх розрідження.

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. — М.; Л.: Стройвоенмориздат, 1948. — 412 с.
2. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость

грунтов. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — 264 с.

3. Вознесенский Е.А., Фуникова В.В., Кушнарера Е.С., Проворов Ф.А. Основные факторы динамической устойчивости песчаных грунтов // Геозкология. — 2003. — № 4. — С. 335–345.
4. Иванов П.Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1978. — 52 с.
5. Кутергин В.Н. Закономерности изменения свойств глинистых грунтов при вибрации. — М.: Наука, 1989. — 143 с.
6. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 328 с.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ
E-mail: kotkotmag@mail.ru

Рецензент — док. техн. наук М.Г. Демчишин