

УДК 624. 159.1

А.М. Самедов, д.т.н., проф.

А.Л. Ган, аспір.

Національний технічний університет України "КПІ"

Тофік Ісмайлов, проф.

Мехмет Озчелік, к.т.н., доц.

Університет Сулеймана Даміреля, Іспарта (Турція)

## РОЗРІДЖЕННЯ ПИЛУВАТИХ ПІСКІВ, СУПІСКІВ І СУГЛИНКІВ ПРИ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВПЛИВАХ

*Розглянуто проблеми розрідження дрібних пилюватих пісків, супісків і суглинків при фільтраційних впливах, які викликають осідання основ наземних споруд.*

### Вступ

В інженерній практиці часто зустрічається зволоження ґрунтового масиву, де джерелами замочування є підземні трубопроводи, надземні басейни, озера, річки, які створюють фільтраційні процеси зволоження ґрунтового масиву. Негативному впливу фільтраційного процесу передують розрідження ґрунтового масиву. З цього випливає актуальність вивчення впливу фільтраційного процесу на розрідження ґрунту.

Розріджений (Sivlasma) масив може змичуватися у вигляді зсуву, який зазвичай завдає значної шкоди народному господарству. Наприклад в лютому 1935 р. відбулося розпливання схилу греблі Свирської ГЕС; 10 серпня 1941 р. на правому березі річки Волги відбулося велике несподіване зміщення ґрунту, яке спричинило руйнування декількох сот метрів залізниці; на залізниці Аахан-Гербинталь відбулось розпливання залізничного насипу висотою 12 м, який складався із мілкого піску; у 1956 р. на Кременчузькій ГЕС розпливався пісок висотою 3-4 м, шириною 10-15 м і довжиною більше 100 м тощо. [1].

Проблемою розрідження дрібнодисперсних пісків, супісків та суглинків займалися вчені в СНД та за кордоном. Аналіз літературних джерел показав, що такі проблеми були розглянуті в працях таких вчених: Гольдштейна М.Н., Сідорова Н.Н., Іванова П.Л., Флоріна В.А., Сидераса Ш.А., Маслово Н.Н., Casagrande A., Ehrenberd D.I., Kolbuszevski I., Liman A.K., Peck R., Özkan M. Yener, Arioglu E., Arioglu N., Yilmaz A.O. та ін. [1-13].

Однак результати досліджень вищевказаних вчених відрізняються один від одного і в більшості випадків – суперечливі.

Тому постало завдання: – провести комплексні теоретичні дослідження з вивчення процесу розрідження ґрунтового масиву при різноманітних факторах, що впливають на нього, та розробити ефективні методи захисту проти розрідження.

Мета роботи – на основі теоретичних досліджень встановити закономірність розрідження дрібних пилюватих пісків, супісків та суглинків при впливі окремих факторів, а саме динамічних та фільтраційних.

### Дослідження впливу фільтраційного процесу на піски, супіски та суглинки

Зв'язок фільтраційного процесу з властивостями розрідження ґрунту призводить до зміни міцнісних параметрів основ будівель та споруд.

Проаналізований вплив фільтраційного процесу на властивості розріджених ґрунтів дозволяє розробити ефективні заходи проти розрідження.

За відсутності руху води в порах ґрунту, її вплив на скелет ґрунту обмежується спрямованими знизу вгору силами зважування (архімедовими силами). Якщо ж під дією різниці напорів вода рухається, то це обумовлює виникнення додаткових сил взаємодії між водою, що рухається, і частинками ґрунту. Додатковий вплив потоку води на частинки ґрунту складається з сил тертя води об поверхню часток і сил фільтраційного тиску, нормального до поверхні часток.

Фільтраційні процеси викликають розрідження ґрунту. Тиск у воді цілком розрідженого ґрунту від фільтраційного впливу на глибині  $h-z$  (рис. 1) визначається вагою стовпа розрідженого ґрунту вище розглянутої точки:

$$P = \gamma_p (h - z), \quad (1)$$

де  $\gamma_p = \gamma_s m + \gamma_w n$ ;  $n$  і  $m$  – кількість пор і скелету ґрунту в одиниці об'єму;  $\gamma_w$  і  $\gamma_s$  – щільність води і питома вага твердої частинки ґрунту.

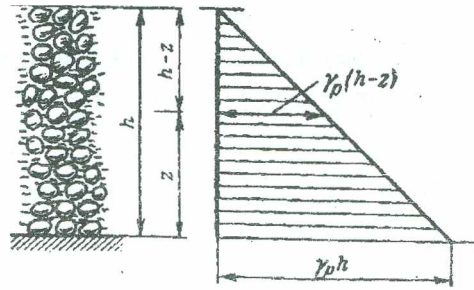


Рис. 1. Розподіл тисків у воді при повному розрідженні

Вираз для напору води має вигляд:

$$H = \frac{\gamma_p \cdot (h - z)}{\gamma_w} + z. \tag{2}$$

При  $z = 0$ , тобто на межі з водонепроникною основою:

$$H_{z=0} = \frac{\gamma_p}{\gamma_w} h,$$

а при  $z = h$ , тобто на поверхні шару:

$$H_{z=h} = h.$$

Внаслідок нерівномірності розподілу напорів, починаючи з початкового моменту розрідження дрібнозернистого і пілуватого піщаного водонасиченого ґрунту, виникають фільтраційні явища, що супроводжують укладання твердих частинок, і утворення більш щільної структури. Відповідний фільтраційний потік, спрямований знизу вгору, є результатом відтискання води з розрідженої маси ґрунту.

Припустимо, що в частині шару нижче глибини  $r_1$  вже відбулося нове укладання частинок ґрунту з пористістю  $n_2$ , а верхня частина шару ще знаходиться в стані розрідження з пористістю  $n$ . Виділимо на границі цих частин елементарний шар товщиною  $dr_1$  і розглянемо баланс води в цьому шарі. Умова нерозривності ґрунтового потоку зводиться до того, що кількість води, яка проходить за час  $dt$  через поверхню елементарного шару  $dr_1$  (рис. 2), дорівнює зміні вмісту води в цьому шарі за той же період часу, звідки:

$$U_1 dt = (n_1 - n_2) \cdot dr_1,$$

чи

$$\frac{dr_1}{dt} = \frac{U_1}{n_1 - n_2}, \tag{3}$$

де  $U_1$  – швидкість фільтрації;  $n_1$  – пористість ґрунту в розрідженому стані;  $n_2$  – пористість після ущільнення.

Використовуючи залежність Дарсі–Герсеванова, запишемо:

$$U_1 - e \cdot V_1 = -K_p \cdot \frac{dH_1}{dz}, \tag{4}$$

де  $V_1$  – швидкість руху скелету ґрунту, аналогічна швидкості фільтрації;  $K_p$  – коефіцієнт фільтрації розрідженого ґрунту;

$e = \frac{n_1}{1 - n_1}$  – коефіцієнт пористості ґрунту в розрідженому стані. У випадку одомірної задачі  $U_1 = V_1$  можна, з огляду на залежність (4), представити (3) у вигляді:

$$\frac{dr_1}{dt} = -K_p \frac{1 - n_1}{n_1 - n_2} \cdot \frac{dH_1}{dz}, \tag{5}$$

Диференціюючи вираз (2), маємо:

$$\frac{dH_1}{dz} = -\frac{\gamma_p}{\gamma} + 1 = -\frac{\gamma_v}{\gamma},$$

де  $\gamma_v$  – об'ємна вага зваженого у воді ґрунту;  $\gamma$  – об'ємна вага ґрунту.

У результаті рівняння (5) може бути представлено у вигляді:

$$\frac{dr_1}{dt} = K_p \frac{1 - n_1}{n_1 - n_2} \cdot \frac{\gamma_v}{\gamma}.$$

Звідси, інтегруючи цей вираз, знаходимо:

$$r_1 = K_p \frac{\gamma_v}{\gamma} t \frac{1 - n_1}{n_1 - n_2}.$$

Коефіцієнт фільтрації ґрунту в розрідженому стані з достатньою для практичних цілей наближеністю може бути прийнятий рівним коефіцієнту фільтрації до руйнування його структури:

$$r_1 = K_1 \frac{\gamma_v}{\gamma} t \frac{1 - n_1}{n_1 - n_2}. \tag{6}$$

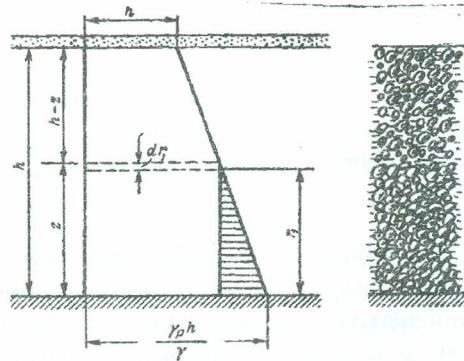


Рис. 2. Розподіл напорів у шарі повністю розрідженого піску

Таким чином, при прийнятих допущеннях залежність (6) дозволяє визначити положення границі між розрідженим і нерозрідженим дрібнозернистим і пилюватим піском і розподіл тисків у воді для будь-якого моменту часу після динамічного впливу. Отримані з залежності (6) епюри напорів і швидкостей, переміщення границі розрідженого ґрунту збігаються з експериментальними даними.

Слід зазначити, що при повному розрідженні більшість контактів між частками ґрунту цілком порушуються, і об'ємна вага розрідженого ґрунту може бути отримана із залежності:

$$\gamma_p = \gamma_v \alpha + \gamma,$$

якщо приймати  $\alpha = 1$ ,  $\gamma_v = (\gamma_s - \gamma) \cdot m$ ; (де  $m$  – об'єм скелета,  $\gamma_v$  – об'ємна вага зваженого у воді скелета;  $\gamma_s$  – питома вага;  $\gamma$  – об'ємна вага ґрунту;  $\alpha$  – ступінь руйнування структури в початковий момент  $\alpha_0$ ).

У верхніх шарах спостерігається повне руйнування структури при  $\alpha_0 = 1$ , а починаючи з деякої глибини, ступінь руйнування структури  $\alpha_0$  зменшується, що викликано збільшенням з глибиною напруг від власної ваги ґрунту. На досить великій глибині порушення структури не спостерігається ( $\alpha_0 = 0$ ), рис. 3.

Розглянемо найбільш загальний випадок переукладання шару частково розрідженого ґрунту.

Припустимо, що в момент прикладання динамічного впливу відбудеться руйнування структури ґрунту, і початковий ступінь її руйнування  $\alpha_0(z)$  буде змінюватися з глибиною.

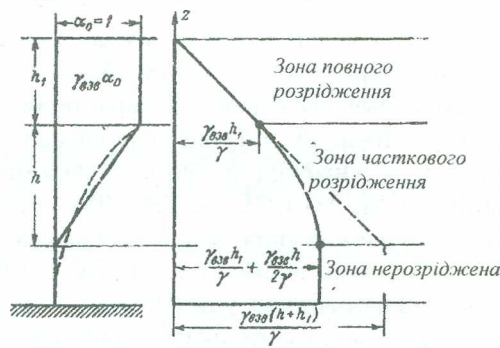


Рис. 3. Зміна ступеня руйнування структури і початкових надлишкових напорів у воді по глибині шару ґрунту

Об'ємна вага розрідженої частини ґрунту буде:

$$\gamma_{p(0)} = \gamma_v \alpha_0(z) + \gamma.$$

Тиск у воді для початкового моменту часу:

$$p_0 = \int_h^{h-z} [\gamma_v \alpha_0(z) + \gamma] dz. \tag{7}$$

Відповідно початкова епора напорів у межах шару h визначиться з залежності:

$$H_0 = \frac{p_0}{\gamma} + z. \tag{8}$$

Починаючи з моменту прикладання динамічного впливу і переходу ґрунту в розріджений стан, у шарі виникають фільтраційні явища, що супроводжують переукладання часток і утворення більш щільної структури ґрунту.

У будь-якому перетині шару повинна виконуватися відома в теорії ущільнення умова нерозривності фільтраційного потоку:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0 \tag{9}$$

З огляду на те, що у випадку одномірної задачі  $U_z = -V_z$ , одержимо:

$$U_z = -(1 + n_1)K \frac{\partial H}{\partial z} \tag{10}$$

Таким чином, використовуючи залежність (10), рівняння нерозривності (9) можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial n}{\partial t} - (1 - n_1)K \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0. \tag{11}$$

Процес переукладання частково розрідженого ґрунту супроводжується частковим передаванням напруг від власної ваги ґрунту по збереженим контактам між частками. Протягом усього періоду переукладання відбувається зміна положення часток – одні частки втрачають контакти, інші здобувають і знову втрачають. Таким чином, частки знаходяться в хиткому положенні, зміщуються одна відносно іншої послідовно втрачаючи і здобуваючи контакти.

**Висновок**

Таким чином, на основі теоретичних досліджень отримані закономірності фільтраційного впливу на розрідження дрібних пилюватих пісків, супісків, суглинків та границі розрідження при фільтраційному процесі; встановлені зони розрідження та зони ущільнення; складені диференційні рівняння розрідження дрібних пилюватих пісків, супісків і суглинків та отримані їх розв'язки.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Иванов П.Л. Разжижение песчаных ґрунтов. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 260 с.

2. Гольдштейн М.Н. Внезапное разжижение песка // Вопросы геотехники. – № 1. – Строительство и архитектура. – 1953. – С. 8–15.
3. Сидоров Н.Н. Лабораторные исследования характеристик сопротивления песка сдвига // Труды ВНИИТС. – Вып. 18. – Трансжелдориздат, 1966. – С. 22–28.
4. Флорин В.А. Явления разжижения и способы уплотнения рыхлых водонасыщенных песчаных оснований. – Изд. АН СССР ОТН, 1952. – № 6. – С. 42–47.
5. Сидерас Ш.А. Явления разжижения водонасыщенных песчаных откосов. // Труды Каунасского Политехнического института. – Т. IX. – 1958. – С. 24–32.
6. Маслов Н.Н. Условия динамической устойчивости водонасыщенных песков // Труды ЛИСИ. – Вып. 18. – Изд. по строительству и архитектуре. – 1954. – С. 64–71.
7. Цзкан М. Yener. Sivilaçma Tahmin Belirlenmesinde japon Sartnamelerinden notlar. Yapi dñjasi haziran. – 2001. – P. 18–25.
8. Casagrande A. Notes on the Design of Earth dams, Journal of the Boston Society of Civil Engineers. – Vol. 37. – № 4. – 1950. – P. 6–12.
9. Ehrenberg D.I. Das Ausfließen einer Sandkinle in einer Braunkohlgrube, Bautechnik. – № 19. – 1933. – P. 14–22.
10. Kolbuszewski I. An experimental study of the maximum porositites of sands, Proceeding of the II International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – Vol. 1. – 1948. – P. 26–33.
11. Liman A.K. Compaction of Cohesionless Foundation Soils by Explosives, Trans. ASCE. – Vol. 107. – 1942. – P. 28–35.
12. Peck R. Discription of a Flow Slide in loose Sand, Proceeding of the III International Conferense on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – Vol. IV. – 1953. – P. 34–40.
13. Arioglu E. Arioglu N. Yilmaz Ali Osman. Zemin Sivilaçmasi (I), (II). Hazir Beton Dergisi. Temmuz. – Agustos 2000. – P. 61–66; 85–91.

САМЕДОВ Ахмед Меджидович – доктор технічних наук, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- гірництво;
- геобудівництво.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: [undergeo@svitonline.com](mailto:undergeo@svitonline.com)

ГАН Анатолій Леонідович – аспірант кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- геобудівництво.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: [undergeo@svitonline.com](mailto:undergeo@svitonline.com)

ІСМАЙЛОВ Тофік – професор університету Сулеймана Даміреля, Іспарта (Турція).

ОЗЧЕЛІК Мехмет – кандидат технічних наук, доцент університету Сулеймана Даміреля, Іспарта (Турція).

Подано 25.11.2003