

Усиченко О.Ю., канд.техн. наук, Миколаєнко О.А.

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ФІЛЬТРАЦІЇ В ГРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**Анотація.** В статті оглядово описано джерела зволоження земляного полотна, цикли зміни водного режиму земляного полотна. Акцентується увага на деформаціях, які викликані рухом рідини в ґрунтовому середовищі, описані рівняння руху води та відмічено розбіжність між припливом до дрени, обчисленим за теоретичними формулами, і припливом, визначеним з дослідів, які проводились з додержанням відповідних граничних умов.

**Ключові слова:** ґрунт, суфозія, кольматаж, земляне полотно, деформації, водно-тепловий режим.

**Аннотация.** В статье обзорно описаны источники увлажнения земляного полотна, циклы изменения водного режима земляного полотна. Акцентируется внимание на деформациях, вызванных движением жидкости в ґрунтовой среде, описаны уравнения движения воды и отмечено расхождение между притоком к дрене, рассчитанным по теоретическим формулам, и притоком, определенным из опытов, которые проводились с соблюдением соответствующих граничных условий.

**Ключевые слова:** ґрунт, суффозия, кольматаж, земляное полотно, деформации, водно-тепловой режим.

**Abstract.** In the review article describes the sources of moisture subgrade, cycles of change of the water regime of the subgrade. Focuses on the deformation caused by the movement of fluid in a soil medium, described by the equations of motion of the water and the marked discrepancy between the inflow to the drains, calculated by theoretical formulas and the flow identified from the experiments, which were conducted in compliance with the relevant boundary conditions.

**Keywords:** soil, suffusion, colmatage, roadbed, deformation, water-thermal regime.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проблемами фільтрації в середовищах, що деформуються, та їх застосуванням в області дренажу займається Хлапук М.М., дослідженням матеріалів для дренажу та особливостями руху води в різних умовах займаються Кірейчева Л.В. та Глазунова І.В. [1,2]

Проведений аналіз показав, що залишаються відкритими питання по розрахунку водоприймальності спроможності дрен різних конструкцій.

**Мета статті.** Аналіз водного режиму земляного полотна, рух води в ґрунті та закони руху рідини в середовищі. Дослідження змін основних характеристик механічної суфозії.

**Виклад основної інформації.** Основною умовою стійкості земляного полотна і дорожнього одягу є стійкість ґрунту, яка в основному залежить від його щільності. Насичення земляного полотна вологою - вкрай небезпечне явище, так як стійкість всіх елементів дороги через зниження несучої здатності ґрунту сильно зменшується.

Земляне полотно зволожується поверхневими та ґрунтовими водами. Джерелами зволоження полотна служать:

- атмосферні опади, що випадають на поверхню земляного полотна;
- приплив поверхневих вод з прилеглої до дороги місцевості;
- приплив ґрунтових вод по капілярах, а також шляхом плівкового і пароподібного переміщення вологи.

Сумарний вплив зазначених джерел зволоження знижується за рахунок стоку води з земляного полотна, випаровування і просочування води в глибинні шари ґрунту.

В залежності від кліматичного району, місцевих умов і від періоду року переважають ті чи інші причини зволоження земляного полотна. Кількість вологи, що знаходиться в земляному полотні, не залишається протягом року постійною. Коливання температури, що створюють в тілі земляного полотна температурні градієнти, під впливом яких ґрунтова вода переміщається з більш

теплих (нижніх) шарів до більш холодних (верхніх) впливають на зміну водного режиму земляного полотна.

У річному циклі зміни водного режиму земляного полотна розрізняють такі періоди:

- первісне накопичення вологи восени внаслідок просочування атмосферних опадів;
- промерзання земляного полотна і зимовий перерозподіл вологи;
- відтавання земляного полотна і весняне перезволоження ґрунту;
- літнє просихання земляного полотна.

На вологість земляного полотна впливають також рельєф, рослинність, вітер та інші фактори [3].

Водно-тепловий режим земляного полотна відрізняється від водно-теплого режиму навколишньої місцевості. Це пояснюється наявністю різних типів конструкцій дорожніх одягів, що змінюють водообмін між ґрунтом і атмосферою, конструкцією земляного полотна в насипу або в виїмці, закладкою резервів, штучним ущільненням ґрунту.

Досить великі деформації виникають при перезволоженні пилюватих ґрунтів. При замерзанні в перезволоженому стані такі ґрунти дуже сильно збільшуються в об'ємі і втрачають несну здатність.

Для забезпечення стійкості і міцності земляного полотна та дорожніх одягів передбачаються конструктивні заходи, призначені для запобігання перезволоження земляного полотна

Під час руху рідини крізь пористі в них відбуваються різного роду деформаційні процеси:

- переорієнтація частинок неправильної форми у просторі під дією фільтраційних сил;
- переміщення мілких (суфозійних) частинок в порах скелету, сформованого більш крупними частинками,
- механічна суфозія; зупинка суфозійних частинок в певних зонах масиву фільтрації, наприклад, біля дренажних конструкцій - кольматаж.

Суфозійні процеси, які виникають в придренній зоні, обумовлені появою градієнтів напору, вищих за критичні, їх початкова інтенсивність залежить від

вмісту суфозійних частинок в ґрунті, а інтенсивність затухання від швидкості спадання градієнтів, викликаного зростанням коефіцієнта фільтрації ґрунту внаслідок суфозії, або перерозподілом градієнтів завдяки виникненню зони кольматажу.

Незважаючи на великий об'єм досліджень, проблема суфозії залишається актуальною і на теперішній час.

Особливий розвиток теорія фільтрації отримала в зв'язку з інтенсивним розширенням гідротехнічного і меліоративного будівництва в роботах таких відомих вчених як М.М. Павловський, І.А. Чарний, Л.С. Лейбензон, Н.Н. Маслов, І.Я. Русинов, М. Маскет, П.Я. Полубаринова-Кочина, В.М. Щелкачов [3–7].

Вихідна модель геофільтраційного потоку являє собою його опис з позицій математичної фізики і включає рівняння руху (основний закон фільтрації), рівняння нерозривності (балансу) потоку, рівняння стану, яке пов'язує напруження і деформації пласта, а також умови однозначності, які складаються з початкових і граничних умов процесу. Рівняння руху мають вид

$$V_x = -k \partial h / \partial x, V_y = -k \partial h / \partial y, V_z = -k \partial h / \partial z, \quad (1)$$

де  $V_x, V_y, V_z$  - складові швидкості фільтрації;  $h = h(x, y, z, t)$  - функція фільтраційного напору;  $k = k(x, y, z)$  - коефіцієнт фільтрації.

Для виведення рівняння нерозривності, яке описує матеріальний баланс потоку, розглядаються складові такого балансу в нескінченно малому елементі простору за нескінченно малий проміжок часу. В результаті отримується наступне рівняння:

$$\partial(\rho V_x) / \partial x + \partial(\rho V_y) / \partial y + \partial(\rho V_z) / \partial z = 0, \quad (2)$$

де  $\rho$  - густина рідини.

Три рівняння руху (1) та рівняння нерозривності (2) не дозволяють знайти всі необхідні характеристики потоку – проекції швидкості фільтрації, функцію напору та густину рідини. Для замикання системи (1), (2) використовується

рівняння, яке описує залежність між густиною, тиском і абсолютною температурою. Наприклад, для важкої нестислої рідини ( $\rho=const$ ) при фільтрації в однорідному ізотропному середовищі, що не деформується (жорсткий режим фільтрації), рівняння нерозривності матиме вид

$$\partial(k\partial h/\partial x)/\partial x + \partial(k\partial h/\partial y)/\partial y + \partial(k\partial h/\partial z)/\partial z. \quad (3)$$

За допомогою різних методів розв'язання задач фільтрації з використанням наведених рівнянь можна вирішувати проблеми гідротехнічного та меліоративного будівництва, пов'язані з фільтрацією в основах споруд, в ґрунтових греблях, поблизу водоймищ, з каналів, довкола свердловин та дрен тощо.

Аналіз досліджень деформаційних процесів показує, що в процесі механічної суфозії змінюється пористість ґрунту, його коефіцієнт фільтрації, розміри поперечного перетину фільтраційних пор, критичний градієнт напору - практично всі основні характеристики процесу суфозії.

Аналізуючи дослідження доктора тех. наук Хлапука М.М. можна сказати, що, як правило, водоприймальні спроможності дрен різних конструкцій в лабораторних та натурних умовах різні. Відмічено розбіжність між припливом до дрени, обчисленим за теоретичними формулами, і припливом, визначеним з дослідів, які проводились з додержанням відповідних граничних умов [1]. Так, за даними А.І. Мурашко приплив до пластмасових дрен складав лише 60-85 % від припливу до досконалої дрени, обчисленому за теоретичними залежностями. Цей факт пояснюється ним, зокрема, тим, що не враховуються суфозійні зміни в прифільтровій зоні, які приводять, в даному випадку, до зменшення фільтраційної витрати. Досліди обрахунки експериментальних даних М.Г. Пивовара показали, що приплив до дрени, яка закладається в однорідний та ретельно промитий пісок (переміщення частинок в порах відсутнє), на 30 % і більше перевищує приплив до досконалої дрени. Тобто в даному випадку деформації переорієнтації частинок в придренній зоні приводять до збільшення коефіцієнта фільтрації ґрунту.

## Висновок

Все це вказує на необхідність вдосконалення теоретичних методів розрахунку нарівні з проведенням ретельних експериментальних досліджень. Варто звернути увагу на особливу дію на приплив до дрени, що чинить механічна суфозія, яка виникає в придренній зоні, і кольматаж придреного шару ґрунту та захисного фільтра суфозійними частинками. Розглянуті вище теоретичні розв'язки не враховують і не спроможні врахувати суфозійні явища. Всі наведені диференціальні рівняння і розв'язки відповідних задач фільтрації побудовані на припущенні, що коефіцієнт фільтрації ґрунту масиву фільтрації величина постійна, тому необхідно провести ряд досліджень та випробувань для оптимізації прийняття рішень з приводу вибору дренажної конструкції та матеріалу з яким вона контактує.

## Література

1. Хлапук М.М. Теоретичні основи фільтрації в середовищах, що деформуються, та їх застосування в області дренажу /автореферат/ М.М. Хлапук. – Рівне, 1999.
  2. Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. Фильтры из волокнистых материалов для горного дренажа. /стаття/ №5. 1990. – С. 45-47.
  3. Маслов Н.Н. Некоторые вопросы проектирования намывных плотин. /стаття/ Материалы межведомственного совещания. – М. : Госэнергоиздат, 1961.
  4. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. – М. : Гос. Издат. технико-теоретической литературы, 1952.
  5. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика – М.: Гостоптехиздат – 1963. - 396 с.
  6. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде (пер. с англ.) – М.: ГТТИ, 1969. – 628 с.
- Русинов И.Я. Намыв несвязных грунтов и их строение. /стаття/ Материалы межведомственного совещания. – М. : Госэнергоиздат, 1961.