

4. *Кравец В.Г.* Динамика уплотнения грунтового массива взрывом. – Киев: Наук. думка, 1979. – 132 с.
5. *Лучко И.А., Плакий В.А., Ремез Н.С. и др.* / Механический эффект взрыва в грунтах / Под ред. И.А. Лучко – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
6. *Коротков П.Ф., Просвирина Б.П.* Численное исследование взрыва в упругопластичной среде и некоторые вопросы моделирования // Докл. АН СССР. – 1976. – 228. – № 1. – С. 66–69.
7. *Коротков П.Ф., Просвирина Б.П.* Численное исследование цилиндрического взрыва в упругопластичной среде // Докл. АН СССР. – 1978. – 241. – № 6. – С. 1311–1314.
8. *Левин Б.В.* Об одной простой модели камуфлетного взрыва в скальном грунте // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых, 1985. – № 3. – С. 35–40.
9. *Вовк А.А., Черный Г.И.* Взрывные работы в горных породах. – Киев: Техника, 1973. – 164 с.
10. *Адушкин В.В., Коций С.А.* О зависимости размеров котловой полости от удлинения цилиндрических зарядов // Взрывное дело. – 1979. – № 81/38. – С. 61–71.
11. *Ханукаев А.Н., Боровиков В.А., Беляцкий В.П.* Определение остаточного давления при камуфлетном взрыве сферического заряда в горной породе // Взрывное дело. – 1972. – № 81/38. – С. 95–98.
12. *Адушкин В.В.* Влияние плотности и влажности песчаного грунта на размеры котловой полости при камуфлетном взрыве // Физика горения и взрыва. – 1979. – № 3. – С. 107–116.

УДК 624.131.23

ПРО РЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛЕСОВОГО ГРУНТУ II ТИПУ ПРОСАДОЧНОСТІ

*А.М. Самедов, докт. техн. наук, Н.Г. Білоус, інж. (НТУУ “КПІ”),
Р.А. Самедов, асп. (Інститут гідромеханіки НАН України)*

Рассмотрены явления просадки, связанные с физико-химическими процессами, вызывающими развитие деформаций во времени при постоянных напряжениях и влажности просадочного грунта.

Складність і різноманіття властивостей лесових просадочних ґрунтів змушує при аналізі їх напружено-деформованого стану вдаватися до схематизації просадочних явищ, що виникають в цих ґрунтах. При цьому допускаються деякі спрощення, які дозволяють на основі ідеалізованого уявлення про найскладніші властивості просадочних деформацій лесових ґрунтів побудувати розрахункову схему за допомогою доступних реологічних моделей. Для опису ґрунтового середовища існують різні реологічні моделі. Широко використовуються моделі дво- і трикомпонентного ґрунтового

середовища, лінійно-деформівного середовища, модель тіла Кельвіна в теорії ущільнення ґрунтової маси, блок з тіла Гука–Ньютона–Сен-Венана, ковзний блок Кепеса, реологічні блоки з тіла Максвелла–Бінгама–Кельвіна, модель тіла Шведова, модель тіла Шофільда–Скотт-Блера, лінійні узагальнені моделі Кельвіна–Фойгта–Максвелла, моделі теорії консолідації Мерчанта і Ло, модель водонасиченого ґрунтового масиву в умовах тривісного напруженого стану Тана і Аногності та ін.[1, 4].

У механіці суцільних середовищ реальні тіла також ідеалізують, приписуючи їм властивості пружності, пластичності, в'язкості та ін., хоч з точки зору механіки континуума пружність і внутрішнє тертя є граничними апроксимаціями властивостей фізичних тіл. Реальні ж властивості тіл знаходяться між цими граничними випадками. Пружні і в'язкісні властивості, які характерні пенною мірою для всіх фізичних тіл, об'єднуються теорією спадкових середовищ і реологією. Таким чином, як теорію спадкових середовищ, так і реологію, що враховує в явній формі часову сторону зміни напружень і деформацій, можна розглядати з точки зору механіки реальних властивостей суцільних середовищ.

Для найповнішого опису механічних властивостей реальних матеріалів слід розглянути складніші середовища. Моделі складних середовищ являють собою комбінації з'єднань кількох тіл, що характеризуються різними фізичними властивостями, такими як пружнов'язкість, пружнопластичність, в'язкопластичність, в'язкопружнопластичність та ін.

Основною гіпотезою механіки суцільних середовищ є поняття про суцільну будову реальних тіл, що дозволяє уявити їх у вигляді суцільного деформівного середовища. Ця гіпотеза в однаковій мірі застосовується до твердих, рідких і газоподібних тіл. Отже, ґрунт як реальне тіло, незалежно від його агрегатного стану, можна зобразити у вигляді суцільного деформівного середовища, мірою рухливості якого служить швидкість переміщення і швидкість деформації частинок під дією зовнішніх впливів.

Крім того, існує гіпотеза про безперервність розподілу швидкості та щільності частинок при ущільненні, що запобігає розриву суцільності ґрунтового середовища.

Обидві ці гіпотези лежать в основі класичної гідродинаміки, яка вивчає рух суцільних деформівних середовищ. Звідси випливає, що закони класичної гідродинаміки повинні враховуватися і при описі рівноважного стану рухомого ґрунтового середовища. Однак в класичній гідродинаміці, яка використовує рівняння Нав'є–Стокса, не враховується максвеллівська релаксаційна пружність на зсув, так само як і об'ємна в'язкість. Крім того, в класичній теорії пружності аморфних тіл, що виражається рівняннями Коші, не враховується ні зсувна, ні об'ємна в'язкість. Поведінка реальних тіл під дією зовнішніх сил вимагає спільного розгляду неперервного процесу переходу ґрунтового масиву з твердого стану в рідкий і, навпаки, з рідкого стану в твердий. Винятком може бути випадок, коли ці процеси пов'язані з кристалізацією. Оскільки між рідинами та твердими аморфними тілами існує лише кількісна відмінність, яка характеризується величиною часу релаксації, потрібно знайти узагальнене

рівняння руху реальних тіл, яке дає змогу враховувати пружні та в'язкі властивості ґрунтового масиву при нерівномірних процесах деформації в часі. Так, лесовий ґрунт в умовах природного напруженого стану поводиться як пружне лінійно-деформівне середовище. У разі порушення рівноваги при зволоженні цього середовища кожна його точка зміщується на певну величину і напружений стан ґрунтового масиву наростає з швидкістю деформації [3]. В цих умовах лесовий ґрунт відрізняється від в'язкої рідини пластичною течією.

Дослідження з лесовими просадочними ґрунтами II типу показали, що механізм виникнення структурних (пластичних) деформацій при зволоженні таких ґрунтів обумовлюється абсолютно різними і надзвичайно різноманітними факторами, пов'язаними із взаємодією вологи та внутрішніх зв'язків ґрунту (молекулярних, водно-колоїдних і цементацийних) в умовах певного напруженого стану (зразки просадочного ґрунту взято з підвалів житлових будинків у Запоріжжі, зруйнованих зливовими дощами). Наслідком цих складних фізико-хімічних, механічних, хіміко-мінералогічних, суфозійних та інших процесів є виникнення і розвиток в лесових ґрунтах II типу просадочності інтенсивних реологічних процесів – наростання пластичних деформацій у часі при незмінному навантаженні. Тому, виходячи з законів фізико-хімічної механіки, процес осідання в широкому значенні можна зарахувати до реологічних нерівноважних процесів, пов'язаних зі зміною в часі напружено-деформованого стану структурно-нестійких при замочуванні лесових ґрунтів [2].

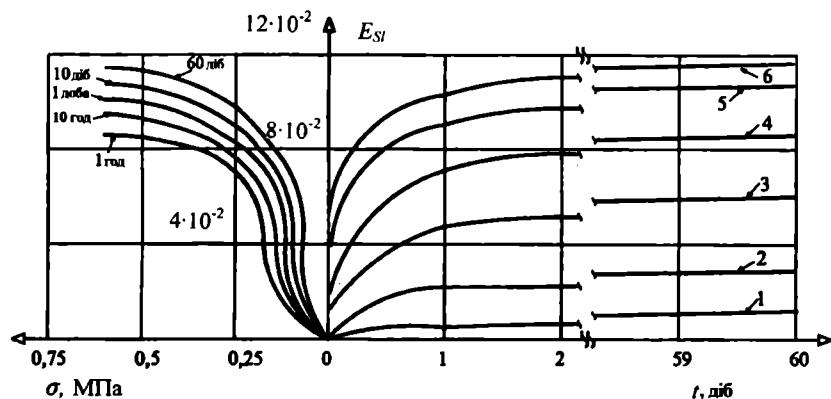
Слід зазначити, що механізм виникнення та розвитку просадочних деформацій в лесових просадочних ґрунтах пов'язаний з процесом руйнування цементацийних зв'язків між окремими частинками внаслідок дії вологи.

Динаміка процесу осідання лесових ґрунтів тісно пов'язана з інфільтрацією вологи та зміщенням структурних елементів деформівного ґрунту і характеризується порушенням фізико-хімічного зв'язку цементувальної речовини в її структурі. Динаміка просадки однозначно залежить від вологості ґрунту, а ступінь вологості – від тривалості зволоження.

Наші дослідження з ґрунтами II типу просадочності показали, що процес осідання розвивається у часі повільніше, ніж процес інфільтрації, і не завжди починається з моменту надходження вологи в ґрунт. Стабілізація процесу наступає по закінченні певного часу після припинення зволоження товщі ґрунтового масиву. Відбувається деяке запізнення внутрішньооб'ємних процесів у агрегатах твердих частинок порівняно з просуванням фронту зволоження. На нашу думку, це пояснюється тим, що хімічно розчинні зв'язки між твердими частинками ґрунту з часом слабшають.

Таким чином, виникнення структурних деформацій в просадочних лесових ґрунтах є наслідком взаємодії складних фізико-хімічних, механічних, суфозійних, хімічних та інших процесів, які супроводяться наростанням пластичних деформацій у часі при постійних вологості і навантаженні (повзучості). Повзучість характеризується розвитком деформацій у часі при постійному навантаженні. Були проведені серійні експериментальні випробування зразків ґрунту II типу просадочності при постійних напруженнях

($\sigma = \text{const}$) різного рівня ($\sigma = 0,05 \div 0,7$ МПа) і отримані сім'ї кривих осідання (повзучості) в широкому діапазоні часу. На основі експериментальних сімей кривих повзучості були побудовані сім'ї кривих напружень при постійних значеннях деформації просадки (релаксації), а також залежності напружень від деформації для певних значень часу. Всі криві (рисунок) було побудовано при різних, постійних протягом всього експерименту, значеннях вологості (від природної $W_0 = 0,03$ до вологості водонасичення $W_{sat} = 0,32$) та ущільнювального тиску. Спостереження за зміною деформації просадочних ґрунтів в компресійних приладах велися протягом 60 діб; за їх результатами будувалися графіки зміни відносного осідання в часі для кожної серії випробувань.



Повзучість лесових ґрунтів при осіданні (при вологості, що дорівнює границі розкочування): 1 – при $\sigma = 0,05$ МПа; 2 – $\sigma = 0,1$ МПа; 3 – $\sigma = 0,2$ МПа; 4 – $\sigma = 0,3$ МПа; 5 – $\sigma = 0,5$ МПа; 6 – $\sigma = 0,7$ МПа

У правій частині рисунка нанесено криві зміни відносної просадки у часі t при різному ущільнювальному навантаженні

$$\sigma = P/F,$$

де P – ущільнювальне навантаження, F – площа поперечного перерізу зразка.

В лівій частині рисунка побудовано криві залежності відносного осідання від напруження, які відповідають різним періодам t повзучості. Як видно з рисунка, особливої кривих повзучості є наявність в них двох ділянок. Перша ділянка відповідає деформаціям із зменшуваною швидкістю згідно з класичною теорією повзучості і відображає несталі процеси осідання. Ця стадія зумовлюється структурно-необоротними явищами, викликаними взаємодією води з внутрішніми зв'язками ґрунту, і має тільки пластичну природу деформації. Друга стадія характеризується повільно згасаючою пластично-в'язкою течією, викликаною фізико-хімічними процесами всередині кристалічного простору мінеральних частинок ґрунту. Швидкість протікання

процесу на цій стадії можна прийняти практично постійною, оскільки її зміни незначні порівняно з тривалістю процесу осідання. Тривалість першої стадії порівняно з другою незначна. Роль кожної стадії просадочних деформацій, як і в класичній теорії повзучості, залежить від навантаження, вологості, типу і властивостей просадочного ґрунту.

Експериментальні криві осідання в широкому діапазоні часу при всіх досліджених значеннях вологості виявилися подібними. Тому всі криві сім'ї $E_{SI} \approx f(t)$ можна отримати з однієї кривої цієї сім'ї множенням її ординати на деяку величину, що є функцією ущільнювального навантаження. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

явища осідання, пов'язані з фізико-хімічними процесами, які викликають розвиток деформацій у часі при постійних напруженні та вологості просадочного ґрунту, можуть бути класифіковані як реологічні нерівноважні процеси і описані законамирностями теорії спадковості та реології;

спільне використання теорії спадковості та реології, які враховують в явній формі часову складову зміни напружень і деформацій, викликає значні труднощі при визначенні функції спадковості, яка входить у формули опису залежності між деформацією, напруженням і часом при постійній вологості;

просадочні властивості справляють значний вплив не тільки на сталі, що входять у функцію спадковості, але й на вигляд самої функції, яку можна одержати експериментальним шляхом. Цей шлях відкриває великі можливості для отримання форми функції, що описує нерівномірні процеси просадочних деформацій зволожуваних лесових ґрунтів із застосуванням основних положень спадкової теорії повзучості.

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Недра, 1978. – 196 с.
2. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 180 с.
3. Самедов А.М. Перлитокерамические изделия. – М.: Стройиздат, 1985. – 150 с.
4. Шукле Л. Реологические проблемы механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1976. – 486 с.

УДК 622.231

НАУКОВІ ПРИНЦИПИ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

А.І. Крючков, канд. техн. наук (НТУУ "КПІ", ІЕЕ)

Рассматривается связь математических моделей процессов горного производства с основными научными принципами. Предложен метод моделирования случайных нестационарных процессов в виде совокупности