

ціонального гірничого університету. Науково-технічний журнал / Національний гірничий університет – Вип.3. – Дніпропетровськ: ДВНЗ НГУ. - 2012. – С.41- 44.

3.Рогальский, Ф.Б. Математические методы анализа экономических систем [Текст]. Книга 1. Теоретические основы. / Ф.Б. Рогальский, Я.Е. Курилович, А.А. Цокуринко.- К.: Наук. думка, 2001.- 435 с.

4.Костерев, В.В. Надежность технических систем и управление риском [Текст] учеб. пособие / В.В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.

5.Мушик, Э., Мюллер, П. Методы принятия технических решений [Текст]: пер. с нем.- М.: Мир, 1987. – 198 с.

6. Филипс, Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей [Текст]: пер. с англ.- М.: Мир, 1984. – 496 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 27.11.2012*

УДК 624.131.23

© Н.В. Зуєвська

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ПРОСІДАННЯ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ

Розглядаються причини інтенсифікації процесів просідання в лесових ґрунтах при замочуванні їх водою з підвищеною температурою.

Рассматриваются причины интенсификации просадочных процессов в лесовых ґрунтах при замачивании их водой повышенной температуры.

In the article reasons are examined intensification of settling processes in loessial soils at a soakage by their water of enhanceable temperature.

Вступ. Значна територія України складається з лесових ґрунтів різного ступеня просадності. Практика міського будівництва та експлуатації підземних мереж в умовах інтенсифікації забудов міст та одночасного старіння підземних комунікацій в останні роки внесла суттєві корективи у вибір системи протипросадних заходів в зв'язку з проявом нового - гідротермального фактора впливу, який навіть в умовно непросадних лесових масивах провокує небезпечні деформаційні процеси.

В зв'язку з цим розвиток наукових основ деформування просадних лесових масивів під дією температурного фактора є актуальною науково-технічною проблемою.

Сучасний стан питання. До недавнього часу в будівництві процес замочування лесових ґрунтів розглядався без урахування температури води.

За останнє десятиріччя в літературі почали відмічатися випадки підвищення очікуваних просідань внаслідок впливу температурного чинника. Так, науковці з Алтайського державного технічного університету [1] в своїх роботах відмічають збільшення в м.Барнаулі випадків деформацій основ будинків 20-30-річного віку, які, як раніше вважалось, за довгі роки експлуатації стоять

вже на непросадних лесових ґрунтах. Однак внаслідок аварій тепломереж споруди отримали просідання до 0,5 м. Встановлено, що особливу небезпеку являють собою теплотраси діаметром 500-1000 мм.

Основні джерела тепловиділення, які сприяють розвиткові деформаційного процесу, можна умовно поділити на 2 типи: замочування просадного ґрунту витоками води з підвищеною температурою та нагрівання ґрунтових вод через процес теплопередачі від тепловиділяючих об'єктів з подальшим впливом нагрітої ґрунтової води на лесовий масив.

Утворення теплових полів у лесових масивах відноситься до небезпечних геологічних процесів на території великих міст, що викликають зміни складу, стану, структури і властивостей просадних ґрунтів.

Метою роботи є встановлення закономірностей збільшення посадних процесів в лесових ґрунтах в умовах гідротермального впливу.

Викладення основного матеріалу. Лесові просадні ґрунти утворені як осадкові породи в результаті вивітрювання різних гірських порід. Саме цим пояснюється особливість будови лесових порід – міцність частинок, з яких складається лесовий ґрунт, набагато вища від міцності зв'язуючого цементуючого матеріалу між цими частинками.

Розчинення солей, що знаходяться у складі цементуючих речовин лесових порід, найбільш характерне для карбонатних, сульфатних, хлоридних і калієвих сполук. Основними умовами розчинення цих сполук є зволоження водою, особливо водою з високою температурою. Присутність у воді певної концентрації швидкорозчинних солей: $NaCl$, KCl , $CaCl_2$, $MgCl_2$, сильних кислот: соляної кислоти HCl , сірчаної кислоти H_2SO_4 , лугів: $NaOH$, SO_3 , CO_2 , PO_3 та ін. прискорює розчинність цементуючих речовин, що перебувають у складі лесових порід і призводить до прискорених просадних деформацій.

Значення коефіцієнта швидкості розчинення можна визначити експериментальним шляхом з використанням теорії подібності в лабораторних та польових умовах. Необхідно враховувати, що хімічно взаємодіючи в процесі фільтрації з гірськими породами, вода змінює свій склад і формує той чи інший геохімічний тип.

Проведено експерименти з прогнозування розчинності сульфатної породи (ангідриту) в лабораторних умовах шляхом прискорення розчинення за допомогою сильного кислотного каталізатора H_2SO_4 і сольового каталізатора $NaCl$ при температурі водного розчину $20^{\circ}C$ і з підігріванням до температури $50^{\circ}C$ (рис.1, 2).

З рис.1,2 бачимо, що збільшення температури до $50^{\circ}C$ в 2,8...4 рази збільшує розчинність сульфатних гірських порід, що є характерною ознакою розчинення цементуючих речовин з гіпсу, які присутні у складі лесових ґрунтів.

У природних умовах лесовий ґрунт являє собою трифазну дисперсну систему, що складається з твердої, рідкої і газоподібної фаз. Закономірності руху вологи в трифазній системі ґрунту описуються рівнянням, аналогічним класичному рівнянню Дарсі, яке відрізняється від останнього тим, що коефіцієнт фільтрації k_f замінюється поняттям коефіцієнта вологопровідності ґрунту k_w , величина якого суттєво залежить від вологості W ґрунту.

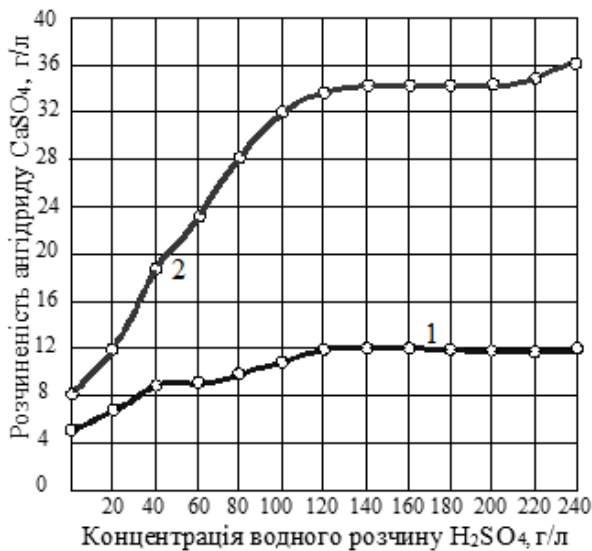


Рис. 1. Залежність розчинності від концентрації H_2SO_4 при температурах 20 °C(1) і 50 °C(2)

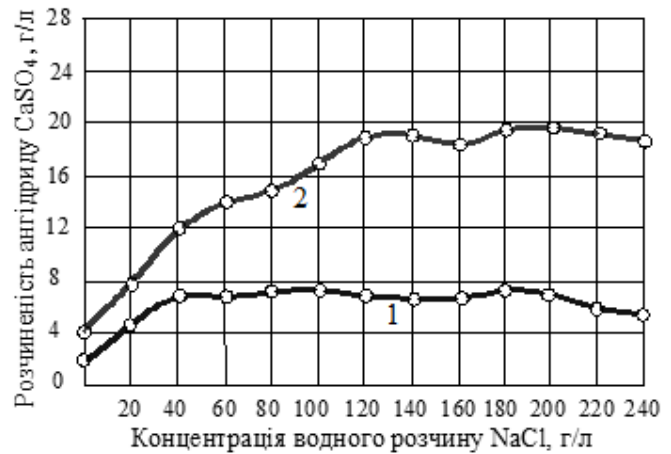


Рис. 2. Залежність розчинності ангідриту від концентрації $NaCl$ при температурі водного розчину 20 °C (1) і 50 °C (2)

Коефіцієнт фільтрації, а отже, і коефіцієнт вологопровідності, залежать від зміни динамічної в'язкості води. Зі збільшенням температури води її динамічна в'язкість зменшується (рис. 3).

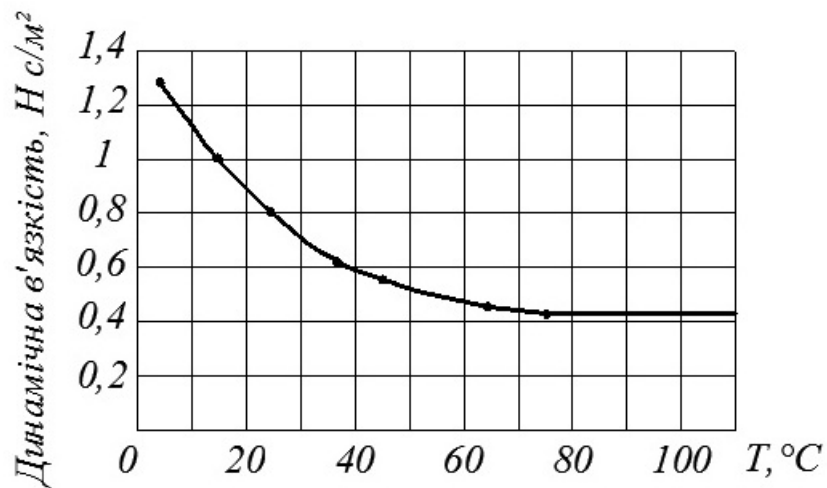


Рис. 3. Зміни динамічної в'язкості від температури води

При замочуванні лесового масиву аварійними витокami гарячої води та неповному водонасиченні, слід говорити про зміну вологопровідності масиву [2].

Дослідження впливу температури води для замочування на зміну коефіцієнта вологопровідності лесових ґрунтів проводились на зразках лесового просадного ґрунту II типу. В табл. 1 наведено усереднений коефіцієнт вологопровідності та показник зміни вологопровідності в залежності від температури води для замочування θ_T в межах 20°...80°C, який визначається за формулою:

$$Q_T = \frac{k_w^{T_{cp}}}{k_w^{20^0C_{cp}}}.$$

Як видно з отриманих даних, температура суттєво впливає на вологопровідність просадного ґрунту, при цьому залежність $k_w^{T_{cp}}$ виположується практично при $T = 80^{\circ}C$, досягаючи значення близько 3,77 м/добу, що більше ніж втричі перевищує величину $k_w^{T_{cp}}$ для нормальних умов $k_w^T = k_w^{20^0C} \cdot \theta_T = k_w^{20^0C} \cdot (-0,000001667T^3 + 0,000037T^2 + 0,0254T + 0,49)$.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнта вологопровідності від температури води для замочування

№ зразків	Коефіцієнт вологопровідності k_w^T , м/добу			
	$T = 20^{\circ}C$	$T = 40^{\circ}C$	$T = 60^{\circ}C$	$T = 80^{\circ}C$
1	1,86	2,85	3,22	3,86
2	1,94	2,76	3,56	3,78
3	2,06	2,90	3,86	3,76
4	2,03	2,92	3,68	3,62
5	1,98	2,95	3,32	3,84
Середнє значення коефіцієнта вологопровідності, м/добу				
$k_w^{T_{cp}}$, м/добу	1,97	2,88	3,53	3,77
Показник впливу температури води на коефіцієнт вологопровідності				
θ_T	1,0	1,46	1,79	1,91

Збільшення коефіцієнту вологопровідності призводить до розширення фронту замочування і проникнення води в ті шари ґрунту, які не були ущільнені. Найбільш впливовим в цьому випадку є процес впливу температури води при інфільтрації на збільшення глибини замочування. Результати експериментальних дослідів представлені в табл.2. В знаменнику табл. 2 наведено відношення значення координати фронту замочування при підвищеній температурі води до значення координати фронту замочування при холодній воді, або коефіцієнт впливу температури води, який визначається за формулою:

$$\beta_T = \frac{y_0^T}{y_0^{20^0}}.$$

Згідно табл. 2 вертикальна координата фронту замочування поглиблюється як з часом, так і із зростанням температури води для замочування.

Коефіцієнт впливу температури води β_T не залежить від часу замочування і зростає в 1,75 рази лише із збільшенням температури від 20^0 до $80^0 C$.

В результаті вираз для глибини замочування в залежності від температури води має вигляд:

$$y_o^T = y_o^{20^{\circ}\text{C}} \cdot \beta_T = y_o^{20^{\circ}\text{C}} (0,000003125T^3 - 0,000563T^2 + 0,0425T + 0,35).$$

Таблиця 2

Розвиток глибини замочування в масиві лесового ґрунту

Температура води замо- чування	Вертикальна координата фронту замочування / коефіцієнт впливу температури води β_T					
	Тривалість замочування t , діб					
	$t=1$ доба	$t=2$ доби	$t=5$ діб	$t=9$ діб	$t=14$ діб	$t=22$ доби
$T=20^{\circ}\text{C}$	2,02 / 1,0	3,14 / 1,0	5,86 / 1,0	8,99 / 1,0	12,57 / 1,0	17,93 / 1,0
$T=40^{\circ}\text{C}$	2,73 / 1,35	4,24 / 1,35	7,92 / 1,34	12,13 / 1,35	16,97 / 1,35	24,21 / 1,35
$T=60^{\circ}\text{C}$	3,13 / 1,55	4,87 / 1,54	9,09 / 1,55	13,93 / 1,55	19,48 / 1,55	27,79 / 1,55
$T=80^{\circ}\text{C}$	3,53 / 1,75	5,49 / 1,75	10,26 / 1,75	15,73 / 1,75	22,0 / 1,75	31,38 / 1,75

Результати експериментальних досліджень зміни абсолютної просадності лесового ґрунту при різній температурі води для замочування представлено на рис. 4. Дослідження проводилися на лесових суглинках з наступними характеристиками: потужність товщі просідання 12 м, сила зчеплення 0,112 МПа, кут внутрішнього тертя 27°C , пористість товщі 47 %, об'ємна вага $26,2\text{ кН/м}^3$, природна вологість 0,03, вологість на нижній межі пластичності 0,19, відносна просідність – 0,03, діаметр пробурених свердловин 200 мм.

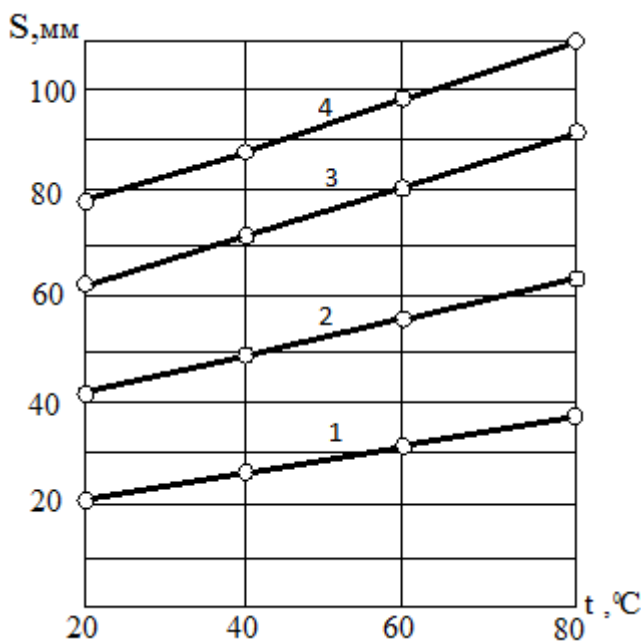


Рис. 4. Зміна величини просідання лесового ґрунту при різній тривалості замочування та температурі води для замочування: 1 – 10 діб; 2 – 20 діб; 3 – 40 діб; 4 – 60 діб

Згідно з отриманими даними коефіцієнт K_T , що враховує вплив температури води для замочування на абсолютне просідання лесового ґрунту, для 20°C було прийнято рівним одиниці. Для зростаючих температур він визначається за

формулою: $K_{T60^\circ\text{C}} = \frac{S^{sp}_{60^\circ\text{C}}}{S^{sp}_{20^\circ\text{C}}}$. Можна зробити висновок, що на коефіцієнт K_T

практично не впливає тривалість замочування, а має значення тільки температура води. Отримані значення K_T - коефіцієнта, що враховує вплив температури води для замочування на зміну абсолютного просідання лесового ґрунту, апроксимовано і представляємо у вигляді кубічного полінома. Тоді значення величини просідання лесового ґрунту при різній температурі води для замочування можна представити як:

$$S^T = S^{20^\circ\text{C}} \cdot K_T = S^{20^\circ\text{C}} (0,0075T + 0,85).$$

Отримані коефіцієнти θ_T, β_T, K_T далі використовуються в теоретичних побудовах, в яких поєднуються експериментальні результати з математичним моделюванням інфільтраційних та деформаційних процесів в просадних масивах.

Згідно з наведеними дослідженнями можна зробити **висновок**, що в умовах впливу гідротермального чинника відомі інженерні способи стабілізації лесових ґрунтів виявляються недостатньо ефективними та потребують їх подальшого розвитку. Основними причинами збільшення проявів просідання лесового ґрунту при замочуванні його водою з підвищеною температурою є прискорення розчинності солей та цементуючих речовин в складі лесових ґрунтів, поглиблення замочування і проникнення води в ті шари ґрунту, які не були ущільнені. При аналізі техногенного впливу теплового фактора на просадні лесові ґрунти необхідно враховувати коефіцієнт збільшення вологопровідності θ_T , коефіцієнт впливу температури води β_T на збільшення вертикальної координати фронту замочування та коефіцієнта, що враховує вплив температури води для замочування на зміну абсолютного просідання лесового ґрунту K_T , шляхом поєднання експериментальних результатів з математичним моделюванням інфільтраційних та деформаційних процесів в просадних масивах.

Список літератури

1. Быкова Е.В. Деформации лесовых просадочных грунтов при замачивании холодной и горячей водой / Е.В. Быкова, А.А. Соболев, Г.И. Швецов // Научное творчество студентов и сотрудников: 61-я науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и профессорско-преподават. состава. – Барнаул, 2003. – Ч.13: Строит.-технол. фак-т. – С.126.
2. Зуєвська Н.В. Вплив води з підвищеною температурою на інфільтраційні процеси при замочуванні лесових ґрунтів / Н.В.Зуєвська // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”. – 2011. – Вип. 20. – С. 17 - 20.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 03.10.2012*