

ВПЛИВ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ПРОСАДНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗАМОЧУВАННІ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ

Н. В. Зуєвська, канд. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Просадні деформації лесового ґрунту можуть розглядатися як процес переходу ґрунту з недоуцільненого стану в стан нормальної щільності під впливом інфільтраційного руху вологи. З огляду на складність цього перехідного процесу великий інтерес становить математичний опис механізму.

Ключові слова: динаміка процесу просадки, закономірності фільтрації вологи, температурний фактор, інфільтрація.

Просадочные деформации лесового грунта могут рассматриваться как процесс перехода грунта из недоуплотненного состояния в состояние нормальной плотности под влиянием инфильтрационного движения влаги. Ввиду сложности этого переходного процесса большой интерес представляет математическое описание механизма.

Ключевые слова: динамика процесса просадки, закономерности фильтрации влаги, температурный фактор, инфильтрация.

Collapse deformations of loessial ground can be considered as a process of ground transition from non-compacted state to the state of normal density under influence of infiltration moisture movement. Mathematical description of mechanism of this transition is of great interest because of its complexity.

Keywords: dynamics of collapse process, regularities of filtration, temperature factor, infiltration.

Згідно з теорією руху вологи в ґрунтах, розглянутою в працях М. М. Верігіна [1], П. Я. Полубаринової-Кочиної [2], В. І. Пеньковського, а також у працях іноземних науковців [3], дослідження динаміки процесу просадки вимагає передусім вивчення закономірностей фільтрації вологи при неповній водонасиченості ґрунту. Ця теорія побудована на припущенні неповної насиченості ґрунту вологою, де приймається коефіцієнт водопроникності як функція насичення ґрунту.

Вплив вологості на просадку лесового ґрунту після замочування розглядалась в роботах М. Я. Денисова [4] та Г. І. Покровського [5], де при дослідженні механізму взаємодії процесів інфільтрації та осідання наголошувалося, що міцність лесових ґрунтів обумовлена двома видами зчеплення. Зчеплення першого виду відбувається під дією сил молекулярного притягання між частинками ґрунту і залежить від складу і щільності породи. У зв'язку з малою природною щільністю лесових порід первинне зчеплення грає незначну роль у їх стійкості і лише уповільнює процес осідання. Зчеплення другого виду – зчеплення зміцнення, обумовлене цементуючою дією плівок вуглекислого вапна, гіпсу та інших солей, що оточують частинку ґрунту. Зчеплення зміцнення відіграє вирішальну роль у стійкості лесових ґрунтів і змінюється зі зміною тиску, вологості, температури та інших зовнішніх факторів.

Всі ці дослідження були проведені для ґрунту, зволоженого холодною водою, і не враховували температурний фактор. В умовах міського будівництва

набувають актуальності просадні процеси при замочуванні лесових ґрунтів водою підвищеної температури. Міські підземні траси служать для забезпечення теплом житлових будинків, дитячих установ, виробничих, громадських і побутових споруд. Сьогодні забезпечення тепловими ресурсами здійснюється перегрітою водяною парою температурою понад 350 °С або гарячою водою температурою до 100 °С.

Підземні теплові споруди з метою доставки заданої кількості тепла до призначеного пункту захищають теплоізоляційними матеріалами. Однак тепло неминуче проходить через теплоізоляційний шар і поширюється в ґрунтовому масиві на великі відстані, нагріваючи ґрунтову воду до високої температури.

Міські каналізаційні колектори зазвичай виконуються без теплоізоляції, хоча тут температура досягає 60 °С. Така температура теж достатня для того, щоб нагрівати ґрунтові води, які циркулюють у масиві гірських порід. Нерідко виникають і аварійні ситуації, коли гаряча вода замочує основи споруд, причому процес може протікати впродовж тривалого періоду.

У результаті всіх перерахованих факторів просадка лесового ґрунту при дії на нього гарячої води перевищує осідання, які б мали місце при дії на ґрунт холодної води (в середньому 20 °С). Ця різниця настільки значна, що внаслідок просадки ґрунту виникає необхідність не лише реконструкції споруди, а й визнання її аварійно-небезпечною, що підлягає знесенню.

Після підтоплення основи фундаменту від прориву теплових комунікацій будинок посольства Канади в м. Києві зазнав таких неоднорідних і руйнівних деформацій, що було визнано економічно доцільним не реконструювати, а відбудувати будівлю заново.

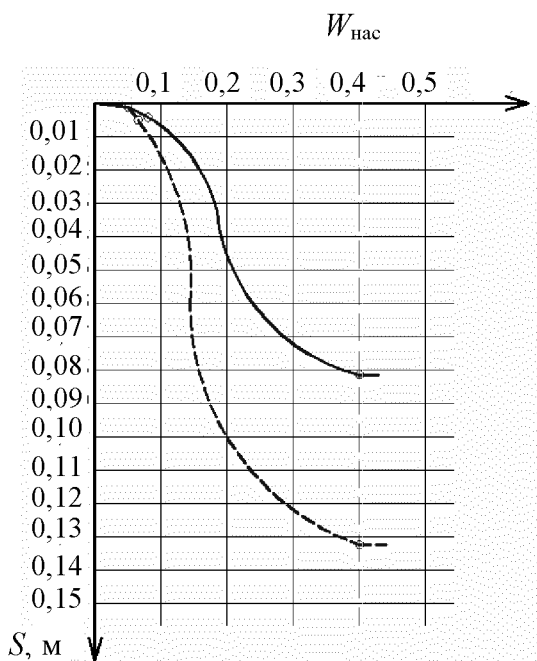
Авторами було досліджено комплекс з чотирьох будівель, що знаходяться в центрі м. Києва на вулицях Шовковична, Рейтарська та Франка на товщі лесового супіску 29–35 м. При проектуванні для цих будинків було розраховано осідання при температурі води $T = 20$ °С, яке становило 7–8 см, що допускається ДБН В.1.1-3-97. В дійсності ж осідання склало 12–14 см, оскільки після аварії на теплокомунікаціях, де температура води була $T = 60$ °С, відбулось замочування, що робить актуальною проблему необхідності врахування температури води при розрахунку осідання.

У зв'язку з цим викликає інтерес проблема прогнозування і розрахунку осідання лесових ґрунтів, замочених водою з підвищеною температурою. У наших дослідженнях використовувалась вода при температурі від 20 до 100 °С, але найчастіше в реальних умовах відбувається змочування водою з температурою 20 та 60 °С. Одним з найбільш ефективних видів експериментальних досліджень процесів інфільтрації і осідання є тривале замочування товщі лесових ґрунтів у польових умовах. Були проведені дослідні на лесових ґрунтах II типу по просадності для визначення впливу температури води на процес інфільтрації і отримані залежності впливу температури води при інфільтрації. Результати проведених дослідів зведені в таблиці.

Вплив температури води на інфільтрацію

<i>t</i> = 1 доба					<i>t</i> = 2 доби					<i>t</i> = 5 діб				
<i>T</i> = 20°C	<i>T</i> = 40°C	<i>T</i> = 60°C	<i>T</i> = 80°C	<i>T</i> = 100°C	<i>T</i> = 20°C	<i>T</i> = 40°C	<i>T</i> = 60°C	<i>T</i> = 80°C	<i>T</i> = 100°C	<i>T</i> = 20°C	<i>T</i> = 40°C	<i>T</i> = 60°C	<i>T</i> = 80°C	<i>T</i> = 100°C
Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 2,0	2,73	3,13	3,53	3,87	Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 3,1	4,24	4,87	5,49	6,03	Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 5,7	7,92	9,09	10,26	11,26
$\beta_T = 1$	1,35	1,55	1,75	1,92	$\beta_T = 1$	1,35	1,54	1,75	1,92	$\beta_T = 1$	1,34	1,55	1,75	1,92
<i>t</i> = 9 діб					<i>t</i> = 14 діб					<i>t</i> = 22 доби				
<i>T</i> = 20 °C	<i>T</i> = 40 °C	<i>T</i> = 60 °C	<i>T</i> = 80 °C	<i>T</i> = 100 °C	<i>T</i> = 20 °C	<i>T</i> = 40 °C	<i>T</i> = 60 °C	<i>T</i> = 80 °C	<i>T</i> = 100 °C	<i>T</i> = 20 °C	<i>T</i> = 40 °C	<i>T</i> = 60 °C	<i>T</i> = 80 °C	<i>T</i> = 100 °C
Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 9,0	12,13	13,93	15,73	17,25	Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 12,6	16,97	19,48	22	24,13	Глибина інфільтрації <i>y</i> , <i>m</i> = 17,9	24,21	27,79	31,38	34,43
$\beta_T = 1$	1,35	1,55	1,75	1,92	$\beta_T = 1$	1,35	1,55	1,75	1,92	$\beta_T = 1$	1,35	1,55	1,75	1,92

Примітка. β_T – коефіцієнт, що враховує вплив температурного фактора; для наших умов $\beta_T = 1$.



Вплив вологості *W* на деформацію лесового ґрунту: суцільні лінії при *T* = 20 °C; пунктирні лінії при *T* = 60 °C

В реальних умовах найчастіше має місце точковий прорив труб, що прокладені на певній глибині і замочують просадні прошарки ґрунту. В нормативних документах просадка розраховується для холодної води (приблизно 20 °C). Фактично при аваріях в трубах тепло-комунікаційних систем температура води становить 60 °C, що суттєво впливає на коефіцієнт фільтрації [6].

На рисунку зображено графік деформації лесового ґрунту залежно від вологості [4], де наочно демонструється той факт, що основна частина деформації ґрунту проходить при зміні вологості від природного значення до значення, при якому відбувається інфільтрація. Деформації мають місце до настання вологості насичення $W_{нас}$, після чого

волога вже не затримується, а фільтрується далі.

За матеріалами дослідження (8) була розроблена комп'ютерна програма, яка дозволяє отримати значення просадки з урахуванням температури води. Використовуючи цю програму для розрахунку просадки реальних об'єктів, ми переконалися в суттєвості впливу гарячої води на просадку ґрунту. Програма дозволяє отримати основні формули:

$$y(W, t) = d_1 \left[1 - \left(\frac{W}{W_{\text{нас}} - W_{\text{м}}} \right)^2 \right] t^{1/2} + d_2 \left[1 - \left(\frac{W}{W_{\text{нас}} - W_{\text{м}}} \right)^2 \right]^2 t; \quad (1)$$

$$Q(t) = (W_{\text{нас}} - W_{\text{м}}) \left(\frac{2}{3} d_1 t^{1/2} + \frac{8}{15} d_2 t \right); \quad (2)$$

$$y_0(t) = [d_1 t^{1/2} + d_2 t] \beta_T. \quad (3)$$

Висновки

Температурний фактор має велике значення при замочуванні споруд на просадних лесових ґрунтах. Величини просадки ґрунту при замочуванні холодною і гарячою водою суттєво розрізняються між собою. Поєднуючи експериментальні дослідження та отримані математичні залежності між глибиною замочування та зміною вологості, можна розрахувати просадку при зволоженні ґрунту в присутності температурного фактора.

1. Веригин Н. Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород / Веригин Н. Н. – М., Госстройиздат, 1961. – 180 с.
2. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод / Полубаринова-Кочина П. Я. – М., Гостехиздат, 1952. – 676 с.
3. Chang-Yu Ou. Deep Excavations. Theory and Practice / Chang-Yu Ou. – London: Taylor & Francis, 2006.
4. Денисов Н. Я. Строительные свойства лессов и лессовидных суглинков / Денисов Н. Я. – М., Госстройиздат, 1953. – 154 с.
5. Покровский Г. И. Исследования по физике грунтов. – М., ОНТИ. – 1937.
6. Григорян А. А. Прогноз просадки грунтовой толщи при замачивании через небольшой в плане глубокий источник / А. А. Григорян, Ю. К. Иванов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1968. – № 6. – С. 31–34.