

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.01.049>

УДК 550.34 + 539.3

О.В. Кендзера¹, член-кореспондент НАН України,

<https://orcid.org/0000-0002-2564-070X>

Я.Я. Рушицький², член-кореспондент НАН України,

<https://orcid.org/0000-0002-0830-5030>

¹ Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ

² Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ

E-mail: kenzera@igph.kiev.ua, rushch@inmech.kiev.ua

Спосіб визначення параметрів реологічної моделі ґрунтового шару за експериментальною кривою повзучості шару

Розроблено спосіб визначення параметрів стандартної триконстантної реологічної моделі, яку пропонується застосувати до опису сейсмічних хвиль у ґрунтових шарах. Особливість способу полягає в тому, що для визначення трьох реологічних параметрів моделі достатньо мати одну експериментальну криву повзучості ґрунтового шару. Прокоментовано деякі особливості цього способу.

Ключові слова: стандартна трикомпонентна реологічна модель ґрунтового шару, експериментальна крива повзучості, визначення параметрів моделі.

Реологія є розділом фізики, який вивчає речовини, що виявляють за умов деформування одночасно такі три базові властивості матеріалів, як пружність, в'язкість та пластичність [1]. Тому реологію відносять до механіки матеріалів, які є в певному розумінні не класичними — твердими (solid materials), а некласичними — м'якими матеріалами (soft materials). Форма тіла з реологічного матеріалу може змінюватися під час деформування істотно. Типовими прикладами таких матеріалів є бітум чи смола або асфальт. До класу реологічних матеріалів зараз традиційно відносять осади, мул, суспензії. Окремо виділяють полімерні матеріали. Сюди ж відносять біологічні матеріали (наприклад, м'язи) і значну частину їстівних речовин (наприклад, кетчуп, кефір, певні типи сиру).

Історично так склалося, що ту область механіки матеріалів, яка враховує властивості пружності та в'язкості і має назву теорія в'язкопружності, теж відносять до реології. Відпо-

Цитування: Кендзера О.В., Рушицький Я.Я. Спосіб визначення параметрів реологічної моделі ґрунтового шару за експериментальною кривою повзучості шару. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2023. № 1. С. 49–57. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.01.049>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

відно, властивості в'язкопружних матеріалів традиційно називають реологічними і параметри моделей також називають реологічними.

1. Стандартна реологічна модель. В'язкопружне деформування супроводжується двома основними явищами — релаксацією напруження за постійної деформації і повзучістю деформації за постійного напруження. Під час вивчення деформування ґрунтових шарів явище повзучості спостерігається постійно і для його опису використовуються різні реологічні моделі та експериментальні установки [2–4].

Найпростішою моделлю, яка описує явища релаксації напруження і повзучості деформації, є так звана стандартна модель теорії в'язкопружності. Для цієї моделі рівняння зв'язку між напруженням σ і деформацією ε (конститутивне рівняння) має вигляд звичайного диференціального рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами

$$n\dot{\sigma}(t) + \sigma(t) = En\dot{\varepsilon}(t) + H\varepsilon(t), \quad (1)$$

де E — миттєвий модуль пружності; $H = E$ — тривалий модуль пружності; n — час релаксації. Кожен з цих трьох термінів має фізичне трактування. Модуль E називають миттєвим модулем пружності з тих міркувань, що за швидких процесів деформування значення швидкості $\dot{\sigma}$, $\dot{\varepsilon}$ є великими порівняно зі значеннями σ , ε і тоді величинами $\sigma(t)$, $H\varepsilon(t)$ в (1) можна знехтувати. Реологічний закон (1) перетворюється в закон Гука $\dot{\sigma}(t) = E\dot{\varepsilon}(t)$ з модулем пружності E . Модуль H називають тривалим модулем пружності тому, що за повільних процесів деформування величини $\sigma(t)$, $H\varepsilon(t)$ є великими порівняно зі значеннями їх швидкості і тоді виразами $n\dot{\sigma}$, $nE\dot{\varepsilon}$ в (1) можна знехтувати. У цьому разі з (1) знову отримується закон Гука $\sigma(t) = H\varepsilon(t)$ з модулем пружності H .

Диференціальне рівняння (1) має два еквівалентні зображення у вигляді інтегральних рівнянь з простими експоненціальними ядрами:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{E-H}{E^2n} \int_0^t \sigma(\tau) e^{-\frac{H}{En}(t-\tau)} d\tau, \quad (2)$$

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - \frac{E-H}{n} \int_0^t \varepsilon(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{n}} d\tau. \quad (3)$$

Релаксацію напруження стандартна модель описує за формулою (3) таким чином:

$$\sigma(t) = \varepsilon^0 [H(t) + (E-H)e^{-\frac{t}{n}}], \quad (4)$$

тобто напруження релаксує від початкового значення $E\varepsilon^0$ до значення $H\varepsilon^0$, яке відповідає тривалому періоду спостереження.

Повзучість деформації стандартна модель описує за формулою (2) такою залежністю:

$$\varepsilon(t) = \sigma^0 \left[\frac{1}{H} + \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) e^{-\frac{H}{En}t} \right], \quad (5)$$

тобто деформація зростає (повзе) від початкового значення σ^0/E до значення σ^0/H , яке відповідає тривалому періоду спостереження.

2. Розв'язок у вигляді гармонічної хвилі. Застосуємо прямий підхід до аналізу поширення гармонічної хвилі в рамках стандартної моделі. Для цього підставимо зображення деформації через зміщення $\varepsilon = \partial u / \partial x$ у рівняння (1), у якому змінимо позначення, ввівши модуль зсуву μ ($\mu_0 = E$, $\mu_\infty = H$):

$$n \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \sigma = \mu_0 n \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \mu_\infty \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (6)$$

Рівняння руху, записані через зміщення, можна отримати, використавши класичне рівняння руху $\rho(\partial^2 u / \partial t^2) = (\partial \sigma / \partial x)$ і створивши на його основі рівності

$$n\rho \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} = n \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \partial t}$$

та

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + n\rho \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} + n \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \partial t}.$$

Підстановка цих рівностей у рівняння (6) дає нове рівняння руху

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + n\rho \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} = \mu_0 n \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} + \mu_\infty \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Зауважимо, що це не найпростіше хвильове рівняння, яким описується класична пружна SH хвиля — воно містить додатково два члени третього порядку.

3. Розв'язок рівняння (7) у вигляді гармонічної сейсмічної хвилі. Під час вивчення гармонічних хвиль, які описує реологічне рівняння (7), можливі два випадки. У випадку 1 вважається, що хвиля затухає за просторовою координатою і має вигляд

$$u(x, t) = A e^{-\gamma x - i(kx - \omega t)}. \quad (8)$$

Випадок 2 розглядає затухання за часом, тоді хвиля має вигляд

$$u(x, t) = A e^{i[kx - (\omega + i\alpha)t]}. \quad (9)$$

У випадку 1 слід перевірити, чи має рівняння (7) розв'язок у вигляді хвилі (8). Підставивши (8) у (7), з урахуванням позначення $v_T^0 = \sqrt{\mu_0 / \rho}$ отримаємо рівняння зв'язку між хвильовим числом k і коефіцієнтом затухання γ :

$$[(v_T^0)^{-2} \omega^2 + (\mu_\infty / \mu_0)(\gamma^2 - k^2) - 2n\omega\gamma k] + i[n(v_T^0)^{-2} \omega^3 + n\omega(\gamma^2 - k^2) + 2(\mu_\infty / \mu_0)\gamma k] = 0. \quad (10)$$

З рівності уявної частини рівняння (10) нулеві отримуємо з урахуванням позначення $(\mu_0/\mu_\infty) = (v_T^{o2})/(v_T^{\infty 2}) = m$

$$v_T^{-2} + 2nm\gamma v_T^{-1} - \frac{m}{(v_T^o)^2} - \frac{\gamma^2}{\omega^2} = 0, \quad (11)$$

$$\gamma^2 + 2\gamma \frac{v_T^{-1}}{nm} + [(v_T^o)^{-2} - v_T^{-2}] \omega^2 = 0. \quad (12)$$

Отримані рівняння не є ідентичними і містять три невідомі величини – актуальну швидкість хвилі v_T , коефіцієнт затухання хвилі γ та частоту ω . Тому з цих рівнянь можна визначити перші дві величини як функції частоти.

Отже, в стандартній моделі актуальна швидкість хвилі і затухання амплітуди хвилі за просторовою координатою залежать від частоти і визначаються початковою швидкістю та відношенням миттєвого модуля до тривалого модуля.

Можливо, найважливішим висновком з отриманих формул щодо швидкості хвилі та її затухання для подальшого аналізу сейсмічних хвиль є те, що ці характеристики хвилі в окремо взятому шарі ґрунту є різними для різних частот. Це не узгоджується із загальноприйнятим у теорії сейсмічних хвиль припущенням про незалежність модуля зсуву від частоти і залежність модуля зсуву (отже, швидкості зсувної хвилі в окремо взятому шарі ґрунту) від часу. Ця залежність взагалі суперечить концепції континуальної механіки про сталість модулів (сталих, констант).

У випадку 2 підстановкою рівняння (9) у (7) отримуємо інше рівняння зв'язку між хвильовим числом і коефіцієнтом затухання:

$$(v_T^{\infty 2} - v_T^{o2} n\alpha)k^2 - \omega^2 + \alpha^2 + (3\omega^2 + \alpha^2)n\alpha - i\omega[2\alpha + n(\omega^2 + 3\alpha^2) - v_T^{o2}nk^2] = 0. \quad (13)$$

З цього рівняння отримується кубічне рівняння для коефіцієнта затухання α

$$\alpha^3 - \left(\frac{3v_T^{\infty 2} - v_T^{o2}}{2nv_T^{o2}} \right) \alpha^2 - \left(\frac{v_T^{\infty 2} + \omega^2 n^2 v_T^{o2}}{n^2 v_T^{o2}} \right) \alpha + \omega^2 \frac{v_T^{o2} - v_T^{\infty 2}}{2nv_T^{o2}} = 0. \quad (14)$$

Якщо значення α відомо, швидкість хвилі визначається за формулою

$$v_T = v_T^o \sqrt{n\omega^2 / (n\omega^2 + 2\alpha + 3n\alpha^2)}. \quad (15)$$

Перевагою в застосуванні стандартної реологічної моделі до аналізу сейсмічних хвиль у ґрунтових шарах можна вважати можливість аналітично порахувати характеристики хвилі. Для кожного шару треба знати три константи моделі (миттєвий модуль, тривалий модуль, час релаксації) і параметри хвилі на вході в шар (амплітуду, кут падіння, частоту, коефіцієнт затухання). Отже, в конкретних задачах про сейсмічні хвилі необхідні конкретні знання значень реологічних параметрів моделі. Вважається, що константи стандартної моделі визначаються зі стандартних (регламентованих) дослідів на повзучість зразків при зсуві.

4. Простий спосіб визначення трьох реологічних параметрів моделі. Цей спосіб застосується в механіці полімерних матеріалів і описаний у праці [7] і, найімовірніше, невідомий у механіці ґрунтів. Простота методу полягає в тому, що всі три параметри визначаються з однієї кривої повзучості, отриманої з досліду на одновісний розтяг чи простий зсув.

Як відомо [1, 7, 8], теоретична крива повзучості визначається формулою

$$\varepsilon(t) = \sigma^o \left[\frac{1}{H} + \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) e^{-\frac{H}{En}t} \right]. \quad (16)$$

Будь-який спосіб визначення реологічних параметрів за допомогою експериментальної кривої повзучості пов'язаний з умовою, що експериментальна і теоретична криві повзучості повинні бути якомога ближче одна до одної. Тут виникають дві проблеми, пов'язані з аналізом експериментальної кривої. Проблема 1 полягає в тому, що миттєву деформацію ε_0 складно зафіксувати для початкових значень часу кривої повзучості (складно зафіксувати відповідну точку на кривій). Проблема 2 стосується тривалого модуля і відповідного значення деформації на кривій повзучості. Таке значення можна отримати лише в разі довготривалого експерименту, який складно здійснити. Тому в механіці полімерних матеріалів вироблена така методика. Спочатку фіксуються моменти часу

$$t = t_n \quad (n = 0, 1, 2, 4, 8, 16, \dots) \quad (17)$$

і вводяться позначення

$$\varepsilon(0) = \varepsilon_0, \quad \varepsilon(t_1) = \varepsilon_1, \quad \varepsilon(t_2) = \varepsilon(2t_1) = \varepsilon_2, \dots, \quad H/En = 1/b. \quad (18)$$

Тоді з формули (16) випливають такі рівності:

$$\frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_1}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0} = e^{-\frac{t_1}{b}}, \quad \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_2}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_1} = e^{-\frac{t_2}{b}} = e^{-\frac{2t_1}{b}} = \left[e^{-\frac{t_1}{b}} \right]^2, \quad \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_{2n}}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0} = e^{-\frac{t_{2n}}{b}} = \left[e^{-\frac{t_1}{b}} \right]^{2n}, \dots \quad (19)$$

або

$$\varepsilon_\infty = \frac{(\varepsilon_1)^2 - \varepsilon_0 \varepsilon_2}{2\varepsilon_1 - \varepsilon_0 - \varepsilon_2}, \dots, \quad \varepsilon_\infty = \frac{(\varepsilon_n)^2 - \varepsilon_0 \varepsilon_{2n}}{2\varepsilon_n - \varepsilon_0 - \varepsilon_{2n}}. \quad (20)$$

З формул (20) отримується рівність

$$\frac{(\varepsilon_1)^2 - \varepsilon_0 \varepsilon_2}{2\varepsilon_1 - \varepsilon_0 - \varepsilon_2} = \frac{(\varepsilon_2)^2 - \varepsilon_0 \varepsilon_4}{2\varepsilon_2 - \varepsilon_0 - \varepsilon_4}. \quad (21)$$

Таким чином, для знаходження ε_0 , яке дає значення миттєвого модуля E за однією з відомих формул (для кривої повзучості значення напруження відоме)

$$\varepsilon_\infty = \frac{\sigma}{H}, \quad \varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E}, \quad b = \frac{En}{H}, \quad (22)$$

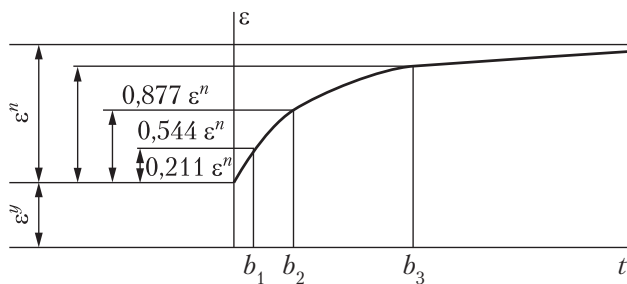


Рис. 1. Гіпотетична крива повзучості [6]

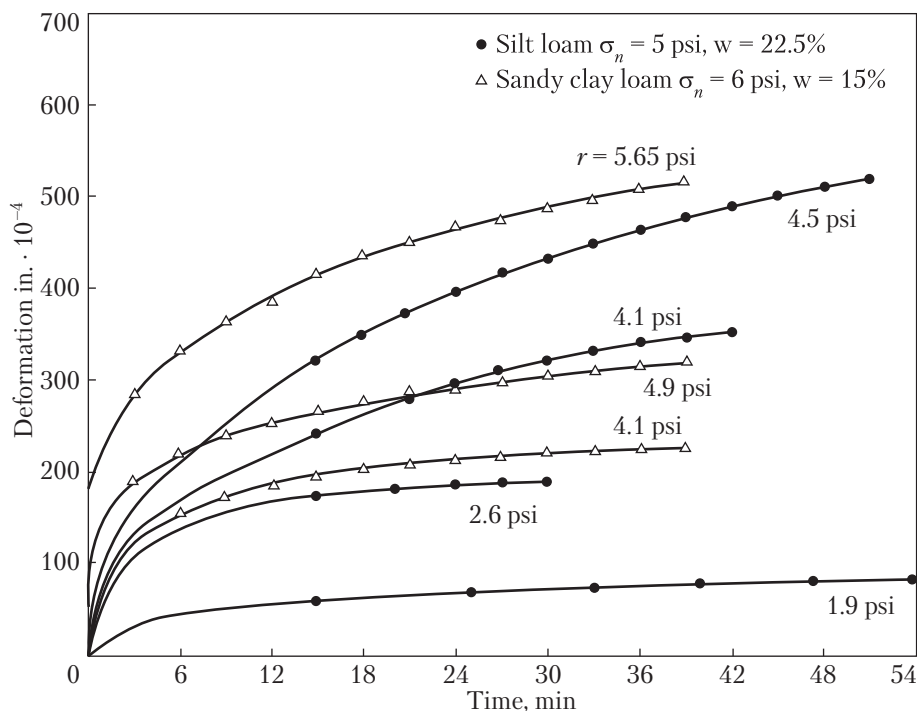


Рис. 2. Експериментальні криві повзучості для бурого суглинку та піщаного жирного суглинку [5, рис. 3]

треба знати три величини — $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_4$, які визначаються з кривої повзучості. За очевидної умови $0 < \epsilon_0 < \epsilon_1$ таке значення знаходиться, як корінь квадратного рівняння (22) щодо ϵ_0 .

Якщо відомо ϵ_0 , значення деформації в разі довготривалої повзучості ϵ_∞ (а отже, тривалого модуля H згідно з першою формулою (22)) вираховується за першою формулою (19). Як впливає з проведеного вище аналізу, два реологічні параметри знаходяться досить просто. Однак третій параметр — час релаксації n — потребує подальшого аналізу.

Розглянемо далі коротко гіпотетичний приклад зі статті [4]. Нагадаємо, що аналізується відповідність експериментальної кривої теоретичній, яка проходить через три точки $\epsilon(t_1), \epsilon(t_2), \epsilon(t_3)$ з експериментальної кривої. Цих трьох значень достатньо для визначення трьох реологічних параметрів стандартної моделі. Оскільки спосіб отримання значень миттєвого і тривалого модулів вже описаний вище, то зосередимося на визначенні часу релаксації.

Звернемося до формули (16), яка описує теоретично повзучість у довільний момент часу. Особливістю кривої повзучості є те, що вона будується експериментально за постійного напруження. Для конкретних точок на кривій t_N , якщо позначити $b_N = \frac{En}{t_N}$, значення деформації, яка відповідає цій точці на кривій, визначається за простою формулою

$$\varepsilon(b_N) = \varepsilon_\infty - \sigma \frac{H-E}{HE} e^{-b_N}, \quad (23)$$

або

$$-b_N = \ln \left[\frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon(b_N)}{\sigma} \frac{HE}{H-E} \right], \quad (24)$$

Формула (24) дає значення часу релаксації, на чому процедура закінчується.

На рис. 1 схематично показано вибір точок на кривій повзучості. Нехай моменти часу t_1, t_2, t_3 вибрані так, як показано на рис. 1. Відповідні значення деформації є такими: $\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 5$. Зазначимо, що на рисунку прийняті позначення $\varepsilon_0 = \varepsilon_y$, $\varepsilon_\infty = \varepsilon_n$. Тоді

$$\varepsilon_0 = 1,38, \quad \varepsilon_\infty = 5,6. \quad (25)$$

Час релаксації визначається за формулою (24): $n = 2,4 \cdot 10^{-3}$.

Таким чином, розвинена стосовно полімерних матеріалів методика визначення реологічних параметрів стандартної моделі є простою, однозначною і виключає суб'єктивний вибір точок на експериментальній кривій повзучості. Ще однією перевагою цієї методики є вже згадувана можливість визначати три реологічні параметри з одного експерименту на одновісний розтяг чи простий зсув.

Розглянемо далі можливість застосування описаного підходу (способу, методики) до аналізу ґрунтових шарів. Для цього використаємо експериментальні криві повзучості двох типів ґрунтових шарів – бурого суглинку та піщаного жирного суглинку, отримані в роботі [5]. На рис. 2, який відповідає рис. 3 з роботи [5], показані залежності деформації зсуву від часу за різних значень прикладеного зсувного напруження.

Виберемо далі криву, яка відповідає піщаному жирному суглинку при значенні напруження $\sigma = 4,1 \text{ psi} = 28258,51 \text{ Па}$ і густині $\rho = 1,089 \cdot 10^3$ (третя знизу крива).

Спочатку виберемо моменти часу:

$$t_1 = 9, \quad t_2 = 18, \quad t_4 = 36 \text{ (у хвилинах)} \text{ або } t_1 = 540, \quad t_2 = 1080, \quad t_4 = 2160 \text{ (у секундах)}.$$

З вибраної кривої впливає, що відповідні значення деформації є такими:

$$\varepsilon_1 = 5,83 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_2 = 6,66 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_3 = 7,5 \cdot 10^{-3}.$$

Тоді, згідно з формулами (20) – (22), деформації ε_0 , ε_∞ набувають значень

$$\varepsilon_0 = 4,0 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_\infty = 8,0 \cdot 10^{-3}.$$

Відповідні значення миттєвого і тривалого модулів є такими:

$$E = 6,28 \cdot 10^6, \quad H = 3,51 \cdot 10^6.$$

Час релаксації визначається за формулою (24) і є таким:

$$n = 639,87.$$

Отже, всі три реологічні параметри стандартної моделі для піщаного жирного суглинку знайдені. Запропонований підхід працює, він є простим і зручним.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Malkin A., Isayev A. Rheology. Concepts, methods, and applications. 3rd ed. Toronto: Chemtec Publishing, 2017. 500 p.
2. Luo Q., Chen X. Experimental research on creep characteristics of Nansha soft soil. *Sci. World J.* 2014. 5. 968728. <https://doi.org/10.1155/2014/968738>
3. Wang Y.F., Zhou Z.G., Cai Z.Y. Studies about creep characterizatic of silty clay on triaxial drained creep test. *Advances in civil and industrial engineering IV: Selected, peer reviewed papers from the 4th International Conference on Civil engineering, architecture and building materials (Haikou, China, May 24–25, 2014). Applied Mechanics and Materials (Vol. 580–583)*. Stafa: Trans Tech Publications Ltd, 2014. P. 355–358. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.355>
4. Lai X.L., Wang S.M., Ye W.M., Cui Y.J. Experimental investigation on the creep behavior of an unsaturated clay. *Can. Geotech. J.* 2014. 51, № 6. P. 621–628. <https://doi.org/10.1139/cgj-2013-0064>
5. Lohnes R.A., Millan A., Demirel T., Handy R.L. Tests for soil creep. *Soils and bases: characteristics, classification, and planning*. Washington: Highway Research Board, 1972. P. 24–33.
6. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Терерс Г.А. Сопротивление полимерных и композитных материалов. 3-е изд., перераб. и доп. Рига: Зинатне, 1980. 534 с.
7. Савін Г.М., Руцицький Я.Я. Елементи механіки спадкових середовищ. Київ: Вища школа, 1976. 252 с.
8. Kendzera O., Rushchitsky J., Semenova Yu. Simple way of allowance for rheologic properties of layered earth stratum in study of seismic waves. *Horizons in Earth Science Research. Chapter 1*. Vol. 23. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2021. P. 3–94.
9. Rushchitsky J.J. Nonlinear elastic waves in materials. Heidelberg: Springer, 2014. 454 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00464-8>

Надійшло до редакції 23.07.2022

REFERENCES

1. Malkin, A. & Isayev, A. (2017). Rheology. Concepts, methods, and applications. 3rd ed. Toronto, Chemtec Publishing.
2. Luo, Q. & Chen, X. (2014). Experimental research on creep characteristics of Nansha soft soil. *Sci. World J.*, 5, 968728. <https://doi.org/10.1155/2014/968738>
3. Wang, Y. F., Zhou, Z. G. & Cai, Z. Y. (2014, May). Studies about creep characterizatic of silty clay on triaxial drained creep test. In *Advances in civil and industrial engineering IV: Selected, peer reviewed papers from the 4th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials, Applied Mechanics and Materials (Vol. 580-583)* (pp. 355-358). Stafa: Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.355>
4. Lai, X. L., Wang, S. M., Ye, W. M. & Cui, Y. J. (2014). Experimental investigation on the creep behavior of an unsaturated clay. *Can. Geotech. J.*, 51, No. 6, pp. 621-628. <https://doi.org/10.1139/cgj-2013-0064>
5. Lohnes, R. A., Millan, A., Demirel, T. & Handy, R. L. (1972). Tests for soil creep. In *Soils and bases: characteristics, classification, and planning* (pp. 24-33). Washington: Highway Research Board.
6. Malmeister, A. C., Tamuzhs, V. P. & Teters, G. A. (1980). *Strength of polymeric and composite materials*. 3rd ed. Riga: Zinatne (in Russian).
7. Savin, G. M. & Rushchitsky, J. J. (1976). *Elements of mechanics of hereditary media*. Kyiv: Vyshcha Shkola (in Ukrainian).

8. Kendzera, O., Rushchitsky, J. & Semenova, Yu. (2021). Simple way of allowance for rheologic properties of layered earth stratum in study of seismic waves. In Horizons in earth science research. Chapter 1. Vol. 23 (pp. 3-94). New York: Nova Science Publishers, Inc.
9. Rushchitsky, J. J. (2014). Nonlinear elastic waves in materials. Heidelberg: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-00464-8>

Received 23.07.2022

O.V. Kendzera¹, <https://orcid.org/0000-0002-2564-070X>

J.J. Rushchitsky², <https://orcid.org/0000-0002-0830-5030>

¹ S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

² S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: kendzera@igph.kiev.ua, rushch@inmech.kiev.ua

WAY OF DETERMINATION OF PARAMETERS OF RHEOLOGICAL MODEL OF SOIL LAYER BY EXPERIMENTAL CREEP CURVE OF LAYER

A method of determining the parameters of the standard three-constant rheological model is proposed, which is recommended to be applied to the description of the seismic waves in soil layers. The standard model is briefly described. Also, the essence of the method is outlined. The feature of this method is that it is enough to have one experimental creep curve of the soil layer to determine the three rheological parameters of the wave model. Some peculiarities of the approach are commented on.

Keywords: *a standard three-component rheological model of the soil layer, experimental creep curve, determination of model's parameters.*