
ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 624.159.1

М. А. Сницарь, асп. (НТУУ «КПІ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ К НАБУХАЮЩИМ ГРУНТАМ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

М. А. Snitsar (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnical Institute»)

APPLICATION THEORY OF LINEAR HEREDITARY CREEP TO SWELL SOIL IN HYDROTHERMAL CONDITIONS

Рассмотрены проблемы деформации ползучести набухающих грунтов при увлажнении водой $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ и водой высокой температуры $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ и более.

Путем испытания образцов набухающих грунтов из монтмориллонитовых и бентонитовых глин в лабораторных условиях при увлажнении водой $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ и $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ и более с различными уплотняющими давлениями, имитирующими давления от сооружений были получены семейства кривых ползучести.

Были проверены возможности применения различных теорий наследственной ползучести, таких как теория старения, теория линейной наследственной ползучести, теория нелинейной ползучести.

Установлено, что лучше всего описывает семейство кривых ползучести глинистых набухающих грунтов при увлажнении водой $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ и $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ и более теория линейной наследственной ползучести Ю.Н. Работнова с ядрами степенного ряда типа Абеля.

Ключевые слова: деформация ползучести, набухающие грунты, монтмориллонитовые и бентонитовые глины, уплотняющее давление, принцип суперпозиции, относительное набухание, напряжения, скорость набухания, модуль деформации.

Розглянуто проблеми деформації повзучості набухаючих ґрунтів при зволоженні водою $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ і водою високої температури $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ і більше.

Шляхом випробування зразків набухаючих ґрунтів з монтмориллонітових і бентонітових глин в лабораторних умовах при зволоженні водою $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ і $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ і більше з різними ущільнюючими тисками, що імітують тиск від споруд були отримані сімейства кривих повзучості.

Були перевірені можливості застосування різних теорій спадкової повзучості, таких як теорія старіння, теорія лінійної спадкової повзучості, теорія нелінійної повзучості.

Встановлено, що найбільш краще описує сімейство кривих повзучості глинистих набухаючих ґрунтів при зволоженні водою $T = 18 \div 20^\circ\text{C}$ і $T = 40 \div 80^\circ\text{C}$ і більше теорія лінійної спадкової повзучості Ю.Н. Работнова з ядрами степенного ряду типу Абеля.

Ключові слова: деформація повзучості, набухаючі ґрунти, монтморилонітові та бентонітові глини, ущільнюючий тиск, принцип суперпозиції, відносне набухання, напруги, швидкість набухання, модуль деформації.

Problems creep swelling soil when moistened with water $T = 18 \div 20$ ° C and high water temperature $T = 40 \div 80$ ° C or more.

By testing samples of swelling soils of montmorillonite and bentonite clays in the laboratory when moistened with water $T = 18 \div 20$ ° C and $T = 40 \div 80$ ° C or more different sealing pressure, simulating the pressure on family structures were obtained creep curves.

It was found that the most best describes the family of creep curves swelling clay soils when wet with water $T = 18 \div 20$ ° C and $T = 40 \div 80$ ° C and a linear theory of hereditary creep Yu. N. Rabotnov with the nuclei of the power series of Abel.

Keywords: *creep, swelling soils, montmorillonite and bentonite clay, sealing pressure, the principle of superposition, the relative swelling, tension, swelling rate, deformation modulus.*

Вступление. Существуют различные литературные источники по теории наследственной ползучести [1-5]. Но то, какие из этих теорий могут описывать состояние деформации набухающих глинистых грунтов не исследовано.

Цель и задачи. Путем испытания образцов набухающих грунтов из монтмориллонитовых и бентонитовых глин в лабораторных условиях при увлажнении водой $T=18\div 20^\circ\text{C}$ и $T=40\div 80^\circ\text{C}$ и более с различными уплотняющими давлениями, имитирующими давления от сооружений получить семейства кривых ползучести. Проверить возможность применения различных теорий наследственной ползучести. Установить теорию наследственной ползучести, которая наиболее лучше описывает семейство кривых ползучести глинистых набухающих грунтов при увлажнении водой $T=18\div 20^\circ\text{C}$ и $T=40\div 80^\circ\text{C}$ и более.

Результаты исследований. К семействам кривых ползучести, полученным путем испытания набухающих глин (монтмориллонитовой и бентонитовой) при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ и $T=40^\circ\text{C}\div 80^\circ\text{C}$ и более с уплотняющим давлением и во времени применяем теорию линейной наследственной ползучести, предложенную Л. Больцманом и В. Вольтерром. Эта теория основана на положении, что деформация в данный момент времени зависит не только от напряжения в этот же момент, но и от истории предшествующего деформирования. При этом учет предшествующих деформаций производится на основе принципа суперпозиции. Поэтому согласно линейной теории наследственной ползучести, изменение деформации во времени выражается интегральным уравнением. Построение кривых ползучести, согласно этой теории, сводится, прежде всего, к определению из опыта вида и параметров ядра ползучести.

Для этого относительное набухание во времени при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ представим из наследственной теории ползучести в следующем виде:

$$\varepsilon_{sw}(t) = \frac{1}{E_{0,mgn}} \left[P(t) + \int_0^t K(t-\tau)P(\tau)d\tau \right], \quad (1)$$

где $K(t-\tau)$ - ядро интегрального уравнения, характеризующее с точностью до постоянного множителя мгновенный модуль деформации $\varepsilon_{0,mgn}$.

Мгновенный модуль деформации $\varepsilon_{0,mgn}$ определяется по диаграмме «напряжение-относительное набухание $\varepsilon_{sw,t=0}$ », т.е. $P \sim \varepsilon_{sw,t=0}$, при моменте времени $t=0$.

Ядро интегрального уравнения $K(t-\tau)$ можно записать:

$$\frac{1}{E_{0,mgn}} K(t) = \frac{1}{P} \cdot \frac{d\varepsilon_{sw}}{dt} \quad (2)$$

Как видно из (2), функция ядра уравнения $K(t)$ зависит от напряжений P и скорости деформирования набухания $\frac{d\varepsilon_{sw}}{dt}$. Если известно изменение деформации набухания во времени $\varepsilon_{sw}(t)$, тогда изменение напряженного состояния во времени $P(t)$ можно определить следующей формулой:

$$P(t) = E_{0,mgn} \left[\varepsilon_{sw}(t) - \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon_{sw}(\tau) d\tau \right], \quad (3)$$

где $R(t-\tau)$ - функция резольвенты ядра ползучести.

Если принимать $\varepsilon_{sw}(\tau) = \varepsilon_{sw}(t) = const$, тогда можно продифференцировать обе части (3) по t , получим:

$$E_{0,mgn} R(t) = -\frac{1}{\varepsilon_{sw}} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

Из (4) видно, что резольвенту ядра ползучести $R(t)$, характеризующую скорость напряжения P измеряющегося во времени $\frac{dP}{dt}$ можно получить из эксперимента.

На рис. 1 приведены кривые скорости деформации набухания глины при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$ (сплошные) и $T=60^\circ\text{C}$ (пунктирные) при различных напряжениях.

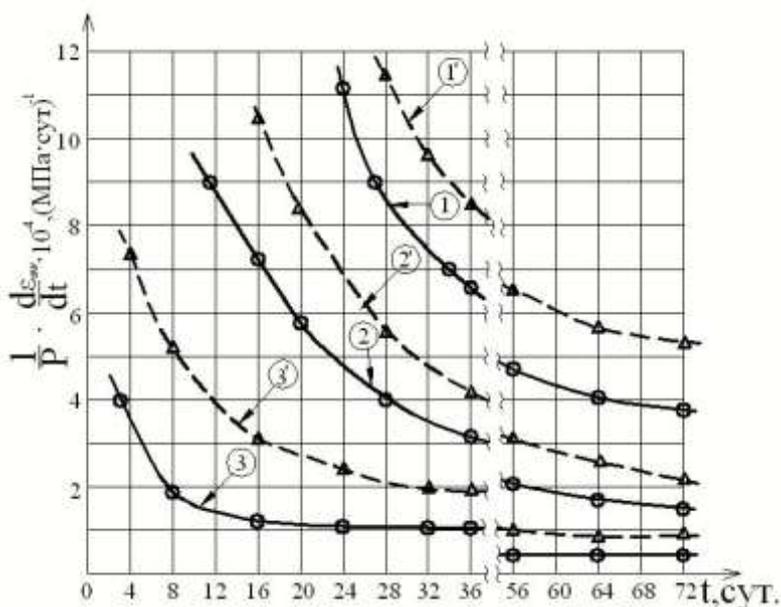


Рис. 1. Изменение скорости деформации набухания глины:

1 и 1' - при напряжении $P=0,2\text{МПа}$; 2 и 2' - при напряжении $P=0,4\text{МПа}$;

3 и 3' -, при напряжении $P=0,8\text{МПа}$ и увлажнении водой ($T=20^\circ\text{C}$ - сплошные линии и $T=60^\circ\text{C}$ - пунктирные линии)

Как видно из семейств кривых скорость деформации глины при набухании в начальный период времени ($t=0$) бесконечно велика как при увлажнении водой с $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$, так и с $T=40^\circ\text{C}-80^\circ\text{C}$, а с увеличением времени они резко затухают.

Используем для ядра ползучести $K(t-\tau)$ экспоненциальную функцию в следующем виде:

$$K(t-\tau) = \delta e^{-\delta_1(t-\tau)} \quad (5)$$

где δ , δ_1 - параметры ползучести набухающих глин.

Если принять в (1) $P(t) = P(\tau) = \text{const}$ и $K(t-\tau) = \delta e^{-\delta_1(t-\tau)}$, тогда получим:

$$\varepsilon_{sw}(t) = \frac{P}{E_{0,mgn}} \left[1 + \frac{P}{\delta_1} (1 - e^{-\delta_1 t}) \right] \quad (6)$$

Из (4.10) функция резольвенты ядра будет:

$$P(t) = E_{0,mgn} \varepsilon_{sw} \left[1 - \frac{\delta}{\delta + \delta_1} (1 - e^{-(\delta + \delta_1)t}) \right] \quad (7)$$

Реологические параметры экспоненциального ядра δ и δ_1 могут быть определены по следующей методике.

Из (6) видно, что скорость деформации ползучести набухания глины имеет следующий вид:

$$\frac{d\varepsilon_{sw}}{dt} = \frac{P}{E_{0,mgn}} \cdot \delta e^{-\delta_1 t} \quad (8)$$

Откуда можно написать:

$$\frac{E_{0,mgn}}{P} \cdot \frac{d\varepsilon_{sw}}{dt} = \delta e^{-\delta_1 t} \quad (9)$$

при $t=0$ имеем:

$$\frac{E_{0,mgn}}{P} \cdot \frac{d\varepsilon_{sw}}{dt} \Big|_{t=0} = \delta \quad (10)$$

Значит, параметр δ можно определить из графика скорости набухания в начальный момент времени $d\varepsilon_{sw}/dt$ с помощью умножения на $E_{0,mgn}/P$.

Зная величины δ , можно определить параметры δ_1 :

$$\delta_1 = \delta \frac{P}{E_{0,mgn} \varepsilon_{sw(\infty)} - P} \quad (11)$$

Значение параметров δ и δ_1 при $P=0,2\text{МПа}$ и увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ имеет величины $\delta = 0,034$; $\delta_1 = 0,0845$.

Из выражений (6) и (7) видно, что скорость деформации и напряжений при $t=0$ по экспоненциальному ядру ползучести имеет конечное значение. Однако это положение не подтверждается опытными данными показанными на

рис. 1 и линиями как при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, так и при $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более.

Поэтому проверяем возможность использования взамен экспоненциального уравнения ядро ползучести степенного ряда типа Абеля:

$$K(t-\tau) = \alpha(t-\tau)^{-\beta}, \quad (12)$$

где α и β - постоянные, причем $0 < \beta < 1$.

Если принять в (1) $P(t) = P(\tau) = const$ и $K(t-\tau) = \alpha(t-\tau)^{-\beta}$, то получим

$$\varepsilon_{sw}(t) = \frac{P}{E_{0,mgn}} \left[1 + \frac{\alpha}{1-\beta} t^{1-\beta} \right] \quad (13)$$

Из (13) видно, что при $t=0$, можно получить $\varepsilon_{sw(t=0)} = P/E_{0,mgn}$, тогда скорость деформирования будет:

$$\frac{d\varepsilon_{sw}}{dt} = \frac{P}{E_{0,mgn}} \alpha t^{-\beta} \quad (14)$$

Согласно (14), при $t=0$ получаем $d\varepsilon_{sw}/dt = \infty$, а при $t \rightarrow \infty$ будем иметь $d\varepsilon_{sw}/dt \rightarrow 0$, что подтверждается результатами опытов (рис. 1) приведенными выше.

Следует отметить, что постоянные α и β зависят от влажности, от вида набухающих глин (бентонитовых или монтмориллонитовых) и уплотняющих давлений, это вытекает из теории линейной наследственной ползучести.

В табл. 1. приведены значения реологических параметров α и β при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Реологические параметры α и β

Уплотняющее давление P_i , МПа	Образцы из монтмориллонитовой глины, взятые из глубины 4,5 м		Образцы из бентонитовой глины, взятые из глубины 5,5 м	
	β	$\alpha, \text{сут}^{-1}$	β	$\alpha, \text{сут}^{-1}$
0,2	0,918	0,0214	0,846	0,0271
0,4	0,938	0,0612	0,862	0,0308
0,8	0,956	0,0894	0,868	0,0386
1,2	0,974	0,0442	0,936	0,0307
1,6	0,982	0,0276	0,956	0,0544

Используя приведенные значения реологических параметров в табл. 1 с помощью формулы линейной наследственной ползучести (13) определили относительную деформацию набухания для монтмориллонитовой глины при различных уплотняющих давлениях.

Для применения теории линейной наследственности набухающих глин при увлажнении водой $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более, необходимо учитывать эффект температуры воды.

Например, для определения относительного набухания во времени $\varepsilon_{sw}(t)$ при увлажнении водой $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более формулу (11), характеризующую линейную наследственную ползучесть при увлажнении водой $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$,

необходимо умножить на коэффициент n_T , который приведен выше в зависимости от температуры воды, в следующем виде:

$$\varepsilon_{sw}(t) = \left\{ \frac{1}{E_{0,mgm}} \left[P(t) + \int_0^t K(t-\tau)P(\tau)d\tau \right] \right\} n_T \quad (11')$$

Таким образом, формулы (1)-(14) при учете температуры воды $T=40^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}$ и более требуется умножить на коэффициент n_T .

Следует отметить, что линейная теория наследственной ползучести достаточно хорошо описывает реологию набухающих глин, как при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$, так и при $T=40^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}$ и более, с учетом коэффициента n_T .

Для описания реологических процессов в набухающих грунтах во время увлажнения водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$ и $T=40^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}$ и более рассмотрим возможность применения теории нелинейной наследственной ползучести, предложенную Ю.Н. Работновым. Учет нелинейной наследственной ползучести между напряжением и деформацией позволит ближе характеризовать набухаемые деформации в глинистых грунтах при увлажнении обычной и горячей водой. Процесс набухания при увлажнении обычной водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$, а также $T=40^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}$ и более в качественном отношении одинаковый, только отличается в количественном отношении и времени набухания.

На рис. 2 показаны зависимость относительного набухания $\varepsilon_{sw}(t)$ от уплотняющих давлений P_i при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$ (сплошные линии) и $T=60^\circ\text{C}$ (пунктирные линии) в различные периоды времени t .

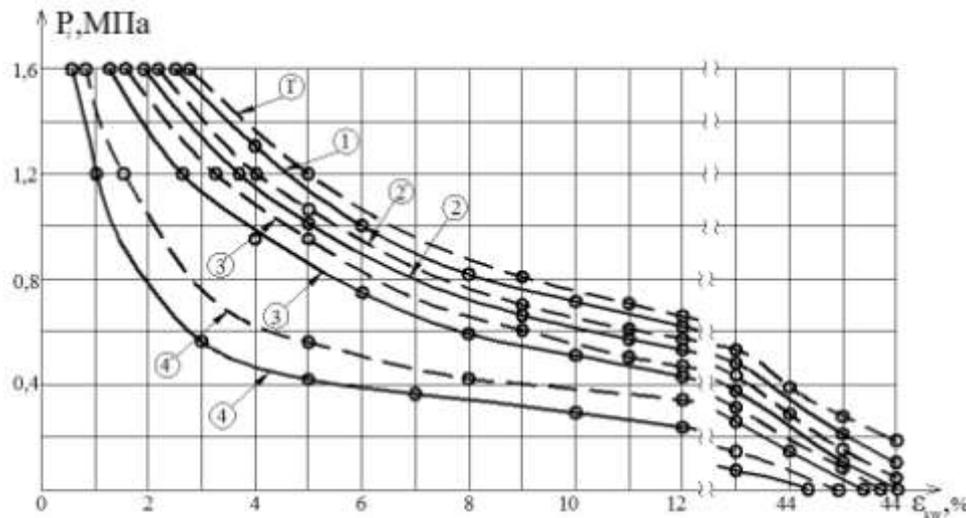


Рис. 2. Зависимость относительного набухания $\varepsilon_{sw}, \%$ от уплотняющих давлений $P_i, \text{МПа}$ при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C} \div 20^\circ\text{C}$ (сплошные) и $T=60^\circ\text{C}$ (пунктирные линии) для различных периодов времени t :

1-1' - $t=0$ сут.; 2-2' - $t=10$ сут.; 3-3' - $t=35$ сут.; 4-4' - $t=80$ сут

Как видно из рис. 2. связь между уплотняющей нагрузкой (давлением) P_i и относительной деформацией $\varepsilon_{sw}(t)$ набухания при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ и $T=40^\circ\text{C}\div 80^\circ\text{C}$ и более в различных периодах времени носит нелинейный характер.

Кривые $P_i \sim \varepsilon_{sw}(t)$ можно выпрямить на логарифмической системе координат. На рис. 3 показаны зависимости $P_i \sim \varepsilon_{sw}(t)$ в логарифмической системе координат.

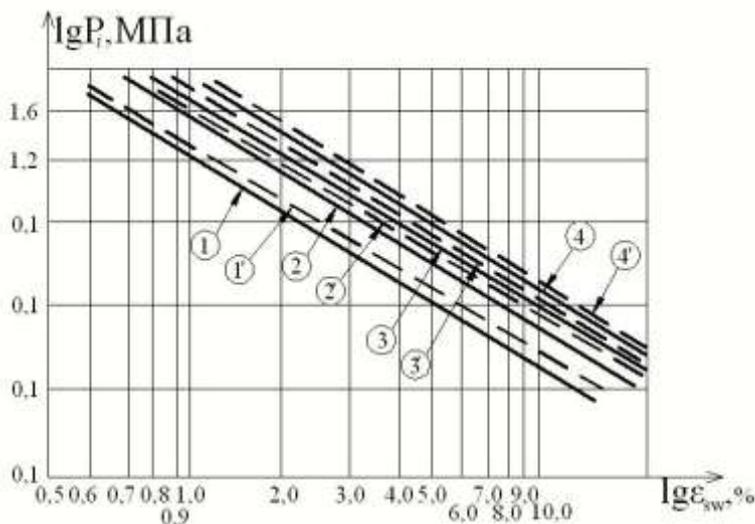


Рис. 3. Зависимость набухающих деформаций ε_{sw} от уплотняющих давлений P_i , на логарифмических координатах для различных периодов времени при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ (сплошные линии) и $T=60^\circ\text{C}$ (пунктирные линии)

Кривые $P_i \sim \varepsilon_{sw}(t)$, выпрямленные в логарифмической системе координат, приведенной на рис. 3 можно описать, как семейство изохронных кривых ползучести для набухающих глин при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ и $T=40^\circ\text{C}\div 80^\circ\text{C}$ и более, только при $T=40^\circ\text{C}\div 80^\circ\text{C}$ и более они имеют количественные отличия:

$$P = \psi(t) \varepsilon_{sw}^{-m}, \quad (15)$$

где $\psi(t)$ - коэффициент деформации, МПа, имеющий свое значение для каждой кривой, т.е. зависящий от времени, колеблется от 1,30 до 1,8 МПа при увлажнении водой $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$, а при $T=40^\circ\text{C}\div 80^\circ\text{C}$ и более эти параметры умножаются на коэффициент n_T , величина которого зависит от температуры воды T , и принимается как было приведено выше. При этом постоянный параметр m имеет значение $m=0,713$, для воды $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$ и определяется опытным путем. При отсутствии опытных данных можно принимать значение m , таким же как принято для $T=18^\circ\text{C}\div 20^\circ\text{C}$, т.е. $m=0,713$.

Функция $\psi(t)$ нелинейная, но выпрямляется в логарифмической системе координат. Это характеризует, что зависимость $\psi \sim t$ может быть представлена

степенной функцией, как при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, так и $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более, следующей формулой:

$$\psi(t) = a_0 + at^b. \quad (16)$$

Значение показателей a и b для исследованных образцов из монтмориллонитовых и бентонитовых глин получены равными при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, $a_0 = 1,35 \text{ МПа}$; $a = 0,24 \text{ МПа} \cdot \text{с} \cdot \text{е} \cdot \text{н}^{-b}$; $b = 0,174$. При увлажнении водой $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более формула (4.24) будет иметь вид:

$$\psi_T(t) = (a_0 + at^b)n_T, \quad (16')$$

где n_T - коэффициент учитывающий эффект температуры воды, который приведен выше, при различной величине температуры воды T в процессе увлажнения набухающих глинистых грунтов.

Если к набухающим глинистым грунтам применить теорию нелинейной наследственной ползучести Ю.Н. Работнова, то относительные деформации во времени при постоянном значении уплотняющих напряжений, $P = \text{const}$ можно написать следующее выражение:

$$\varphi[\varepsilon_{sw}(t)] = P_0 \left[1 + \int_0^t K(t) dt \right]. \quad (17)$$

С.С. Вялов использовал теорию нелинейной наследственной ползучести Ю.Н. Работнова для вечномерзлых грунтов в следующем виде:

$$\varphi(\varepsilon_{sw}) = P_0 [1 + S(t)]. \quad (18)$$

В формуле (17) $P_0 = \text{const}$, а $K(t)$ - ядро ползучести, и из формулы (18) $S(t)$ - функция ползучести. Между $S(t)$ - функция ползучести или мера ползучести и $K(t)$ существует связь, т.е.:

$$S(t) = \int_0^t K(t) dt = \frac{\psi(0)}{\psi(t)} - 1 = \frac{a_0}{a_0 + at^b} - 1;$$

$$K(t) = \frac{dS(t)}{dt} = \psi(0) \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{\psi(t)} \right] = -a_0 ab \frac{t^{b-1}}{[a_0 + at^b]^2}. \quad (19)$$

Если подставить в (18) вместо $\varphi[\varepsilon_{sw}] = a_0 \varepsilon_{sw}^{-m}$ и выражение меры ползучести $S(t)$, мы получим принятый закон деформирования глинистых грунтов при их набухании выраженный в формуле (15). На реологические процессы в набухающих глинах оказывает существенное влияние их природная влажность.

Модуль деформации изменяется во времени t , поэтому при использовании теории нелинейной наследственной ползучести мгновенный модуль деформирования набухающих глин при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, а также $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более, необходимо принимать $E_{0,mgn}(t)$. Здесь ядро ползучести уже не становится функцией разности аргумента $t - \tau$, а начало отсчета времени произвольно. При набухании грунтов в процессе увлажнения водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, можно значение $E_{0,mgn}$, принимать после $t_0 = 15 \text{ сут.}$, а при $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более значение $E_{0,mgn}$ можно принимать после $t_0 = 6 \text{ сут.}$ Таким образом, мгновенный модуль деформации определяется после

времени при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$ $t_0 = 15\text{сут.}$, а при $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более после $t_0 = 6\text{сут.}$

Выводы

При увлажнении набухающих грунтов водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$ семейства кривых ползучести отличаются от увлажнения водой $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более при одинаковых величинах уплотняющих давлений.

Семейство кривых ползучести как при увлажнении водой $T=18^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, так и $T=40^{\circ}\text{C}\div 80^{\circ}\text{C}$ и более лучше описывает теория линейной наследственной ползучести, предложенная Ю.М. Роботновым и ядро степенной функции Абеля.

Скорость деформации ползучести набухания выражается экспоненциальными ядрами начального момента времени δ при давлении $P=0,2\text{МПа}$ и реологическими параметрами набухающих грунтов.

Список использованных источников

1. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести / Н.Х. Арутюнян. – М., Л.: Гостехтеориздат, 1952. - 327 с.
2. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М.: Высш. шк., 1978. - 447 с.
3. Зарецкий, Ю.К. Лекции по современной механике грунтов / Ю.К. Зарецкий. – Ростов- на- Дону, 1989. - 608 с.
4. Роботнов, Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю.Н. Роботнов. – М.: Наука, 1968. – 752с.
5. Ржаницын, А.Р. Теория ползучести / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1968. – 416с.

Статья поступила в редакцию 27.05.2015 г.

УДК 681.515+62-551.453

Б. Л. Тишевич, к.т.н, доцент (НТУУ «КПІ»)

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

B. L. Tyshkevych (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnical Institute»)

NEURAL NETWORK FOR SHORT-TERM FORECASTING OF ELECTRIC LOAD IN THE POWER SYSTEM