

А.А. Жакулина, А.С. Жакулин

*Карагандинский государственный технический университет, Казахстан
(E-mail: adilzhakulin@mail.ru)*

Выбор грунтовой модели для затухающей ползучести и методы их описания

В статье исследованы методы выбора реологических моделей при затухающей ползучести грунтов оснований фундаментов на основе экспериментальных опытов и уравнения для их описания. При этом учитывались вязкие свойства глинистых грунтов территории Казахстана. Приведены примеры для определения коэффициента вязкости и параметров ползучести по результатам экспериментальных данных, свидетельствующие о новизне метода.

Ключевые слова: модель, реология, ползучесть, грунты, длительная прочность, теория ползучести, модуль деформации, реологические параметры.

Введение

Реологические модели могут быть обоснованы и выбраны только по результатам экспериментов при исследовании грунтов на длительную ползучесть. Экспериментальные кривые на длительную прочность хорошо описываются уравнением ползучести для линейной наследственной среды в более общем виде (при $\sigma = \sigma_0 = \text{const}$)

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} (1 + \Phi),$$

где Φ — функция ползучести. На основании исследований Ж.С. Ержанова [1, 2], заложившего основы теории ползучести в геомеханике, функцию ползучести можно представить в виде

$$\Phi = \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha},$$

где α и δ — экспериментальные характеристики ползучести грунтов. Испытания грунтов заключаются в том, что образец грунтов получает заданную нагрузку, которая в течение опыта остается постоянной ($\sigma_0 = \text{const}$). Заданному напряжению соответствуют начальные условия $\sigma_0 = E\epsilon_0$. Явление ползучести выражается в уменьшении деформации с течением времени при постоянном напряжении. Экспериментальными исследованиями, проведенными авторами, установлено, что развитие деформации грунтов территории Центрального Казахстана ненарушенной структуры, природной влажности и плотности носит вязкоупругопластический характер и обладает затухающей ползучестью скелета. Затухающая ползучесть имеет место в основаниях сооружений лишь при внешних давлениях, не превосходящих определенного значения, соответствующего наступлению стадии пластично-вязкого течения. В процессе затухающей ползучести коэффициент вязкости глинистых грунтов все время возрастает вследствие уплотнения и упрочнения водно-коллоидных оболочек минеральных частиц, закрытия микротрещин и возникновения новых структурных связей. Для грунтов определим коэффициент вязкости и модуль деформации для описания ползучести суглинка. Из уравнения ползучести при $t \rightarrow \infty$ имеем

$$\epsilon_\infty = \sigma/E.$$

В условиях эксперимента $\sigma = 0,10$ МПа наблюдается длительная деформация из графика $\epsilon_\infty = 1,12 \cdot 10^{-2}$, следовательно, $E = \frac{0,1}{1,12 \cdot 10^{-2}} = 8,92$ МПа. Из уравнения ползучести определим коэффициент вязкости

$$\eta = -\frac{Et}{\ln(1 - E\epsilon/\sigma)}.$$

По кривой ползучести устанавливаем: при $t=4$ сут $\epsilon = 0,7 \cdot 10^{-2}$; при $t=16$ сут $\epsilon = 1,12 \cdot 10^{-2}$. Подставив эти значения, а также $E=8,92$ МПа и $\sigma=0,1$ МПа в формулу, получим

$$\eta = -\frac{8,92 \cdot 4}{1 - \frac{8,92 \cdot 0,7 \cdot 10^{-2}}{0,1}} = 1629 \text{ МПа} \cdot \text{сут} = 14 \cdot 10^7 \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

Аналогично вычислим коэффициент вязкости для $t = 16$ сут и получим $\eta = 1547$ МПа·сут. = $13,4 \cdot 10^7$ МПа·с. Среднее значение коэффициента вязкости равно $\eta = 1590$ МПа·сут. = $13,7 \cdot 10^7$ МПа·с.

При исследовании затухающей ползучести грунтов необходимо различать объемную ползучесть (имеющую место при местном или общем сжатии, например, при компрессии) и ползучесть при сдвиге при постоянно действующих горизонтальных усилиях [3]. Установленная затухающая ползучесть пылевато-глинистых грунтов обуславливает так называемую вторичную (вязкоползучую) консолидацию [4–6]. Вязкоползучая деформация, как указывалось ранее, возникает вследствие деформации ползучести скелета грунта, наиболее применимой для глинистых грунтов. Основные уравнения при решении задач по линейной теории наследственной ползучести – это уравнения состояния скелета грунта. Уравнение напряженно-деформированного состояния грунтов при затухающей ползучести и однократном нагружении будет иметь вид

$$\epsilon(t) = \sigma(t)/E_{\text{мгн}} + K(t - t_0)\sigma(t)\Delta t_0,$$

где первый член правой части означает мгновенную деформацию в момент t (при модуле мгновенной деформации $E_{\text{мгн}}$), второй член характеризует деформации, которые накапливаются во времени и пропорциональны напряжению $\sigma(t)$, промежутку времени действия Δt_0 и некоторой функции $K(t - t_0)$, зависящей от времени, прошедшего с момента t_0 (ядру ползучести). Уравнение при непрерывном нагружении имеет следующий вид:

$$\epsilon(t) = \left(\frac{1}{E_{\text{мгн}}} \right) \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t - t_0)\sigma(t_0)dt_0 \right],$$

где $\overline{K(t - t_0)} = K(t - t_0)/\text{мгн}$. Наиболее оправданным вариантом для пылевато-глинистых грунтов считается экспоненциальное ядро ползучести, имеющее вид

$$\overline{K(t - t_0)} = \delta e^{-\delta_1(t - t_0)},$$

где δ, δ_1 – параметры ползучести (коэффициент ядра ползучести δ и коэффициент затухания ползучести δ_1), определяемые экспериментальным путем.

При определении параметров ползучести глинистых грунтов по результатам дренированных компрессионных испытаний необходимо обеспечить полное насыщение образцов грунта водой, что будет соответствовать отсутствию пузырьков воздуха в поровой воде (насыщение образцов грунта водой достигается под вакуумом). В стабилизированной конечной для данной ступени нагрузке состояния коэффициента конечной относительной сжимаемости m_v^k определяются следующей формулой:

$$m_v^k = s_\infty / (p_i h_i),$$

где s_∞ – стабилизированная осадка грунта при данной ступени нагрузки; p_i – полное давление для данной ступени нагрузки; h_i – высота образца грунта; k – коэффициент относительной сжимаемости в момент приложения нагрузки (коэффициент первичной относительной сжимаемости) m_v' , определяемый в зависимости от компрессионных и фильтрационных свойств грунта по формуле, вытекающей из выражения

$$m_v' = k_\phi / (\gamma_w c_v),$$

где k_ϕ, c_v – коэффициенты фильтрации и консолидации в начале компрессионного уплотнения (например, при степени консолидации $U_0 = 0,2$ или $U_0 = 0,3$).

Имея показатели m_v^k и m_v' , по результатам наблюдения осадки испытываемого образца грунта после спада до нуля порового давления ($p_w = 0$) определяем относительные скорости осадки за счет ползучести скелета грунта для различных промежутков времени, а по ним – коэффициент затухания ползучести δ_1 . Для этого строят кривую зависимости логарифма скорости относительной осадки на единицу давления $\ln \frac{s}{ph}$, где $s = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ от времени t , когда тангенс угла наклона полученной полулогарифмической прямой к оси t будет численно равен коэффициенту затухания ползучести δ_1 (1/мин) (см. рис.):

$$\delta_1 = tg\zeta.$$

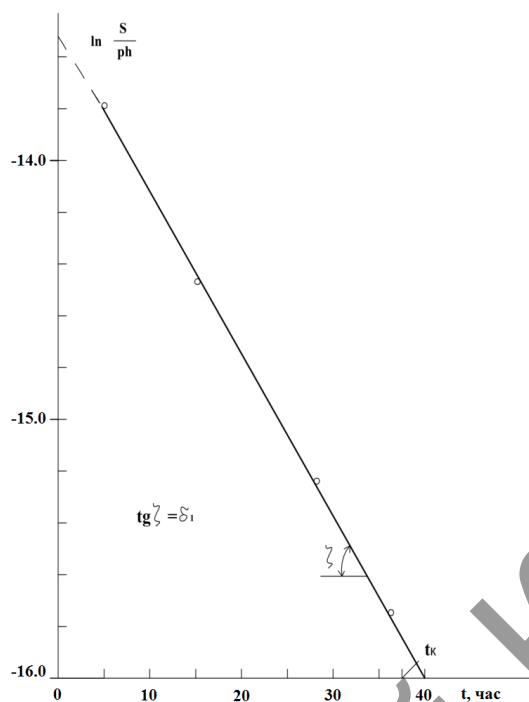


Рисунок. Определение коэффициента затухания ползучести

Зная коэффициент затухания ползучести δ_1 , коэффициент ядра ползучести δ_1 можно определить по формуле

$$\delta = \delta_1 m_v'' / m_v'$$

где m_v'' — вторичный коэффициент относительной сжимаемости (за счет ползучести скелета грунта). Исходя из принятой экспоненциальной зависимости, для ядра затухающей ползучести выводим

$$m_v'' = (m_v^k - m_v') / (1 - e^{-\delta_1 t_k}),$$

где t_k — время практически полной стабилизации осадки (при данной ступени нагрузки).

Приведенные выражения позволяют однозначно определять параметры затухающей ползучести, используемые в расчетах осадков грунтовых оснований. Необходимо также отметить, что для определения параметров ползучести δ и δ_1 по результатам дренированных компрессионных испытаний требуется продолжительные до нескольких дней и достаточно точные измерения осадок испытываемых образцов грунта. Как было показано, время таких наблюдений можно сократить примерно до одного дня, если определение производить по результатам недренированных испытаний (по закрытой системе) образцов не полностью водонасыщенных грунтов с измерением порового давления.

Список литературы

- 1 Цытович Н.А. Основы геомеханики в строительстве / Н.А.Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. — М.: Высш. шк., 1981. — 382 с.
- 2 Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. — М.: Высш. шк., 1978. — 448 с.
- 3 Жакулин А.С. Деформируемость грунтов водонасыщенных оснований / А.С. Жакулин. — Saarbrücken: LAP, 2015. — 246 с.
- 4 Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. — М.: Высш. шк., 1987. — 221 с.
- 5 Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев. — М.: Высш. шк., 2002. — 566 с.

6 Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и их расчет / З.Г. Тер-Мартirosян. — М.: Высш. шк., 2012. — 321 с.

А.Ә. Жакулина, Ә.С. Жакулин

Бәсеңдеген жылжу үшін топырақ үлгісін таңдау және оны сипаттау әдістері

Мақалада топырақ көшу негіздерінің серпімділік үлгісі анықталып, есепті шығару мәселесі қарастырылды. Қазақстан аймақтарындағы топырақтарды еске алып, ұзақ мерзімдегі ғимараттардың іргетастарының шөгу мөлшерін анықтауға болады. Келтірілген мысалдар алынған нәтижелердің серпімділік және топырақ жылжуының көрсеткіштерін алуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: үлгі, серпімділік, көшу, топырақ, ұзақ беріктілік, топырақ жылжудың теориясы, өзгеріс модулі, реологиялық көрсеткіштер.

A.A. Zhakulina, A.S. Zhakulin

The ground foundations model for an attenuation creep and methods of their description

In the article are investigational methods of choice rheological to the model at the attenuation creep of soils of grounds of foundations on the basis of experimental experiments and equalization for their description. Viscid properties of clay soils of territory of Kazakhstan are thus taken into account. Examples are made for determination of coefficient of viscosity and parameters creeps on results experimental data, testifying to the novelty of method.

Keywords: model, rheology, creep, soils, long-term strength, thorium creep, modulus of deformation, rheological parameters.

References

- 1 Tsytoich, N.A., Ter-Martirosian, Z.G. (1981). *Osnovy heomekhaniki v stroitelstve [Bases of applied geomechanics in construction]*. Moscow: Visshaya shkola [in Russian].
- 2 Vyalov, S.S. (1978). *Reolohicheskie osnovy mekhaniki hruntov [Rheological principles of soil mechanics]*. Moscow: Visshaya shkola [in Russian].
- 3 Zhakulin, A.S. (2015). *Deformiruemost hruntov vodonasyshchennykh osnovanii [Deformed saturated soils ground foundation]*. Saarbrücken: LAP [in Russian].
- 4 Fadeev, A.B. (1987). *Metod konechnykh elementov v heomekhanike [The Method of Final Elements in Geomechanics]*. Moscow: Visshaya shkola [in Russian].
- 5 Ukhov, S.B., Semenov, V.V., Znamenskii, V.V., Ter-Martirosian, Z.G., Chernyshev, S.N. (2002). *Mekhanika hruntov, osnovaniia i fundamenty [Soil Mechanics, Foundations]*. Moscow: Visshaya shkola [in Russian].
- 6 Ter-Martirosian, Z.G. (2012). *Reolohicheskie parametry hruntov i ikh raschety [Reologic Parameters of the Grounds and Calculations of the Construction Foundations]*. Moscow: Visshaya shkola [in Russian].