

А. В. ШАПОВАЛ (Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, Днепропетровск)

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИКАЦИИ ТЕОРИИ СТАРЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКЕ

Предложена модификация теории старения, позволяющая давать уточненный прогноз развития во времени деформаций грунтовых оснований, находящихся под воздействием переменной внешней нагрузки. Основное ее отличие от классического варианта теории старения заключается в том, что приближенное решение строится не на всем рассматриваемом промежутке времен, а на совокупности некоторых интервалов, которые следует выбирать с использованием определенных правил, которые рассмотрены в настоящей работе.

Ключевые слова: модификация, старение, грунт, деформация, основание, ползучесть, сплайн-крипп

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами

Прогноз развития во времени деформаций грунтовых оснований важен для определения напряженно-деформированного состояния фундаментов и расположенных на них конструкций [1, 2, 5].

В настоящее время для этой цели используется очень сложный и громоздкий математический аппарат уравнений Вольтера [1, 2, 3, 6]. При этом использование для решения задач прогноза развития во времени деформаций грунтовых оснований относительно простой теории старения [2, 7] не всегда позволяет получать приемлемые результаты.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы

На наш взгляд, наиболее близкими к изложенным ниже материалам исследований являются полученные авторами работ [7] результаты, в которых исследовалось поведение под внезапно приложенной постоянной во времени нагрузкой системы «основание – фундамент – надфундаментное строение».

При этом изложенный в работе [7] алгоритм определения НДС грунтовых оснований при воздействии на них переменной во времени нагрузки не позволяет получать достоверные результаты.

Выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена данная статья

При написании настоящей работы задача исследований была сформулирована так. Из-

вестны упругие и реологические свойства грунтового основания. Известен закон изменения во времени действующей на основание внешней нагрузки. С использованием элементов теории старения требуется определить деформации основания в расчетный момент времени t .

Цель работы – разработка и обоснование алгоритма определения напряженно-деформированного состояния обладающего реологическими свойствами грунтового основания с использованием элементов теории старения.

Изложение основного материала исследования

Для иллюстрации предлагаемого метода рассмотрим задачу об определении деформации в момент времени t находящегося в условиях компрессии грунтового образца высотой h , к которому в момент времени $t=0$ приложена нагрузка $q(t)$. Допустим, что его упругие свойства описываются константами Ламе λ и G , а реологические – ядром ползучести $K(t, \tau)$, где t – время, а τ – имеющий размерность времени параметр [1, 6].

Точное решение задачи в указанной постановке имеет вид:

$$S(t) = \frac{h}{a_k} \cdot \left[q(t) + \int_0^t q(\tau) \cdot K(t, \tau) \cdot d\tau \right], \quad (1)$$

где $S(t)$ – осадка образца в момент времени t ; $q(t)$ – действующая в момент времени t на образец нагрузка; $a_k = \lambda + 2 \cdot G$ – упругий модуль объемного сжатия грунта.

После этого рассмотрим случай постоянной во времени нагрузки, т. е. $q(t) = q = const$.

В этом случае точное решение задачи имеет вид:

$$S(t) = q \cdot \frac{h}{a_k} \cdot \left[1 + \int_0^t K(t, \tau) \cdot d\tau \right]. \quad (2)$$

Далее найдем решение задачи в рамках теории старения. Согласно [1, 7] в данном случае вначале по формуле

$$a_k(t) = \frac{a_k}{1 + \int_0^t K(t, \tau) \cdot d\tau} \quad (3)$$

следует определить модуль объемного сжатия (в рамках теории старения он явно зависит от времени), а затем по формуле

$$S(t) = \frac{q \cdot h}{a_k(t)} = \frac{q \cdot h}{a_k} \cdot \left[1 + \int_0^t K(t, \tau) \cdot d\tau \right] \quad (4)$$

найти осадку образца.

Сопоставление формул (2) и (4) позволило нам сделать вывод о том, что в данном случае использование теории старения позволило получить результат, полностью совпадающий с точным решением задачи.

Далее рассмотрим представленный на рис. 1 закон изменения нагрузки.

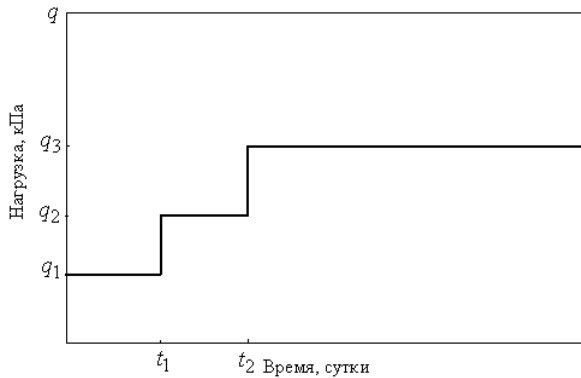


Рис. 1. Зависимость действующей на образец нагрузки от времени

В данном случае точное решение задачи имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} S(t) &= \frac{h}{a_k} \cdot \left[q(t) + \int_0^t q(t) \cdot K(t, \tau) \cdot d\tau \right]; \\ q(t) &= q_1 + (q_2 - q_1) \cdot U(t - t_1) + \\ &+ (q_3 - q_2) \cdot U(t - t_2). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $U(t)$ – ступенчатая функция Хевисайда.

При этом решение, полученное в рамках теории старения для представленной на рис. 1 нагрузки имеет вид:

$$S(t) = \frac{q(t) \cdot h}{a_k(t)} = \left[q_1 + (q_2 - q_1) \cdot U(t - t_1) + (q_3 - q_2) \cdot U(t - t_2) \right] \times \frac{h}{a_k} \cdot \left[1 + \int_0^t K(t, \tau) \cdot d\tau \right] \quad (6)$$

Для того чтобы сопоставить полученные нами точное (5) и приближенное (6) решения положим:

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= 1; q_2 = 2; q_3 = 3; \\ t_1 &= 1; t_2 = 2; \\ K(t, \tau) &= 0,5 \cdot \exp[-0,5 \cdot (t - \tau)]; \\ S^* &= \frac{a_k}{h} \cdot S(t). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Далее подставим (6) в равенства (5) и (6). Полученные в ходе интегрирования зависимости в графической форме представлены на рис. 2. Их анализ позволил нам сделать вывод о том, что в данном случае расхождение между точным и приближенным решениями составляет 50%

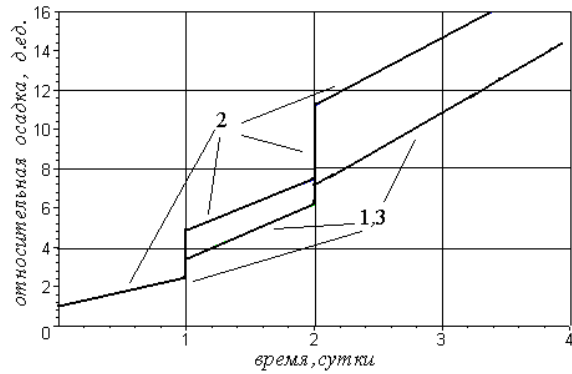


Рис. 2. Зависимость осадки грунтового образца от времени:

1 – точное решение; 2 – то же, приближенное, установленное с использованием классической теории старения; 3 – то же, приближенное, рассчитанное с использованием предложенной нами модификации теории старения.

Кривые 1 и 3 совпадают

После этого используем для расчета осадки предложенную нами модификацию теории старения. Ступенчатую нагрузку представим в виде

$$q(t) = \sum_{i=1}^n q_i \cdot [U(t - t_i) - U(t - t_{i+1})]. \quad (7)$$

В частности, представленная на рис. 1 зависимость нагрузки от времени с использованием формулы (7) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} q(t) = & q_1 \cdot [U(t-0) - U(t-t_1)] + \\ & + q_2 \cdot [U(t-t_1) - U(t-t_2)] + \\ & + q_3 \cdot [U(t-t_2) - U(t-\infty)] = \\ & q_1 \cdot [1 - U(t-t_1)] + \\ & + q_2 \cdot [U(t-t_1) - U(t-t_2)] + \\ & + q_3 \cdot U(t-t_2). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Далее найдем осадку образца на интервале времен $t \in (t_i, t_{i+1})$. При этом положим модуль компрессионного сжатия, высоту образца и действующую на него нагрузку равной единице. Имеем

$$S(t) = \left\{ \begin{aligned} & [U(t-t_i) - U(t-t_{i+1})] + \\ & + \int_0^t [U(\tau-t_i) - U(\tau-t_{i+1})] \cdot K(t, \tau) \cdot d\tau \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В соответствии с теорией старения на данном интервале времен $t \in (t_i, t_{i+1})$ модуль компрессионного сжатия равен

$$a_{k,i}(t) = \frac{a_k}{\left[\begin{aligned} & U(t-t_i) - \\ & - U(t-t_{i+1}) \end{aligned} \right] + \int_0^t \left[\begin{aligned} & U(\tau-t_i) - \\ & - U(\tau-t_{i+1}) \end{aligned} \right] \cdot K(t, \tau) \cdot d\tau} \quad (10)$$

Далее используем теорию старения применительно к расчету осадки на каждом из n временных интервалов (формулы (7) и (10)). Имеем

$$\left. \begin{aligned} S(t) = & \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{a_{k,i}(t)} = \\ = & \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{a_k} \cdot \left\{ \begin{aligned} & [U(t-t_i) - U(t-t_{i+1})] + \\ & + \int_0^t [U(\tau-t_i) - U(\tau-t_{i+1})] \cdot K(t, \tau) \cdot d\tau \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $a_{k,i}(t)$ – модуль компрессионного сжатия на интервале времен $t \in (t_i, t_{i+1})$.

Рассчитанная с использованием формулы (11) зависимость осадки от времени представлена на рис. 2.

Анализ представленных на рис. 2 кривых позволил нам сделать вывод о том, что рассчи-

танная с использованием предлагаемой нами модификации теории старения кривая полностью совпадает с точным решением задачи. При этом расхождение между точным решением и решением, установленным с использованием классического варианта теории старения достигает 50%.

Этот факт позволил нам сделать вывод о том, что предложенная нами модификация теории старения обязана найти свое место в кругу решаемых задач механики грунтов и фундаментостроения.

Кроме того, изложенный в настоящей работе подход допускает естественное обобщение на случаи кусочно-линейной, кусочно-квадратичной нагрузки и вообще, для нагрузки, закон изменения во времени которой можно аппроксимировать с использованием ступенчатых, линейных, квадратных, кубических и иных сплайнов [4].

В этой связи изложенную в настоящей работе модификацию теории старения целесообразно назвать методом сплайн-криппа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зарецкий, Ю. К. Теория консолидации грунтов [Текст] / Ю. К. Зарецкий. – М.: Наука. 1967 – 270 с.
2. Зарецкий, Ю. К. Лекции по современной механике грунтов [Текст] / Ю. К. Зарецкий. – Ростов на Дону, 1989 – 608 с.
3. Корн, Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 840 с.
4. Корнейчук, Н. П. Сплайны в теории приближения [Текст] / Н. П. Корнейчук. – М.: Наука, 1984. – 352 с.
5. Цытович, Н. А. Прогноз скорости осадок оснований и сооружений [Текст] / Н. А. Цытович и др. – М.: Стройиздат, 1967. – 238 с.
6. Шаповал, А. В. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации [Текст]: монография / А. В. Шаповал, В. Г. Шаповал. – Д.: Пороги, 2009. – 311 с.
7. Шаповал, А. В. Особенности взаимодействия водонасыщенных обладающих свойством ползучести оснований со зданиями и сооружениями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Д.: 2007. – 210 с.

Поступила в редколлегию 19.06.2012.

Принята к печати 27.06.2012.

А. В. ШАПОВАЛ (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпропетровськ)

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАЦІЇ ТЕОРІЇ СТАРІННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОСІДАНЬ ҐРУНТОВИХ ОСНОВ ПРИ ЗМІННОМУ У ЧАСІ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Запропоновано модифікацію теорії старіння, що дозволяє давати уточнений прогноз розвитку в часі деформацій ґрунтових підстав, що перебувають під впливом змінного зовнішнього навантаження. Основна її відмінність від класичного варіанта теорії старіння полягає в тому, що наближене рішення будується не на всьому розглянутому проміжку часів, а на сукупності деяких інтервалів, які слід вибирати з використанням певних правил, які оговорено в даній роботі.

Ключові слова: модифікація, старіння, ґрунт, деформація, основа, повзучість, сплайн-крипп

A. V. SHAPOVAL (Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dniepropetrovsk)

FOR USING MODIFICATION OF THE CRYP THEORY FOR THE CALCULATION OF SETTLEMENTS WITH A VARIABLE BASE GROUND EXTERNAL LOAD

Modification of theory of senescence, allowing to give the specified prognosis of development in time of deformations of grounds, being under act of the variable external loading, is offered. Its basic difference from the classic variant of theory of senescence consists in that a close decision is built not on all of the examined interval of times, but on the aggregate of some intervals which it is necessary to choose on set rules.

Keywords: modification, aging, ground deformation, ground, creep, spline-creep