

## *КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ*

**М.П. ШИРЯЕВА, Е.А. КРИВОНОС**

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»  
Новороссийский политехнический институт  
К.Маркса ул., д. 20, Новороссийск, 353900  
Телефон: (8617) 61-29-71  
e-mail: [oid@nbkstu.org.ru](mailto:oid@nbkstu.org.ru)*

В данной статье рассматривается возможность расчета осадок, кренов зданий и сооружений, а также расчет прочности сооружений и их фундаментов с помощью некоторой математической модели. Представлен вариант классификации моделей грунтового основания. Статья посвящена исследованию математической модели грунтового основания с учетом физико-механических свойств грунта, назначениями сооружения и его размерами. А также степень сложности краевых математических задач. В статье затрагивается вопрос о том, что при составлении моделей пластического деформирования грунта необходимо во влажных грунтах учитывать пленки воды и поверхностное натяжение этих пленок.

Ключевые слова: грунтовые основания, математическая модель, деформирование оснований, проектирование, строительные площадки, образцы грунта.

Расчет осадок и кренов зданий и сооружений, а также расчет прочности сооружений и их фундаментов может быть произведен только в рамках некоторой модели грунтового основания. На рис. 1 представлен вариант классификации моделей грунтового основания.

Если все характеристики модели грунтового основания могут быть определены по образцу грунта в лабораторных испытаниях, то модель грунтового основания совпадает с моделью грунтовой среды. В противном случае основание моделируется, как таковое, в «целом».

В качестве моделей грунтовой среды – моделей грунтового основания можно указать упругое полупространство («общее упругое основание»), а в качестве модели основания в «целом» – модель Винклера и ее модификации («местное упругое основание»).



Рис. 1 Моделирование грунтовых оснований

Выбор расчетной модели грунтового основания определяется многими причинами: объемом информации об инженерно-геологическом строении площадки строительства и физико-механических свойствах грунтов, размерами и назначением сооружений и т.д. Не в последнюю очередь на выбор модели влияет и степень сложности краевых математических задач для выбираемой модели.

История развития наук о деформируемости и прочности конструкций показывает, что основные достижения и успехи были на пути от «малого» к «большому». От свойств образца грунта, определяющих модель грунтовой

<http://ntk.kubstu.ru/file/62>

среды, к решению краевой математической задачи. В этом случае физические уравнения, определяющие связь между напряженным и деформированным состоянием грунтового образца, замыкающие основную систему уравнений, и представляют модель грунтовой среды. Например, в упругой модели физическими уравнениями является закон Гука.

Однако и среди моделей основания в «целом» можно указать на удачные, нашедшие широкое применение в практике проектирования. В качестве такого примера можно указать на модель (расчетную схему) линейно-деформируемого тела, которая при расчете осадки учитывает напластование грунтов строительной площадки, влияние бытовых напряжений, уровень грунтовых вод и т.д. Осадку основания  $s$  с использованием расчетной схемы в виде линейно деформированного полупространства определяют методом послойного суммирования по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} h_i}{E_{e,i}},$$

где:  $\beta$  – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$  - вертикальное напряжение от внешней нагрузки в  $i$ -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента;

$E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви первичного нагружения;

$\sigma_{z\gamma,i}$  - среднее значение вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса, выбранного при отрывке котлована грунта;

$E_{e,i}$  - модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;

$n$  – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Нижнюю границу сжимаемой толщи основания обычно принимают на глубине  $H_c$ , где выполняется условие  $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$ . Заметим, что по плану фундаментов сооружения величина  $H_c$  может меняться.

Интервал нагрузок, при которых разрешается применять для нахождения осадок формулу послойного суммирования, ограничивается расчетным сопротивлением основания  $R$ . Величина  $R$  определяется по отечественной формуле, смысл которой заключается в ограничении условных зон пластического состояния грунтов под фундаментом.

В модели линейно-деформируемого тела используется поле напряжений однородного изотропного линейно-упругого тела.

Но является ли нормативная линейно-деформируемая модель упругой моделью грунта? Нет, не является по следующим причинам :

а) нормативная модель в отличие от упругой модели не является моделью механики сплошной среды. Ее параметры, например, глубину сжимаемой толщи, нельзя определить по малому представительному объему грунта.

б) При нагрузке основания сложенного упругими пластами с различными упругими постоянными получаются поля напряжений отличные от поля напряжений, использованного линейно-деформируемой моделью.

в) Нормативную линейно-деформируемую модель рекомендовано использовать только при активном нагружении.

г) В линейно-деформируемой модели не используется модуль упругости грунтов, а используется в несколько раз меньший модуль деформации грунтов.

д) Модели отличаются физическими основами деформирования. В упругом теле сжатие происходит за счет обратимого уменьшения расстояния между атомами. При этом силы притяжения- отталкивания между атомами имеют электрическую природу. В грунтах объемное сжатие определяется уменьшением пористости, связанным с необратимой переупаковкой частиц скелета грунта. В связи с проведенным сравнением возникает вопрос о том, есть ли физические основы для проявления упругих свойств в дисперсных грунтах. Важность вопроса определяется широким применением в научной литературе упругопластических моделей.

Во влажных грунтах указывают на пленки воды и на поверхностное натяжения этих пленок, как на источник упругости. К тому же, через грунты проходят малые возмущения (звук, сейсмические волны) не вызывающие остаточные деформации. Следовательно, у грунтов есть упругие свойства, и имеет смысл говорить о модуле упругости грунтов и, главное, о его величине. Известно, что скорость продольных волн в упругом стержне определяется формулой:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга),  $\rho$  - плотность. Отсюда следует, что модуль упругости выражается через плотность и скорость продольной волны так

$$E = \rho V^2. \quad (1)$$

Формула (1.1) позволяет определить порядок модуля упругости грунтов. Принимая скорость продольных волн в дисперсных грунтах средней между скоростью продольных волн в воздухе и в воде  $V = 1000$  м/сек, а плотность  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, получим по формуле (1), что  $E = 2000$  МПа. Сравнивая полученное значение  $E$  со значениями модуля деформаций  $E_d$ , которые для дисперсных грунтов ограничены, практически, неравенством  $5 \text{ МПа} < E_d < 50 \text{ МПа}$ , заключаем, что модуль упругости грунта на два порядка больше модуля деформации. Следовательно, упругие деформации грунта на два порядка меньше наблюдаемых при строительных напряжениях. Здесь уместно привести слова основоположника отечественной механики грунтов Н.М. Герсеванова, который в своем труде «Основы динамики грунтовой массы» пишет: «Равным образом безнадежны также и попытки определять модуль упругости грунта и коэффициент Пуассона путем сжатия кубиков из пластичных глин и суглинков, проделываемые так, как будто последние были бы твердыми телами. Здесь дело обстоит не так просто, как это имеет место в твердых

упругих телах, и величины, получаемые из таких опытов, ничего общего с модулем упругости и коэффициентом Пуассона не имеют».

Можно сделать вывод о том, что во многих задачах фундаментостроения упругими деформациями можно пренебречь. При этом следует различать упругие деформации и «линейные».

При построении моделей механики сплошной среды, как правило, следуют феноменологическому подходу, т.е. нагружая образец грунта («черный ящик») и измеряя деформации – «отклики», получая, таким образом, экспериментальные зависимости между напряженным и деформированным состоянием.

Другой подход можно назвать микроструктурным, а построенные на этом пути модели называются дискретными. Наиболее обширный цикл работ с дискретной моделью из множествадвигающихся и взаимодействующих круглых цилиндров проведен в Миннесотском университете (США). Упаковка и размеры дисков определялись при помощи датчиков случайных чисел. По результатам расчетов были сделаны следующие выводы:

а) контактные силы концентрируются на жестких цепях частиц, причем на соответствующих контактах почти никогда не происходит скольжение, которое присуще относительно ненагруженным областям между цепями;

б) макроразрывы скорости связаны обычно не с одиночными линиями скользящих контактов, а областями «шарниров», включающих вращающиеся соприкасающиеся частицы;

в) при нагружении разрываются контакты с нормальными в направлении меньшего главного напряжения, при этом при разгрузке восстанавливаются не все такие контакты; г) после ряда нагружений и разгрузок на контактах остаются напряжения, хотя на границах напряжения нулевые;

д) скорость дилатансии мало зависит от угла контактного трения, а прочность – от жесткости контактов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах [Текст] / Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1979.
2. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений [Текст] / В.Г. Березанцев. – Л.: Госстройиздат. 1970. – 207 с.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов [Текст] / С.С. Вялов. –М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
4. Вялов С.С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов [Текст] / С.С. Вялов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 198 с.
5. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] / Б.И. Далматов.- Л.: Стройиздат, Ленинградское отд-ние, 1988.- 415 с.
6. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий. –Изд. РГУ, 1989. – 608 с.
7. Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений [Текст] / М.В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1980. – 137 с.
8. Малышев М.В. Теоретическое и экспериментальное исследование несущей способности песчаного основания [Текст] / М.В. Малышев. – М.,1953.- 83 с.

#### REFERENCES

1. Abelev Ju.M., Abelev M.Ju. – М.: Strojizdat, 1979. – 135 s. (Fundamentals of design and construction subsidence macroporous soils [Text] ).
2. Berezancev V.G. – L.: Gosstrojizdat. 1970. – 207 s. (Calculation of ground structures [Text] ).
3. Vjalov S.S. –М.: Vysshaja shkola, 1978. – 448 s. (Rheological fundamentals of soil mechanics [Text] ).
4. Vjalov S.S. – М.: Izd-vo AN USSR, 1959. – 198 s. (Rheological properties and bearing capacity of frozen soils [Text] ).
5. Dalmatov B.I. - L.: Strojizdat, Leningradskoe otd-nie, 1988.- 415 s. (Soil Mechanics, Foundations [Text] ).

6. Zareckij Ju.K. –Izd. RGU, 1989. – 608 s. (Lectures on modern soil mechanics [Text] ).

7. Malyshev M.V. – M.: Strojizdat, 1980. – 137 s. (Soil strength and stability of ground structures [Text] ).

8. Malyshev M.V. – M.,1953.- 83 s. (Theoretical and experimental study of bearing capacity of sandy foundation [Text] ).

### *THE CLASSIFICATION OF MODELS SUBGRADE*

**M.P. SHIRYAEVA, E.A. KRYVONOS**

*"Kuban State Technological University" Novorossiysk Polytechnic Institute*

*Karl Marx str., 20, Novorossiysk, 353900*

*Tel.: (8617) 61-29-71*

*e-mail: [oid@nbkstu.org.ru](mailto:oid@nbkstu.org.ru)*

This article discusses the possibility of calculating the sediment banks buildings and structures, strength calculation of structures and their foundations by using a mathematical model. The variant classification models subgrade. Article is dedicated to the study of the mathematical model of subgrade given the physico-mechanical properties and assignments. And the degree of difficulty of edge mathematical problems. The article addresses the issue that in the models of plastic deformation of the soil must be taken into account in wet soil water film and the surface tension of these films.

Keywords: groundwater base, mathematical model, laboratory testing, deformation bases, design, construction sites, sediment base soil samples.