

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE

А. О. Гаврилкина¹, О. В. Дремова¹, В. С. Михайлов²

¹ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

² Новосибирский центр технической поддержки SCAD Office, г. Новосибирск

Рассмотрены теоретические основы нескольких моделей грунта, приведены ключевые моменты моделирования грунта в программном комплексе SCAD Office. Произведена оценка полученных результатов.

Ключевые слова: модель грунта, основание, фундамент, модель Винклера, модель Пастернака, линейно-деформируемое основание, программный комплекс, SCAD Office.

Разработка и совершенствование методов расчета фундаментных конструкций – одна из актуальных задач строительной механики, поскольку фундамент является неотъемлемой частью всякого сооружения. Несмотря на все большее применение компьютерной техники в практике проектирования и расчета строительных конструкций, все еще сохраняется определенный дефицит в программном обеспечении [7].

На стадии проектирования важно иметь возможность проводить расчет, учитывающий значимые факторы и обеспечивающий необходимую точность вычислений при минимальных затратах времени [5].

В настоящее время в программных комплексах, таких как SCAD Office, Лира, Robot Structural Analysis, Plaxis, Ansys, Abaqus и других, реализовано большое количество различных методик расчета грунтового основания, в которых учитывается комплексное рассмотрении системы «основание – фундамент – сооружение» [3].

Особенностью проектирования системы «основание – фундамент» является недостаток исходной информации, характеризующей основание в целом и каждого слоя в отдельности. В связи с этим проектирование фундаментов всегда сопряжено с риском, оценить который не всегда представляется возможным. Вместе с тем ошибки при проектировании могут привести к потере устойчивости или развитию недопустимых деформаций основания сооружения.

В основу проектирования оснований и фундаментов заложены следующие принципы:

- 1) проектирование оснований сооружений по предельным состояниям;
- 2) учет совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение»;

3) комплексный учет факторов при выборе типа фундаментов, несущего и подстилающих слоев основания в результате совместного рассмотрения, в т.ч.:

- инженерно-геологических условий площадки строительства;
- особенностей сооружения и чувствительности его несущих конструкций к неравномерным осадкам;
- методов выполнения работ по подготовке оснований и устройству фундаментов [1].

Комплексный взаимный учет всех этих факторов делает задачу проектирования и устройства фундаментов сложной и ответственной.

В связи с отсутствием в настоящее время общепризнанной единой методики моделирования пространственных конструкций зданий совместно с грунтовыми основаниями, актуальным остается вопрос, связанный с выбором модели грунтового основания. До последнего времени расчеты взаимодействия здания и основания выполнялись исключительно в упругой постановке, причем с использованием упрощенных методик, использующих коэффициенты постели. Так же появилось множество исследований, сравнивающих результаты расчетов по упрощенным и более сложным моделям грунтов [5].

Рассмотрим наиболее применяемые на практике модели грунтов и возможность их реализации в ПК SCAD Office. Расчеты выполнялись для 16-ти этажного здания, со средним давлением по подошве фундаментной плиты 20 т/м^2 (рисунок 1). Осадка плиты как абсолютно жесткого фундамента была получена в программе ЗАПРОС и равна 0,116 м. Грунтовое основание было задано двумя слоями с параметрами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

№ слоя	Наименование грунта	Удельный вес, т/м ³	Модуль деформации, т/м ²	Модуль упругости, т/м ²	Коэффициент Пуассона	Показатель текучести	Удельное сцепление, т/м ²	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент пористости	Расчетное сопротивление, т/м ²
1	Суглинок	2	720	6000	0,35	0,4	2,8	22	0,65	40
2	Супесь	2	1200	10000	0,3	0,2	1,7	29	0,55	30

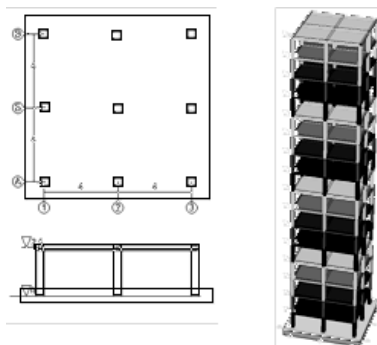


Рисунок 1 – Расчетная схема здания

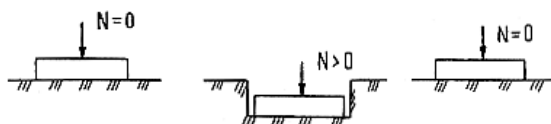


Рисунок 2 – Схема расчетной модели Винклера

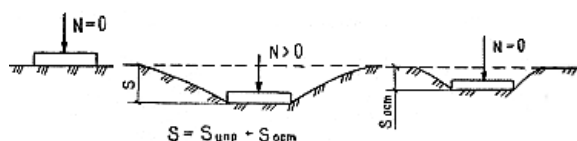


Рисунок 3 – Схема расчетной модели линейно-деформируемого полупространства

Модель Винклера – это модель, предназначенная только для решения контактной задачи [6]. Основные гипотезы данной модели:

- осадка $W(x,y)$ точки поверхности основания прямо пропорциональна величине давления p в этой точке

$$p = kW,$$

где k – коэффициент постели;

- предполагается, что осадки происходят только в месте приложения нагрузки, а за пределами площади загрузки $W(x,y) = 0$.

Следовательно, осадки W поверхности основания Винклера под нагрузкой p формируют осадочную воронку, зеркально повторяющую характер изменения нагрузки. В целом основание Винклера образно иллюстрируется механической моделью в виде отдельных, не связанных между собой, пружин (рисунок 2). Эта модель применима только

для определения напряжений по подошве сооружения и осадок поверхности основания в пределах контакта его с сооружением, но без определения напряжений и деформаций в основании.

При реализации в SCAD фундаментная плита была задана пластинчатыми элементами с коэффициент постели

$$C1 = 20 \text{ т/м}^3 / 0,116 \text{ м} = 172 \text{ т/м}^3, \quad C2 = 0.$$

По горизонтали по X и Y каждый узел зафиксирован упругой связью с узловой жесткостью $27,37 \text{ т/м}$. В результате была получена осадка равная $117,3 \text{ мм}$.

В основу следующей модели – линейно-деформируемого полупространства (рисунок 3), положен закон Гука, определяющий линейную зависимость между напряжениями и деформациями и полное восстановление деформаций при снятии нагрузки

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где ε – осевая деформация, E – модуль упругости.

Кроме того, при нагружении рассматривается лишь общая деформация грунта без разделения ее на упругую и пластическую составляющие. Первое допущение обеспечивает возможность использования для расчетов напряжений в массиве грунта аппарата теории упругости, а второе – при известных напряжениях рассчитывать конечные деформации основания. Однако использование теории линейного деформирования грунта всегда требует установления предела ее применимости.

При реализации данного метода в SCAD грунтовое основание моделируется объемными КЭ. Преимуществом применения таких элементов является использование непосредственных данных геологических изысканий отдельно для каждого слоя грунта. Модели из объемных элементов обладают большой наглядностью, как при анализе деформированного состояния, так и при анализе напряжений в основании.

Но, несмотря на это, нужно отметить и недостатки:

1) При моделировании основания из объемных элементов «по контуру плиты» не учитывается распределительная способность основания за пределами плиты, и осадка оказывается завышенной (до 50%). В рассчитываемом здании вычисленная осадка равна 169,3 мм.

2) При моделировании основания «с законтурным объемом» завышается распределительная способность основания за пределами плиты, и по краям фундаментной плиты возникают фиктивные поперечные силы. Но вычисленное значение осадки незначительно отличается от средних значений – 104,5 мм (рисунок 4).

В отличие от модели Винклера модель линейно-деформируемого основания (ЛДО) позволяет определить, помимо контактных напряжений, напряженно деформируемое состояние грунта всего основания.

В модели Пастернака вводятся два коэффициента постели: C_1 – коэффициент сжатия, связывающий интенсивность вертикального отпора грунта σ с его осадкой s формулой

$$\sigma = C_1 s,$$

и C_2 – коэффициент сдвига, дающий возможность выразить интенсивность вертикальной силы сдвига τ через производную осадки в соответствующем направлении

$$\tau = C_2 \frac{\partial s}{\partial x} [8].$$

Определение значений коэффициентов C_1 и C_2 по модели Пастернака реализовано в программе-сателлите ЗАПРОС и программе-сателлите Пастернак, входящих в ПК SCAD Office.

Коэффициенты постели позволяют, зная либо отпор грунта, либо сдвигающие усилия, найти осадку фундамента.

В ПК SCAD фундаментная плита для этой модели задается пластинчатыми элементами. По нормали к ним назначается коэффициент постели на сжатие C_1 и коэффициент на сдвиг C_2 . По периметру плиты с теми же параметрами задаются законтурные элементы типа «Полоса» и типа «Клин» с заданием C_1 . Далее по горизонтали по X и Y каждый узел фиксируется упругой связью.

Главный недостаток данного расчета – приближенность калибровки модели в разных методиках расчета C_1 и C_2 , а также применимость только к однородному в плане и по толщине грунтовому массиву. Величина осадки по данной модели равна 70,98 мм.

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 4 Т. 2 2017

Билинейная модель основания Федоровского с переменными коэффициентами постели – это упругопластическая модель, которая является дальнейшим усложнением модели ЛДО и учитывает наличие у грунта структурной прочности. Модель основания представлена в виде слоя, опирающегося на значительно более жесткое полупространство. Толщина слоя зависит от нагрузки и структурной прочности грунта, а модуль деформации слоя получается осреднением по глубине. Осадка рассчитывается как интеграл от соотношения изменения напряжения к модулю упругости по глубине. Данный метод реализован в программе КРОСС. Осадка, полученная при расчете по данной модели, равна 81,09 мм.

Особенности моделей грунта, реализованных в SCAD, представлены в таблице 2.

Для расчета грунтового основания применяются еще несколько моделей.

Модель упругопластической среды предполагает наличие в грунтовой среде как области среды теории линейно-деформируемого тела, так и области состояния предельного равновесия (рисунок 5).

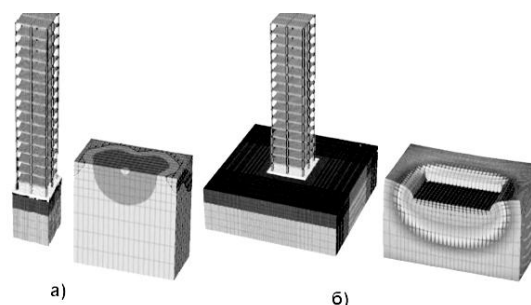


Рисунок 4 – Моделирование основания объемными КЭ. а) по контуру плиты, б) с законтурным объемом

Таблица 2

Модель грунта	Распределительные свойства грунта	Контактные напряжения	Зависимость осадки от площади загрузки
Модель Винклера	Не учитываются	Имеют конечные значения	Не зависит
Модель ЛДО	Завышены (максимальные)	В определенных точках могут превышать прочность грунта	С увеличением площади – возрастает
Модель Пастернака	Ограниченные (средние)	В определенных точках могут превышать прочность грунта	С увеличением площади – возрастает
Билинейная модель КРОСС	Близки к реальным	Отражает реальную прочность грунта	Соответствует опытным данным



а – основание, работающее в условиях предельного равновесия; б – упругого слоя, работающего в условиях смешанной задачи теории упругости и теории пластичности

Рисунок 5 – Схемы расчетных моделей, отображающие зависимость между осадкой и нагрузкой на грунт

При одноосном сжатии после начального этапа линейных деформаций образец грунта переходит в предельное состояние, описываемое через закон Кулона

$$\tau = \sigma + tg(\varphi) + c,$$

где φ – угол внутреннего трения, c – сцепление грунта.

Модель Барвашова ССС с тремя коэффициентами постели представляет собой модернизированную модель Филоненко-Бородича с дополнительным коэффициентом C_3 , который характеризует распределительную жесткость винклеровых пружин. Данный параметр дает возможность отобразить, близкие к действительным свойствам грунтового основания, потому никаких мнимых усилий на краях фундаментных плит на основании с моделью ССС, не возникает.

Таким образом, при расчете системы «основание – фундамент – сооружение» возникают проблемы в выборе модели и достоверном определении всех входящих в нее расчетных характеристик грунта. При этом нужно учитывать ряд факторов:

1) в большинстве случаев в руках проектировщика имеется программный продукт общего назначения, позволяющий вести расчет в линейно-упругой постановке;

2) при проведении инженерно-геологических изысканий возможны неточности при определении характеристик основания, которые снижают точность вычисления;

3) В процессе строительства и последующей эксплуатации здания свойства грунтов основания могут изменяться;

4) в соответствии с пунктом 12.5.5 СП 50-101-2004 рекомендуется выбирать наиболее неблагоприятные значения параметров жесткости основания и модели основания.

Дальнейшее развитие методик расчета

грунтовых оснований идет в направлении применения поэтапного нагружения оснований в режиме МОНТАЖ ПК SCAD. Однако главный недостаток на текущем этапе развития расчетной технологии – это трудоемкость процесса приложения переменных коэффициентов постели C_1 на различных стадиях монтажа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
2. Голубев, А. И. Выбор модели грунта и её параметров в расчётах геотехнических объектов / А. И. Голубев, А. В. Селецкий // Труды междунар. конф. по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов (GEOMOS 2010)». – 2010. – т. 4. – С. 1727-1732.
3. Егорова, Е. С. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D / Е. С. Егорова [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – С. 31-60.
4. Ильичев, В. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / В. А. Ильичева, Р. А. Мангушева. – М. : ACB, 2014. – 728 с.
5. Матвеева, А. В. Расчет фундаментных плит с учетом совместной работы с конструкцией и упругим основанием переменной жесткости / А. В. Матвеева. – М. : МГСУ, 2016. – 101 с.
6. Репников, Л. Н. Расчет балок на упругом основании, объединяющем деформационные свойства основания Винклера и линейно деформируемой среды / Л. Н. Репников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1967. – № 6. – С. 91.
7. Рыжков, А. Ю. Метод расчета фундаментных плит монолитных многоэтажных зданий на неоднородном основании / А. Ю. Рыжков – Челябинск : ЧГТУ, 1996. – 130 с.
8. Фам, Д. К. Коэффициент постели и его использование при расчете взаимодействия фундаментных плит и грунтовых оснований / Д. К. Фам. – М. : МГСУ, 2009. – 163 с.

Гаврилкина А.О. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Дремова О.В. – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: dremova_ov@mail.ru.

Михайлов В.С. – руководитель новосибирского центра технической поддержки SCAD Office, E-mail: mvs@scadsoft.ru.