

ОГЛАВЛЕНИЕ

Термины и сокращения.....	5
Термины.....	5
Сокращения.....	5
Предисловие.....	6
Глава 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МОДЕЛИРУЕМЫЕ В ГЕОТЕХНИКЕ.....	7
1.1. Деформируемость грунтов.....	8
1.2. Прочность грунтов.....	9
Глава 2. ОСНОВЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	14
2.1. Основные этапы расчета методом конечных элементов в программе PLAXIS 2D.....	14
2.2. Расчет начальных напряжений.....	15
Глава 3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS 2D.....	19
3.1. Начало работы с ПК PLAXIS 2D.....	19
3.2. Создание инженерно-геологических условий модели.....	22
3.3. Современные модели грунта, используемые в расчетах.....	26
3.4. Создание конструктивных элементов модели.....	31
3.5. Создание сетки конечных элементов.....	37
3.6. Расчет созданной модели.....	37
Глава 4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ.....	42
Глава 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....	44
5.1. Введение.....	44
5.2. Геотехническая задача 1. Работа одиночной центрально нагруженной сваи в грунтовом основании под нагрузкой.....	44
5.3. Геотехническая задача 2. Расчет глубокого котлована, разрабатываемого открытым способом.....	53
5.4. Геотехническая задача 3. Определение влияния проходки тоннеля. на конструкции существующего здания и его основание.....	69
5.5. Геотехническая задача 4. Определение напряженно-деформированного состояния водонасыщенного основания при возведении на нем грунтовой насыпи.....	79
5.6. Геотехническая задача 5. Определение напряженно-деформированного состояния основания здания. при сейсмических воздействиях.....	84
Библиографический список.....	91

ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

ТЕРМИНЫ

Геотехника — сфера инженерной деятельности человека, связанная с изменением природного состояния грунтового основания, включающая в себя научные методы и инженерные принципы строительной деятельности, совокупность взаимосвязанных технических решений, приемов и способов возведения подземных частей зданий и сооружений.

Ограждение котлована — строительная конструкция, воспринимающая давление грунта при устройстве глубоких котлованов и обеспечивающая устойчивость их вертикальных стенок.

Крепление котлована — строительные конструкции, воспринимающие нагрузку от ограждения котлована и обеспечивающие его устойчивость.

Изотропный материал — материал, свойства которого одинаковы в каждом выбранном направлении.

Анизотропия свойств материала — особенность структуры материала, при которой свойства грунта проявляются различным образом в зависимости от выбранного направления.

Бентонитовый раствор — глинистый раствор на основе тиксотропных глин, применяемый в строительстве для решения широкого спектра задач.

Геометрический примитив — базовая геометрическая единица, действия с которой позволяют создавать более сложные геометрические формы.

СОКРАЩЕНИЯ

ИГЭ — инженерно-геологический элемент;
НДС — напряженно-деформированное состояние;
МКЭ — метод конечных элементов;
КЭ — конечный элемент;
БСС — бурясекущая свая.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В методических указаниях кратко изложены основные принципы метода конечных элементов, также приводится описание интерфейса программного комплекса PLAXIS 2D. Даются рекомендации по использованию данного программного комплекса при геотехнических расчетах в рамках отечественной нормативной базы. В заключительной части учебного пособия рассматриваются типовые геотехнические задачи, решаемые в инженерной практике.

Методические указания предназначены для обучающихся дневной, вечерней и заочной форм обучения при работе над курсовым проектом. Представленные в них алгоритмы расчета геотехнических задач могут быть полезны в работе над дипломным проектом.

Методические указания составлены профессором кафедры механики грунтов и геотехники д.т.н. А.З. Тер-Мартirosяном и доцентами кафедры механики грунтов и геотехники, к.т.н. В.В. Сидоровым, к.т.н. Е.С. Соболевым и к.т.н. И.Н. Лузиным. Авторы данной работы благодарны рецензенту д.т.н. профессору М.Г. Зерцалову за ценные замечания, которые были учтены при подготовке книги.

Глава 1

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МОДЕЛИРУЕМЫЕ В ГЕОТЕХНИКЕ

При возведении и реконструкции зданий и сооружений с подземной частью, согласно СП 22.13330.2016, необходимо выполнять геотехнический прогноз для следующих сооружений:

- особо опасных и уникальных;
- повышенного уровня ответственности;
- геотехнической категории 3;
- с подземной частью глубиной заложения более 5 м;
- в зоне влияния которых расположены сооружения окружающей застройки;
- размещаемых на территориях с возможным развитием опасных инженерно-геологических процессов.

При выполнении работ по геотехническому прогнозу одним из основных этапов является численное моделирование системы «сооружение – фундамент – грунтовое основание». Данный тип расчетов может выполняться различными программными комплексами, реализующими метод конечных разностей, метод конечных элементов или решение контактной задачи. Одним из программных комплексов, использующим метод конечных элементов, является PLAXIS 2D. Данный программный комплекс дает возможность расчетов различных геотехнических задач с учетом пространственной жесткости сооружений, нелинейного поведения грунтов основания и неблагоприятных инженерно-геологических процессов. Согласно СП 22.13330.2016, расчету подлежат следующие геотехнические задачи:

- определение средней осадки и относительной разности осадок нового строительства;
- определение дополнительной осадки и относительной разности осадок окружающей застройки в зоне влияния нового строительства;
- расчет стабилизации осадки во времени;
- расчет дополнительной осадки зданий и сооружений при динамических и сейсмических воздействиях;
- устойчивость откосов и склонов и др.

Все эти задачи могут быть решены тем или иным образом в ПК PLAXIS 2D. Для корректного создания модели, расчета и анализа результатов требуется комплексное понимание как основ механики грунтов, так и основ численного моделирования, в том числе метода конечных элементов. При численном моделировании геотехнических задач особое внимание следует уделять следующим механическим процессам, протекающим в грунте: деформируемости, прочности и консолидации. Рассмотрим теоретические основы данных процессов.

При численном моделировании геотехнических задач особую важность приобретает корректный выбор модели грунта основания и ее входных параметров. Наиболее распространенные модели грунта, используемые в программной среде PLAXIS, будут рассмотрены в следующих главах. Параметры модели грунта позволяют создать математическую модель, отображающую поведение грунта при различных воздействиях, поэтому точность их определения напрямую влияет на точность получаемых результатов решения задач. Физико-механические параметры грунтов, используемые при геотехнических расчетах, могут быть получены различными методами как в полевых, так и в лабораторных условиях. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Механические свойства грунтов принято разделять на две группы: деформационные и прочностные. При этом, прочность грунтов обычно учитывается при расчетах по первой группе предельных состояний (несущая способность грунта, устойчивость откосов и т.д.), а деформируемость — при расчетах по второй группе предельных состояний (осадки, разности относительных осадок, крены и т.д.).

1.1. ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ГРУНТОВ

Наиболее распространенными методами определения деформационных свойств грунтов являются методы компрессионного сжатия в одометре, трехосного сжатия в стабилометре и штамповые испытания.

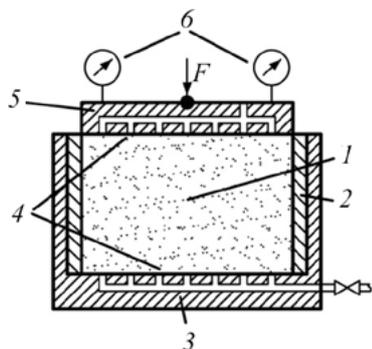


Рис. 1.1. Схема одометра (компрессионного прибора)

Компрессионное сжатие — это уплотнение грунта без возможности расширения его в стороны. Образец грунта 1 (рис. 1.1) помещается в жесткую металлическую обойму 2 кольцевой формы. Нагружается с помощью штампа 5 с силой F , под действием которой в образце возникают сжимающие напряжения σ_z , вызывающие уплотнение грунта и осадку штампа. Боковое кольцо препятствует расширению образца, т.е. боковые деформации образца $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$. Однако в образце возникают боковые напряжения σ_x и σ_y , измерить которые в стандартном приборе можно только с использованием тензометрического кольца.

Количественной мерой оценки деформируемости грунта в условиях компрессионного сжатия служит величина относительной деформации сжатия $\varepsilon = S/h$.

Производя ступенями нагрузку и разгрузку образца, получают зависимость относительной деформации образца в зависимости от действующего напряжения (рис. 1.2, 1.3).

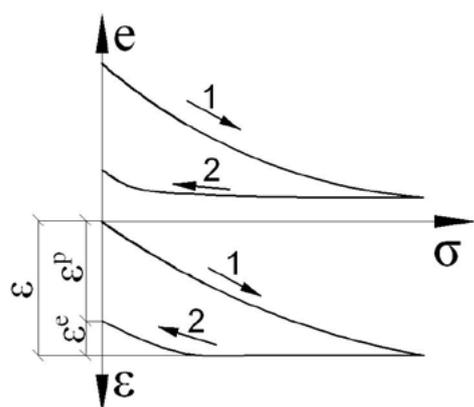


Рис. 1.2. Компрессионные кривые и зависимости изменения относительной деформации ε от напряжения σ : 1 — нагрузка; 2 — разгрузка; ε^e и ε^p — упругая и пластическая составляющие деформации

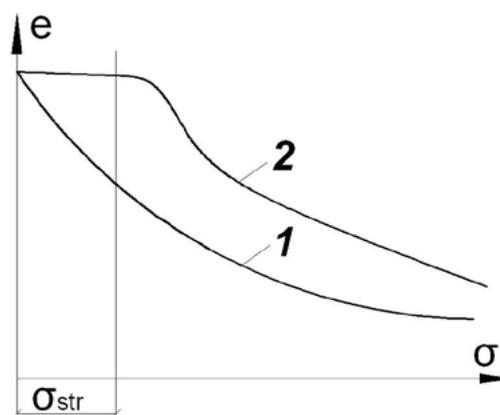


Рис. 1.3. Компрессионные кривые грунта ненарушенной (1) и нарушенной (2) структуры; e — коэффициент пористости; σ — вертикальное напряжение

Модуль деформации грунта также можно определить при обработке результатов испытаний местной статической нагрузкой. Испытания штампами проводятся в шурфах ($A = 5000 \text{ см}^2$) или скважинах. Схема опыта показана на рис. 1.4, а.

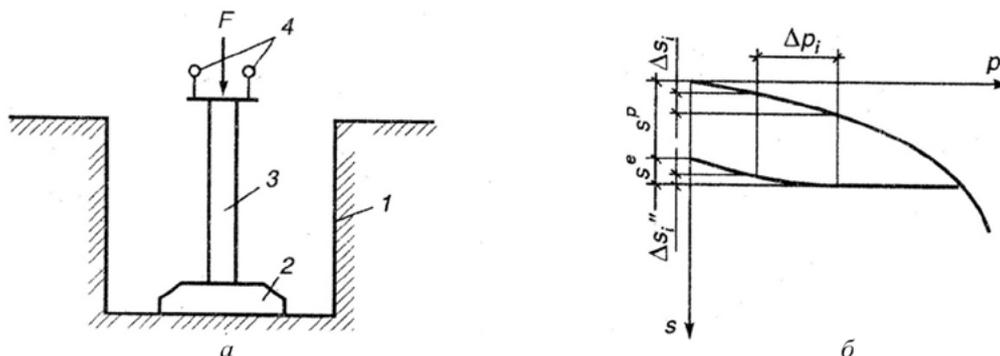


Рис. 1.4. Схема (а) и результаты (б) полевых испытаний грунта на сжатие

На дно шурфа (скважины) 1 устанавливается штамп 2, соединенный стойкой 3 с нагрузочной платформой 4. К платформе ступенями прикладывается нагрузка F (пригрузочными блоками). Зная давление P , создаваемое под штампом и измеряя стабилизированную осадку S , строят опытную зависимость $P-S$ (рис. 1.4, б). По ней определяют модуль деформации согласно формуле:

$$E = \frac{\omega b (1 - \nu^2) P_i}{S_i},$$

где ω — коэффициент, зависящий от формы жесткого штампа, и принимается: для круглого штампа $\Rightarrow \omega = 0,78$, для квадратного $\Rightarrow \omega = 0,88$; b — сторона или диаметр штампа; ν — коэффициент Пуассона ($\approx 0,25$), $0 \leq \nu \leq 0,5$; P_i и S_i — давление и осадка штампа в пределах линейной зависимости кривой $P-S$.

1.2. ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ

Под прочностью подразумевают свойства материала сопротивляться разрушению или развитию больших пластических деформаций, приводящих к недопустимым искажениям формы тела. Касательно грунтов — их прочность и прочностные характеристики рассматривают в следующих задачах:

- устойчивость откосов и склонов;
- определение предельной нагрузки на основания;
- расчет устойчивости подпорных стен, мостов;
- определение расчетного сопротивления грунта R_0 .

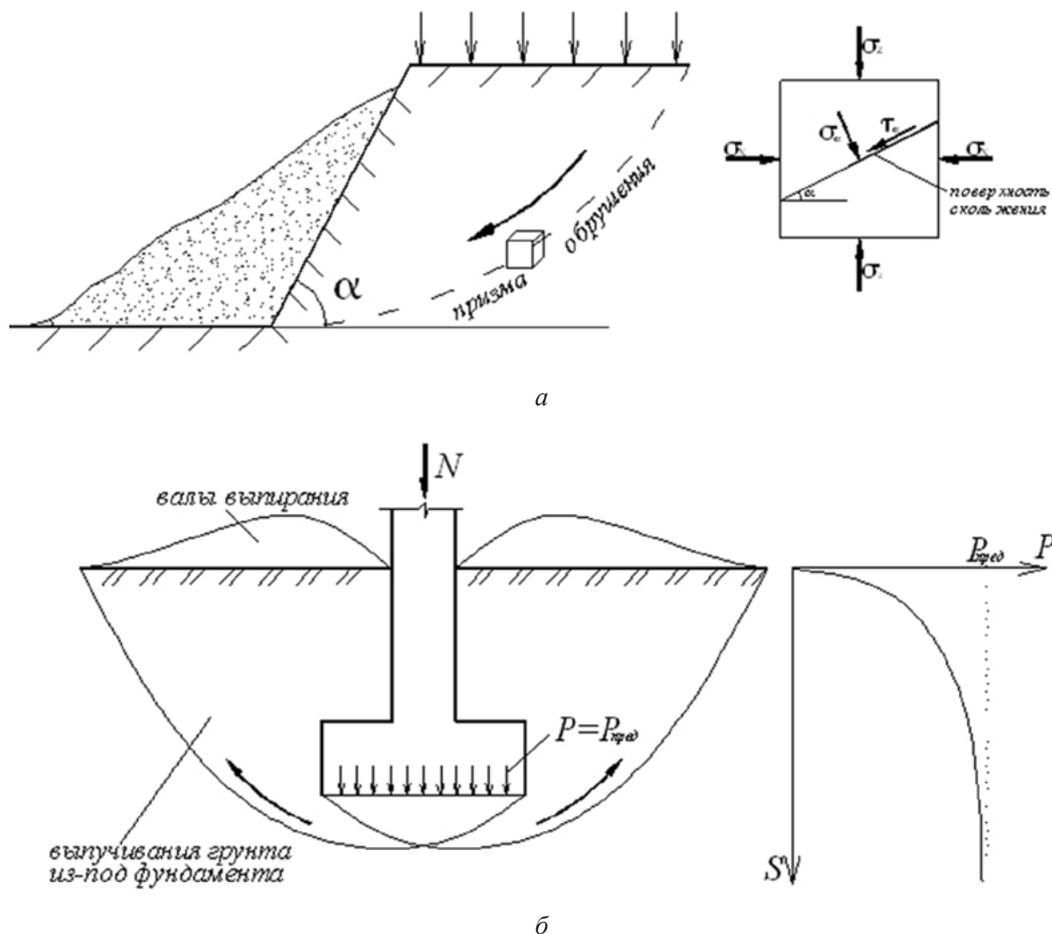


Рис. 1.5. Схемы потери прочности грунта: а — обрушение откоса; б — выдавливание грунта из-под фундамента; $P = P_{пред}$ — предельная вертикальная нагрузка на фундамент; P — нагрузка на фундамент; S — осадка фундамента

Потеря прочности грунта, т.е. его разрушение, всегда происходит за счет сдвига одной части грунта по поверхности другой (рис. 1.5, а).

Если мы сумеем найти соотношение между τ_α и σ_α для предельного состояния элементарного объема грунта, то мы всегда можем определить, обладает ли этот грунт запасом прочности.

Для определения прочности массива грунта обычно используется закон сопротивления грунта сдвига, называемый также законом Кулона. Данный закон записывается в виде:

- для песчаных грунтов:

$$\tau_{\text{пред}} = \sigma \operatorname{tg} \varphi;$$

- для пылевато-глинистых грунтов:

$$\tau_{\text{пред}} = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где $\tau_{\text{пред}}$ — предельное касательное напряжение, соответствующее вертикальному напряжению σ ; φ — угол внутреннего трения грунта; c — удельное сцепление.

Наиболее распространенными методами определения прочностных свойств грунтов являются метод одноплоскостного среза и метод разрушения образца в приборе трехосного сжатия (стабилометре). Рассмотрим данные методы подробнее.

При испытаниях на одноплоскостной сдвиг используют специальный прибор (рис. 1.6, а):

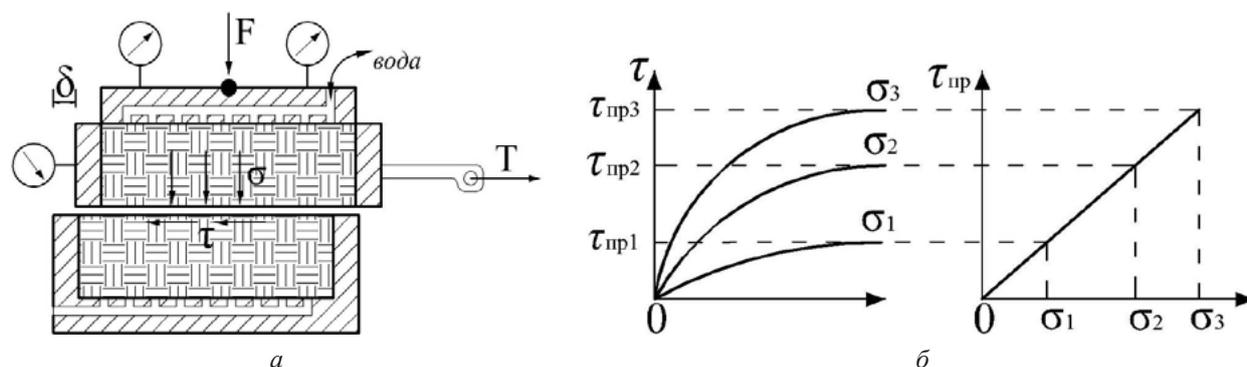


Рис. 1.6. Схема прибора для испытаний на одноплоскостной сдвиг (а) и график сопротивления сдвигу образцов песчаного грунта (б)

При постоянном значении вертикального давления $\sigma = \text{const}$, $\sigma = F/A$ к верхнему подвижному кольцу ступенями прикладывается горизонтальное усилие T . Под действием возникающих касательных напряжений $\tau = T/A$ возникают горизонтальные перемещения δ верхней части образца, измеряемые индикатором. На каждой ступени дожидаются стабилизации перемещения, затем увеличивают горизонтальную нагрузку до тех пор, пока при некотором значении $\tau = \tau_{\text{пред}}$ дальнейшее перемещение образца происходит без увеличения сдвигающего напряжения. Это свидетельствует о разрушении образца при заданном значении σ за счет сдвига.

Испытывая несколько образцов, строят кривые горизонтальных перемещений образцов при разных σ и график сопротивления образцов сдвигу (в случае песчаного грунта — рис. 1.6, б).

Многочисленными испытаниями установлено, что график зависимости $\tau_{\text{пред}} = f(\sigma)$ в интервале изменения σ до 300–500 кПа (интервал, представляющий наибольший интерес для промышленного и гражданского строительства) может быть представлен отрезком прямой.

Поскольку сопротивление сдвигу сыпучих грунтов определяется прежде всего сопротивлением трению перемещающихся частиц, то угол φ принято называть *углом внутреннего трения*, а $f = \operatorname{tg} \varphi$ — *коэффициентом внутреннего трения*.

В пылевато-глинистых грунтах сопротивление сдвигу обуславливается еще и связностью грунта, поэтому отрезок c , отсекаемый на оси $\tau_{пред}$, называется *удельным сцеплением*, которое характеризует его связность.

Величины ϕ и c являются основными прочностными характеристиками грунта, определяемыми в каждом конкретном случае в лабораториях опытным путем.

Сопротивление грунта сдвигу при сложном напряженном состоянии. Теория прочности Кулона-Мора. Схема одноплоскостного сдвига соответствует лишь частным случаям разрушения грунта в основании сооружений. В общем случае необходимо рассмотреть прочность грунта в условиях сложного напряженного состояния.

Пусть к граням элементарного объема грунта приложены главные напряжения $\sigma_1(\max) \geq \sigma_2 \geq \sigma_3(\min)$ (рис. 1.7, а). Если увеличивать σ_1 при $\sigma_3 = \text{const}$, то в соответствии с теорией Кулона-Мора, произойдет сдвиг по некоторой площадке, наклоненной к горизонтальной плоскости под углом α (рис. 1.7, б). При этом среднее напряжение σ_2 никак не повлияет, поэтому из дальнейшего рассмотрения оно может быть исключено.

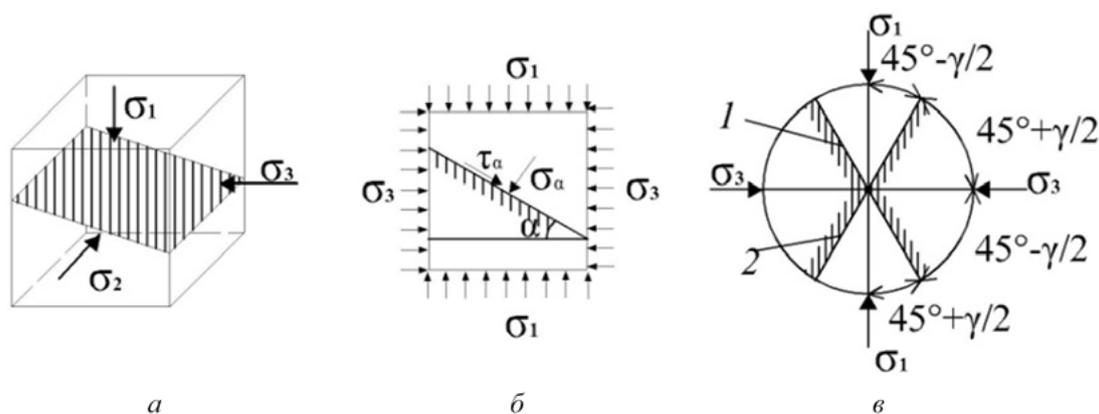


Рис. 1.7. Положение площадки скольжения (а), напряжения на наклонной площадке (б) и ориентация площадок скольжения 1 и 2 (в) относительно направления действия главных напряжений

На площадке сдвига, располагаемой под углом α , формируется условие предельного состояния, описываемое уравнением:

$$\tau_{\alpha} = \sigma_{\alpha} \operatorname{tg} \phi + c.$$

После некоторых преобразований получим, что в предельном состоянии (рис. 1.7, в):

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \pm \frac{\phi}{2}.$$

Отсюда следует, что в предельном состоянии в каждой точке грунта имеются две сопряженные площадки скольжения, наклоненных под углом $\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$ к линии действия максимального и под углом $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$ к линии действия минимального главного напряжения.

Испытания по схеме трехосного сжатия. Цилиндрический образец грунта 4 помещают в рабочую камеру прибора 7, заполненную водой или глицерином (рис. 1.8). Для того чтобы предохранить образец от поступления жидкости, его окружают тонкой резиновой оболочкой 6. Нормальное напряжение σ создается в образце через штамп 2 с помощью нагрузочного устройства. Боковое напряжение $\sigma_2 = \sigma_3$ осуществляется созданием в жидкости рабочей камеры гидростатического давления. Измерение давления в камере производится манометром 3, вертикальных перемещений образца — индикаторами 5.

Для отжатия воды из образца в процессе испытания или, наоборот, его насыщения используется система из перфорированного штампа и поддона с трубками, прикрытых кранами 1 (см. рис. 1.8). Для вычисления горизонтальных перемещений применяется тонкая градуированная трубка 8, называемая также «волюмометр», снабженная краном 1 и позволяющая определить объем жидкости, вытекающей из рабочей камеры прибора, что соответствует объемной деформации образца.

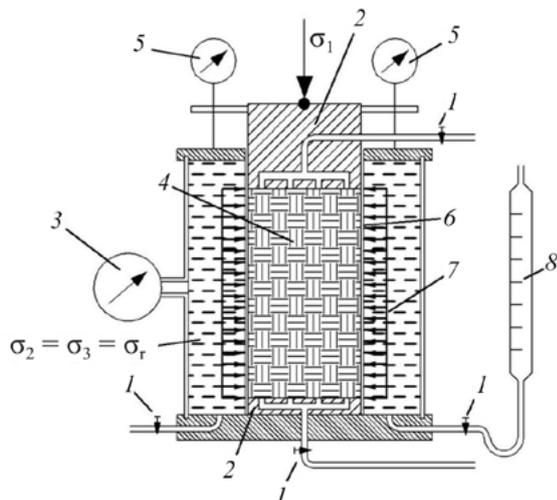


Рис. 1.8. Схема прибора трехосного сжатия (стабилометра)

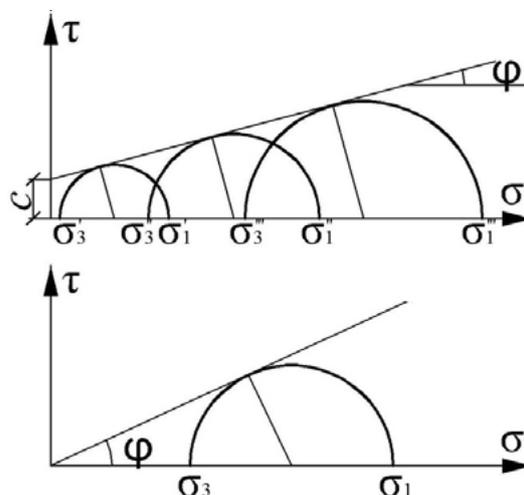


Рис. 1.9. Определение прочностных характеристик грунтов на основе результатов испытаний образцов грунта в приборе трехосного сжатия для связных (сверху) и несвязных (снизу) грунтов

По результатам серии испытаний строят круги предельных напряжений (рис. 1.9). Касательная к этим кругам позволяет определить параметры сопротивления грунта сдвигу φ и c . Для песчаного грунта достаточно проведения одного опыта, так как при $c = 0$ касательная к кругу Мора в этом случае выходит из начала координат.

Важно отметить, что прочностные характеристики грунтов, особенно пылевато-глинистых, существенно зависят от скорости передачи нагрузки в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений. При быстром нагружении массивов слабых водонасыщенных грунтов практически не реализуется угол внутреннего трения грунта. В таком случае возможно разрушение грунта под сооружением. Такой процесс происходит с большой скоростью и называется «недренированный срез». Чтобы учесть возможность проявления таких процессов в основании, необходимо выполнение специальных испытаний согласно ГОСТ 12248—2010. При определении прочностных характеристик грунтов используют три различные схемы нагружения образца:

- **консолидированно-дренированное (КД) испытание:** после помещения образца в камеру прибора трехосного сжатия производят всестороннее обжатие образца и выдерживают его под нагрузкой некоторое время с целью снижения избыточного порового давления в образце (консолидация). После выдерживания образца под давлением всестороннего обжатия к нему прикладывают вертикальное давление небольшими ступенями с выдерживанием времени на каждой ступени до разрушения образца. В результате получают эффективные показатели прочности грунта φ и c . Такие показатели можно использовать в численных расчетах в том случае, если в процессе строительства предполагается небольшая скорость передачи нагрузки от сооружения на грунты основания и в основании не залегают слабые водонасыщенные грунты;

- **консолидированно-недренированное (КН) испытание:** производят консолидацию образца при всестороннем обжатии. После консолидации образца закрывают дренаж и передают ступенчато вертикальную нагрузку на образец до его разрушения. В результате таких испы-

таний получают характеристики прочности **дисперсных грунтов** φ и c . Параметры прочности грунтов, полученные при КН испытаниях, используют в том случае, если предполагается быстрая передача нагрузки от сооружения на грунты основания, сложенные дисперсными грунтами (песок, гравий, щебень и т.п.).

- **неконсолидированно-недренированное (НН) испытание:** дренаж в приборе трехосного сжатия закрыт с начала и до конца испытания как при всестороннем обжатии образца, так и при его вертикальном нагружении. В результате таких испытаний получают недренированное сцепление c_u , **угол внутреннего трения** при такой схеме нагружения не реализуется и **равен нулю**. Характеристики прочности грунта, полученные при НН испытаниях, необходимы для тех случаев, когда предполагается быстрая передача нагрузок от сооружения на основание, сложенное пылевато-глинистыми грунтами, а также в случае залегания в основании сооружения слабых водонасыщенных грунтов. Так как коэффициент фильтрации пылевато-глинистых грунтов имеет низкое значение, при передаче нагрузок от сооружения на основание, сложенное такими грунтами, предполагается, что грунт в основании может быть **неконсолидированным** в своем природном состоянии.

Выбор тех или иных характеристик прочности грунта в численных расчетах должен производиться с учетом скорости строительства, интенсивности нагрузок и фильтрационных свойств грунтов основания. В главе 3 настоящего пособия показано, как в первом приближении определить необходимый набор параметров прочности грунта в основании.

Глава 2 ОСНОВЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

2.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАСЧЕТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММЕ PLAXIS 2D

Программная среда PLAXIS реализует метод конечных элементов. **Метод конечных элементов (МКЭ)** — это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидро- и электродинамики. Данный метод предполагает разбиение расчетной модели на конечные элементы различной формы, назначение в каждом конечном элементе точек напряжений и точек деформаций (рис. 2.1).

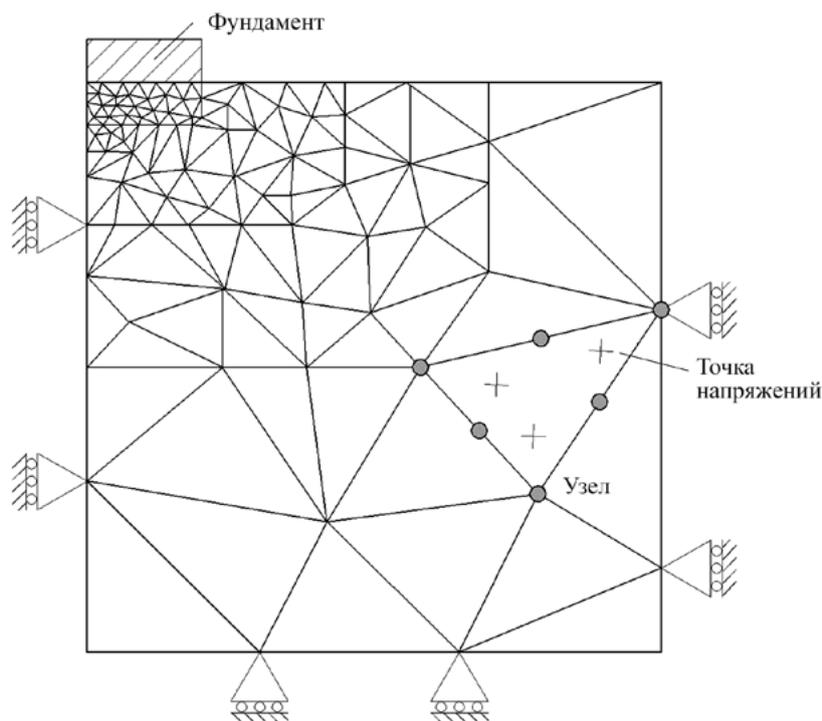


Рис. 2.1. Разбиение расчетной схемы на конечные элементы

В общем случае расчет методом конечных элементов можно разбить на следующие этапы.

1. Создание конечно-элементной сетки. На данном этапе производится построение полной расчетной схемы проекта. Расчетная схема должна учитывать инженерно-геологические условия площадки строительства: неравномерное залегание инженерно-геологических элементов, их физико-механические характеристики, уровни грунтовых вод, неблагоприятные геологические процессы (карстовые полости, просадка и набухание грунта и т.д.). Расчетная схема должна включать в себя все конструктивные элементы зданий, сооружений, котлованов и других объектов, в том числе временные. В том случае, если предполагается учитывать этапность строительства, например откопки котлована, то на расчетную схему также должны быть нанесены все ярусы откопки котлована. Подводя итог, можно сказать, что расчетная схема проекта должна быть максимально подробной и включать в себя все элементы, способные повлиять на конечные результаты решения. После создания расчетной схемы проекта необходимо перейти в режим разбиения сетки конечных элементов. В программной среде PLAXIS разбиение сетки конечных элементов происходит в автоматическом режиме и не требует особых навыков. Однако стоит учитывать локальную крупность сетки.

2. Определение матрицы жесткости конечного элемента. На данном этапе происходит расчет жесткости каждого конечного элемента с учетом физико-механических характеристик грунтов и конструктивных элементов, входящих в данный элемент:

$$[k] = [B]^T[D][B]\Delta S;$$

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}; \{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}.$$

3. Создание обобщенной матрицы жесткости системы конечных элементов: $[K]$

4. Задание граничных условий. Граничные условия расчетной схемы могут существенно влиять на полученные результаты расчета и должны назначаться корректно. Так, например, при слишком близком расположении боковых границ к рассматриваемому в проекте зданию может быть получена задача, близкая к компрессионной. При таких условиях значения осадок, получаемые в расчете, будут существенно завышены и могут привести к некорректным выводам:

$$\{U\} = 0; \{U\} \neq 0; \{F\} \neq 0.$$

5. Решение системы алгебраических уравнений. На данном этапе происходит расчет модели при заданных параметрах путем умножения матрицы жесткости на матрицу внутренних усилий в модели:

$$\{F\} = [K]\{U\}.$$

6. Определение деформаций и напряжений в конечных элементах. После расчета производится определение деформаций и напряжений в конечных элементах. В программной среде PLAXIS деформации и напряжения в расчетной схеме по умолчанию показываются в виде цветовых полей:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}; \{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}.$$

2.2. РАСЧЕТ НАЧАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Отдельное внимание следует уделить генерации исходного напряженно-деформированного состояния грунтового массива в программе PLAXIS 2D. Генерация начальных напряжений происходит на первом этапе расчета, и от корректного ее выполнения существенно зависит качество полученных результатов. Для расчета начальных напряжений в программе PLAXIS 2D существуют два различных режима: *K₀-procedure* и *Gravity loading*.

При расчете в режиме *K₀-procedure* происходит генерация нормальных напряжений в грунте. Касательные напряжения и деформации не рассчитываются. При расчете в режиме *Gravity loading* происходит расчет нормальных и касательных напряжений, а также деформаций, вызванных давлением собственного веса грунтов на нижележащие слои. На рис. 2.2 приведена блок-схема для выбора корректного режима расчета начальных напряжений в расчетной модели. Общие рекомендации по выбору режима расчета могут быть сформулированы следующим образом: режим *K₀-procedure* может быть использован только при горизонтальном залегании слоев грунта, при горизонтальных уровнях грунтовых вод и при отсутствии в модели каких-либо грунтовых сооружений (дамб, откосов и т.д.), во всех остальных случаях должен использоваться режим расчета *Gravity loading*.

Приведем в качестве примера расчет начальных напряжений в модели с негоризонтальным залеганием слоев грунта с использованием *K₀-procedure* и *Gravity loading*. На рис. 2.3 показаны изополя касательных напряжений, возникающих в массиве грунта. Видно, что при расчете по *K₀-procedure* не генерируются касательные напряжения. Такое допущение может привести к некорректной генерации касательных напряжений в течение всего остального расчета и к ситуации, когда расчет не покажет возможного разрушения грунта при передаче на него нагрузки от сооружения.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru