

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ДИЛАТАНСИИ В МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ

Д. Ю. Соболевский, д-р техн. наук
(Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь)

В статье изложен материал, указывающий на несоответствие базовых принципов классической механики грунтов для описания физической природы явлений в грунтах в процессе устройства и нагружения фундаментов глубокого заложения. Новые прогрессивные технологии подземного строительства выявили проблемы в механике грунтов как теоретической основе современной геотехники.

Report reflects facts of discrepancy of basic principles of classical soil mechanics while describing the physical nature of processes in soils around deep foundations. New technologies opened new problems in soil mechanics as a theoretical basis of modern geotechnics.

Развитие новых технологий фундаментостроения, потребность передачи больших нагрузок на глубокие слои грунта, быстрый прогресс технологий подземного строительства выявили серьёзные проблемы в механике грунтов как теоретической основе практической геотехники.

Превалирование эмпирических методов в расчетах, проектировании и определении несущей способности в современной геотехнике указывает на то, что базовые принципы классической механики грунтов нередко оказываются несостоятельными для описания физической природы явлений в грунтах в процессе устройства фундаментов и их нагружения.

Характерным примером может быть проблема создания теоретических методов расчета свай (любого типа и конструкции) с использованием прочностных и деформационных параметров грунта.

Фундаментальные свойства зернистой среды.

Существует несколько свойств грунта, характеризующихся как фундаментальные. Эти свойства определяют поведение грунта при его нагружении и прочность в тех или иных условиях деформирования. Такими фундаментальными свойствами являются внутреннее трение, связность, дилатансия.

В теориях прочности классической механики грунтов мы обнаруживаем исключительно параметры внутреннего трения и связности. Свойство дилатансии либо отсутствует, либо упоминается без четкого количественного описания.

В то же время это фундаментальное свойство является во многих случаях определяющим фактором напряженного состояния, прочности и несущей способности.

Отсутствие учёта дилатансии и методов её количественного описания представляется серьёзной проблемой классической механики грунтов.

Прочность грунта, не обладающего связностью, определяется внутренним трением, физическая природа которого заключается во взаимодействии зёрен – их трении, повороте и зацеплении. Материал, являющийся продуктом разрушения сплошной горной породы собственной прочностью фактически не обладает.

К примеру, песок одной и той же начальной плотности сложения обнаруживает совершенно различное сопротивление одноосному сжатию будучи помещенным в стальную оболочку или резиновую камеру. Фактически это сопротивление определяет среда, в которой развивается разрушение.

Критерием разрушения основания или массива грунта является нарушение сплошности или разрыв по линиям скольжения. Для зерен, слагающих грунт, это проявляется в изменении начальной упаковки зерен с достижением состояния так называемой критической плотности. Критическая плотность не есть заданная величина для данного состава грунта. Она различна для разных условий нагружения и деформирования. Поэтому можно согласиться с P.W.Rowe [1], утверждавшим, что прочность несвязного грунта есть не столько его характеристика, сколько свойство, проявляющее себя по-разному в разных условиях.

В конце прошлого столетия O.Reynolds [2] обнаружил, что зернистые массы, в отличие от сплошных тел, жидкостей и газов, обладают свойством изменения объема в процессе деформации фор-

моизменения. Для описания этого свойства он ввел термин «дилатансия». Это свойство он определил, как фундаментальное.

К сожалению, спустя более чем столетие, дилатансии, а именно её физической природе, заключающейся в специфике взаимодействия зерен в массиве грунта, по-прежнему уделяется мало внимания в учебной и специальной литературе по геотехнике.

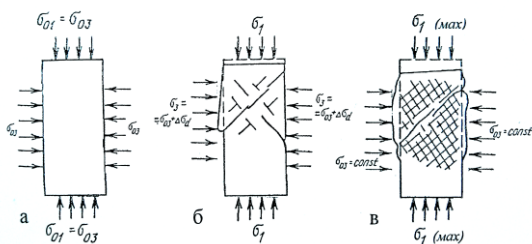
Заметим, что дилатансия, означающая изменение контактной плотности вещества, является универсальным свойством кинематики контакта любых сред разного фазового состояния. Примером может быть явление перехода от ламинарного течения жидкости к турбулентному или аэродинамические процессы изменения давления вокруг крыла самолета. Однако, рассмотрение этих явлений не входит в рамки этой статьи.

Свободная и стесненная дилатансия.

Прочность несвязного грунта характеризуется величиной угла внутреннего трения ϕ . Значение этого параметра неотделимо от метода его определения.

Для пояснения обратимся к рисункам 1 и 2, показывающим стадии напряженного состояния образцов для двух схем испытания грунта в трехосном приборе.

В процессе нагружения образца формируются зоны предельного состояния и происходит его оазуплотнение с увеличением объема – дилатансия. Однако это явление не влияет на прочность и напряженное состояние, т.к. происходит свободный отток жидкости из камеры прибора в волюнометр. В момент достижения предельной прочности объем жидкости, отжатой в волюнометр, будет соответствовать достижению состояния критической плотности образца по площадкам скольжения.



ис. 1. Стадии напряженного состояния образца при трехосном сжатии в условиях свободной дилатансии:

a – начальное; *б* – в начале формирования линий скольжения; *в* – в момент разрушения

Разрушение плотного образца обычно выражается в нарушении его устойчивости. На рисунке 1 боковое давление в течение опыта сохраняется постоянным $\sigma_3 = \sigma_{03} = const$. Разрушению соответствует потеря устойчивости образца с достижением критической плотности по линиям разрыва. В описанных условиях дилатансия в момент разрушения достигает своего максимального значения. При этом она не оказывает влияния на значение параметра прочности грунта, который можно выразить как

$$\varphi = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)] \quad (1)$$

где φ – угол внутреннего трения при свободной дилатансии, град;
 σ_1, σ_3 – главные напряжения, $\sigma_3 = \sigma_{03} = const$ (при свободной дилатансии боковое давление неизменно).

Совершенно иная картина разрушения наблюдается, если оттоку жидкости из камеры будет препятствовать некоторая упругая связь (рисунок 2). Дилатансии образца в процессе нарастания вертикальной нагрузки будет сопутствовать увеличение бокового давления, пропорциональное жесткости этой упругой связи. Каждой ступени нагружения будет соответствовать новое соотношение главных напряжений. *Последние становятся прямой функцией дилатансии.*

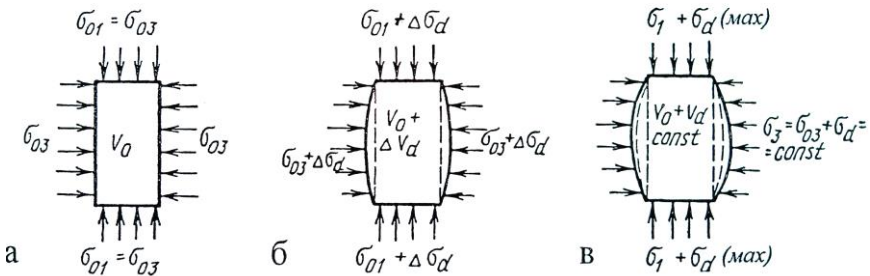


Рис. 2. Стадии напряженного состояния образца при трехосном сжатии в условиях стесненной дилатансии:

a – начальное; *б* – в процессе нагружения; *в* – в момент разрушения

На рисунке 2 боковое давление в течение опыта является функцией дилатансии (жесткости массива грунта) $\sigma_3 \neq \sigma_{03} \neq const$. Разру-

шению соответствует выпучивание образца с достижением критической плотности во всем объеме.

По достижению критической плотности – максимальной дилатансии, происходит бочкообразное выпучивание образца. Начальное боковое давление получает приращение на величину дополнительного давления, названного нами дилатантным. Величина параметров прочности выразится как

$$\varphi' = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3 + 2 \sigma_d)] \quad (2)$$

где φ' – угол внутреннего трения при стесненной дилатансии, град;

σ_1, σ_3 – главные напряжения, $\sigma_3 \neq \sigma_{03} \neq const$ (при стесненной дилатансии приращение напряжения становится функцией жесткости массива, окружающего область разрушения);

σ_d – приращение главных напряжений вследствие дилатантного распора.

Этот пример показывает, что дилатансия при своем ограничении становится фактором, влияющим не только на напряженное состояние (что общепризнано), но и на прочностные параметры. График $\tau_u = f(\sigma_o)$ представлен на рисунке 3.

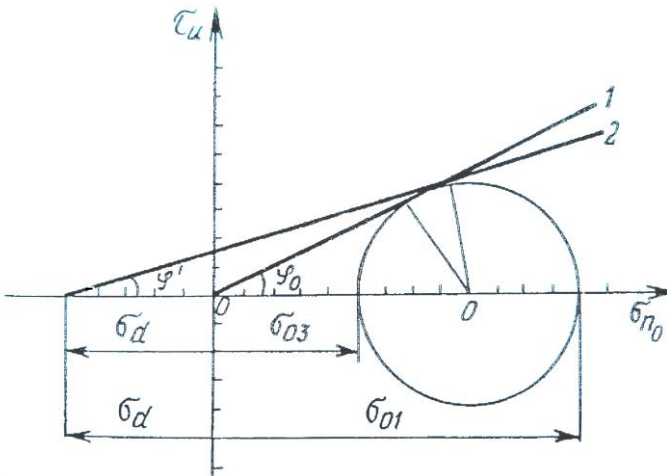


Рис. 3. Касательные к кругу Мора:

1 – при свободной дилатансии $\varphi_0 = \max$; 2 – в условиях стесненной дилатансии

Заметим, что количество касательных к кругу Мора в случае стесненной дилатансии может быть самым разным в диапазоне значений угла внутреннего трения от $\varphi' = \varphi_o$ (максимальным, при свободной дилатансии) до $\varphi' = \varphi_\mu$ (минимальным, соответствующим величине угла межгранулярного трения φ_μ). Для кварцевых песков этот угол находится в пределах 26-28 град. [3,4].

Методы испытаний грунта. Проблема моделирования.

Методы испытания грунта, равно как и любого материала, должны моделировать те или иные условия нагружения, которые этот материал испытывает в натуре. Например, условия соответствующие рисунку 1, близки к классической схеме разрушения основания при выпоре из-под фундамента мелкого заложения. Дилатансия присутствует, но не становится фактором напряженного состояния и прочности.

В совершенно иных условиях находится грунт под нижним концом сваи. Здесь разуплотнение грунта встречает сопротивление окружающего массива, деформационные характеристики которого определяет и приращение главных напряжений, и величину мобилизуемого угла внутреннего трения, и значение критической плотности в момент исчерпания несущей способности.

При одних и тех же исходных значениях главных напряжений, все параметры будут совершенно различны в случаях стесненной и не ограниченной дилатансии. Соответственно, величина угла внутреннего (контактного) трения одного и того же грунта будет разной при разных условиях деформирования. Не в этом ли причина неудач и противоречий, возникающих при попытках использования классических представлений о прочности несвязного грунта для построения методов расчета фундаментов глубокого заложения? Не в этом ли также и объяснение столь высоких значений контактных сопротивлений сдвигу по боковым поверхностям инъекционных свай, анкеров, армирующих элементов?

По нашему убеждению, условия свободной дилатансии следует рассматривать лишь как частный случай разрушения. Параметры прочности, определяемые по стандартным методикам испытаний грунтов, не позволяющие моделировать условия стесненной дилатансии, как раз и соответствуют этому частному случаю.

Исследование, посвященное методам определения прочности дилатирующих грунтов, методам испытаний и расчету фундамент-

ных конструкций, проведенное нами при непосредственном участии и консультировании д.т.н., профессора Б.И. Далматова, представлено в работах [3,4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Roy P.W. Notes of the Relative Principle Strains of Particle Assembly During Change in Mean Principle Stress at Constant Ratio in the Triaxial Cell // Prog. Manchester University. – 1964.

2. Reynolds O. Experiments Showing Dilatancy, a Property of Granular Material // Prog. Roy Institute. – 1886, P. 30–33.

3. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю.Соболевский. – Минск: Навука і тэхніка, 1994.– 232 с.

4. Sobolevsky D.Yu. Strength of Dilating Soil and Load-Holding Capacity of Deep Foundations // Rotterdam/ A.A. Balkema publ., 1995 – 243p.

УДК 624.131.52

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УПРУГОСТИ ОРТОТРОПНЫХ ГРУНТОВ

Талецкий В. В., канд. техн. наук,
(Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель, Беларусь)

Предлагается определять не традиционные механические характеристики ортотропных грунтов (модули упругости, модули сдвига и коэффициенты Пуассона), а постоянные коэффициенты упругости, непосредственно связывающие относительные деформации и напряжения в обобщенном законе Гука. Все испытания проводятся в одном приборе с независимо регулируемыми главными напряжениями. Повышается точность определения постоянных коэффициентов упругости за счет сокращения количества испытываемых образцов и проведения всех испытаний в одном приборе.