

ДЕФОРМАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

STRAIN INSTABILITY IN CLAY SOIL. INITIATION AND IDENTIFICATION

УСОВ А.Н.

Научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Alexeynusov@gmail.com

ВОЗНЕСЕНСКИЙ Е.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, Eugene@geol.msu.ru

USOV A.N.

Researcher, Engineering and Environmental Geology Department, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Alexeynusov@gmail.com

VOZNESENSKY E.A.

Professor, Engineering and Environmental Geology Department, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Eugene@geol.msu.ru

Ключевые слова:

деформирование глинистых грунтов, деформационная неустойчивость, недренированные трехосные испытания, поле эффективных напряжений, коэффициент напряжений.

Key words:

clays deformation, deformation instability, undrained triaxial tests, effective stress path, stress ratio.

Аннотация

В статье рассматривается процесс деформирования глинистых грунтов с учетом проявления состояния деформационной неустойчивости. Приведена история исследования этого состояния грунтов в инженерной геологии и в геотехнике. Рассматриваются два методических подхода к определению момента возникновения деформационной неустойчивости в глинистых грунтах. Первый подход основан на анализе скорости развития деформаций образца, а второй — на анализе работы, совершаемой при его деформировании. Рассмотрены основные факторы, от которых зависит положение точки неустойчивости в поле эффективных напряжений: величина действующих сжимающих напряжений и их соотношение между собой, величина начального коэффициента бокового давления и скорость деформирования. Анализируется величина коэффициента напряжений в точке деформационной неустойчивости для разных грунтов и его соотношение с величиной, достигаемой при этой осевой деформации.

Abstract

This paper examines clayey soil deformation considering deformation instability states. The article presents history of the study of this phenomena in Engineering Geology and Geotechnics. Two methods of determining the beginning of instability in clay soils is proposed. The first approach is based on the speed of deformation analysis of the sample. The second approach is based on the work analysis performed during sample deformation. The main factors which determine position of instability point in the effective stress path the studied. Among these factors, the value of the effective compressive stress and their ratio, the value of the initial coefficient of lateral pressure and the rate of deformation. Shown correlation between stress ratio and strain in the point of instability for different soils.

Введение

Начало разработки теории неустойчивости было положено в работах П. Ладе в конце 80-х годов XX века [5, 7]. Существует несколько определений феномена неустойчивости, данные разными авторами [4, 13, 10]. Проанализировав опубликованные данные и материалы собственных исследований, авторы данной статьи определяют неустойчивость как докритическое состояние грунтов, предшествующее разрушению, которое связано с началом разрыва или ослабления значимого количества межчастичных контактов и сопутствующей перестройкой порового пространства, проявляющееся прежде всего в увеличении скорости деформирования грунтов.

Изучению вопросов неустойчивости в настоящее время посвящено довольно большое количество исследований, но все они рассматривают песчаные грунты. Этот интерес связан прежде всего с разжижаемостью последних. Среди недавних работ по этой теме можно отметить исследования [3, 4, 14].

Изучение деформационной неустойчивости грунтов проводится в лабораторных условиях с использованием разных схем испытаний и разного испытательного оборудования. Наиболее распространены испытания в условиях трехосного сжатия и испытания на простой сдвиг. Представленное исследование основано на результатах испытаний глинистых грунтов в условиях недренированного трехосного сжатия. Для характеристики неустойчивости далее используется понятие «точка неустойчивости», соответствующее моменту времени, после которого рост деформаций значимо ускоряется.

Для того чтобы полнее раскрыть понятие деформационной неустойчивости, рассмотрим некоторые вопросы, связанные с выделением точки неустойчивости. В мировой практике таких исследований при интерпретации результатов трехосных испытаний используются два критерия разрушения образца:

- разрушение происходит при достижении девиатором напряжений максимального значения;
- разрушение происходит при достижении максимума отношения главных эффективных напряжений (σ'_1/σ'_3).

При дренированных испытаниях эти два условия достигаются одновременно, однако при недренированных испытаниях, в которых во время сдвига развивается значительное поровое давление, возникает сложность в определении момента разрушения. Здесь максимальное значение девиатора напряжений достигается раньше, чем максимальное значение отношения главных эффективных напряжений [2, 9, 12]. При анализе результатов опытов, проведенных в недренированных условиях на песчаных грунтах и представленных в поле напряжений $p' - q$ (где $p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$ — средние эффективные напряжения; $q = \sigma_1 - \sigma_3$ — девиатор) (рис. 1), следует отметить, что пик траектории не связан с линией критических состояний и не соответствует моменту разрушения.

Деформации продолжают развиваться и после достижения максимума девиатора при продолжении его снижения. Увеличение деформации при уменьшении нагрузки является одним из характерных проявлений неустойчивости.

Это означает, что в недренированных условиях в рыхлых несвязных грунтах достижение максимума девиатора не может служить критерием разрушения, а в условиях минимальной разницы напряжений неустойчивость развивается внутри некоторой «истинной поверхности разрушения» [4]. Разрушение образца в недренированных условиях происходит при максимальном значении отношения главных эффективных напряжений σ'_1/σ'_3 после достижения максимального девиатора напряжений [13].

Таким образом, эти два условия характеризуют область потенциальной неустойчивости грунта. По определению П. Ладе [4], неустойчивость — это состояние, при котором касательное напряжение достигает максимума на истинной поверхности разрушения, а затем начинает уменьшаться. Неустойчивость — не синоним разрушения, но достижение этого состояния означает потенциальную возможность разрушения грунта при данной нагрузке.

Проявление неустойчивости в грунте после развития девиаторного напряжения $q = \sigma_1 - \sigma_3$ предполагает, что в поле эффективных напряжений ниже линии критического состояния существует линия, соответствующая нижней границе области неустойчивости и разделяющая зоны стабильного и нестабильного состояния грунта.

Она именуется «линией неустойчивости» [4] и характеризует геометрическое положение точек неустойчивости для образцов одной плотности, но с разными начальными напряженными состояниями. Зона между линией неустойчивости и линией критического состояния называется зоной потенциальной неустойчивости [4] (рис. 2).

На основании большой серии экспериментов, проведенных на различных несвязных грунтах разной крупности, М. Липински [8] предложил универсальный критерий достижения состояния неустойчивости:

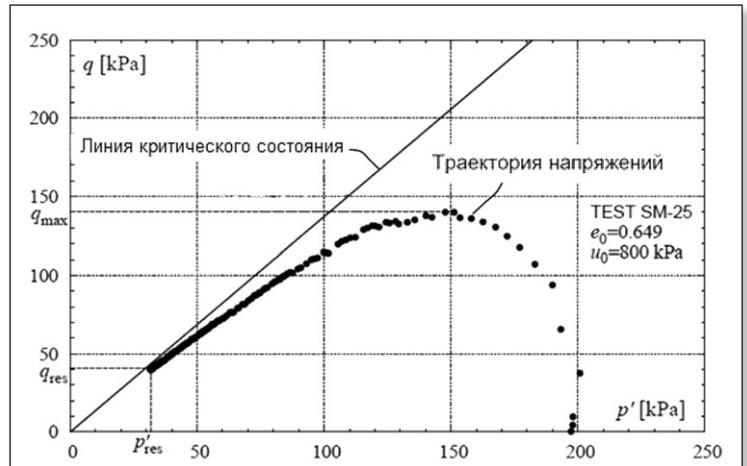


Рис. 1. Траектория эффективных напряжений для недренированного опыта в координатах $p' - q$ (по Swidzinski, Mierczynski, 2005)

$$q/p' = 1 \text{ или } \sigma'_1/\sigma'_3 = 2,5,$$

где q — максимальные касательные напряжения; p' — средние эффективные напряжения; σ'_1, σ'_3 — главные эффективные напряжения.

Однако указанные критерии были выведены автором эмпирически без какого-либо теоретического обоснования.

Изучение явления неустойчивости актуально не только для песчаных грунтов, но и для связных, так как позволяет лучше понять природу деформируемости и прочности грунта, а также подойти к получению еще одной группы уравнений состояния грунтов, расширяющих наши возможности описания и моделирования их поведения. Определение точки неустойчивости определяет уровень нагрузок, знаменующих начало массового разрушения структурных связей в грунте, которое в конечном итоге приводит к его разрушению.

В связи с тем что состояние неустойчивости интересно и с научной, и с практической точки зрения, а глинистые грунты в этом отношении практически не изучены, были проведены исследования, результаты которых обсуждаются в данной статье.

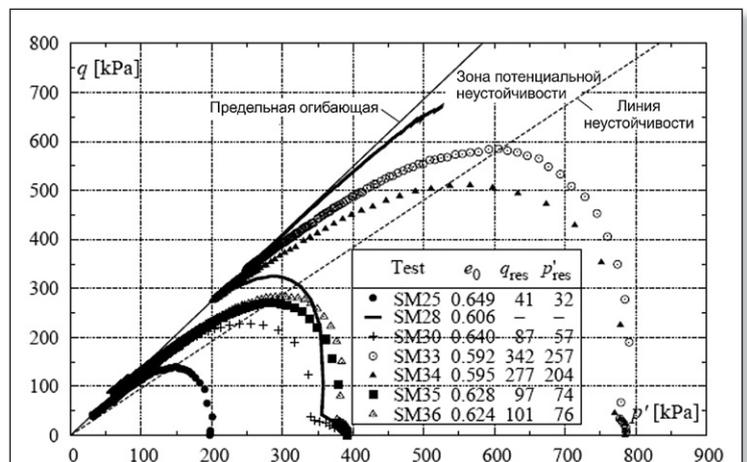


Рис. 2. Иллюстрация линии неустойчивости и зоны потенциальной неустойчивости в поле эффективных напряжений (по Swidzinski, Mierczynski, 2005)

Характеристика исследованных грунтов

Феномен неустойчивости исследовался авторами на трех группах грунтов. Характеристики всех полученных образцов (перед испытаниями) представлены в табл. 1.

К первой группе относились искусственно сформированные модельные образцы-близнецы. Исходным материалом для них послужили пльвунные голоценовые глины ледниково-морского генезиса, отобранные в районе города Тронхейма из толщи Tiller (Норвегия).

Грунты второй группы представлены природными верхнеплейстоценовыми озерно-аллювиальными отложениями перигляциальной зоны Западной Сибири. По ГОСТ 25100-2011 среди них были выделены глины легкие пылеватые и суглинки тяжелые пылеватые. Испытания проводились на образцах ненарушенного сложения.

Грунты третьей группы представлены природными верхнечетвертичными аллювиально-озерными отложениями Приволжской платообразной возвышенности. По ГОСТ 25100-2011 эти грунты относятся к суглинкам тяжелым песчаным. Испытания также проводились на образцах ненарушенного сложения.

Методика исследований

Моделирование напряженного состояния грунта в массиве и изучение состояния неустойчивости проводилось методом трехосного сжатия при консолидированно-недренированных условиях с контролем порового давления на автоматизированной установке трехосного сжатия LoadFrameType производства компании GDS (Великобритания).

Наиболее отчетливым внешним критерием для выделения точки неустойчивости по определению является изменение скорости деформации. Исходя из этого была принята схема монотонного нагружения с постоянной скоростью увеличения нагрузки, равной 1 кПа/мин. Кроме этого, на искусственно сформированных образцах для изучения влияния эффекта ско-

рости нагружения, была проведена серия испытаний со скоростью нагружения 10 кПа/мин.

Для определения положения точки деформационной неустойчивости авторами предлагаются два подхода: расчетом по скорости развития деформаций и по работе деформаций. Первый подход основывается на установлении момента достоверного отклонения скорости накопления деформаций от скорости начального процесса деформирования (рис. 3).

На рисунке 3 приведен пример обработки результатов эксперимента по скорости развития деформаций. Здесь важно отметить несколько моментов: в процессе эксперимента осевые деформации регистрируются каждые 30 с. Приведенная зависимость представляет поинтервальный расчет скорости их изменения за каждые 30 с. Далее на этой диаграмме выделяется начальный участок (синяя линия на рис. 3), для которого скорость деформаций можно принять постоянной. На этом участке определяется среднее значение скорости деформаций (зеленая линия на рис. 3). Далее для начального участка вычисляется значение среднеквадратичного отклонения (σ), т.к. выборка из частных значений скорости на начальном участке подчиняется нормальному закону распределения, что позволяет воспользоваться аппаратом математической статистики. Постоянное значение на рис. 3 показано оранжевым цветом. За точку деформационной неустойчивости принимается первая на диаграмме точка, значение скорости деформации в которой будет достоверно превышать начальную, т.е. будет превышать ее не меньше, чем на величину 3σ (на рис. 3 показана лиловым цветом).

Второй подход основан на расчете величины суммарной работы, совершаемой над образцом при деформировании. Исходя из того, что увеличение скорости деформирования означает возникновение значимого сопротивления грунта, то очевидным образом меняется и совершаемая работа. Анализируя суммарную работу $A = \Sigma A_i$, вычисленную по аналогии с известным методом Беккера [1]:

Таблица 1

Характеристика исследованных образцов грунтов								
Группы грунтов	Условия консолидации при подготовке образца	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность скелета грунта ρ_d , г/см ³	Влажность грунта W , %	Пористость n , %	Коэффициент пористости e	Показатель консистенции I_L	Название по ГОСТ 25100-2011
Модельные грунты (1-я группа)	Изотропная	$\frac{2,07-1,98}{2,02}$	$\frac{1,64-1,56}{1,60}$	$\frac{25,4-26,7}{26,3}$	$\frac{42-44}{43}$	$\frac{0,71-0,80}{0,76}$	0,24–0,33	Суглинки тяжелые пылеватые
	Анизотропная	$\frac{1,98-2,07}{2,01}$	$\frac{1,56-1,65}{1,59}$	$\frac{25,4-27,0}{26,6}$	$\frac{41-44}{43}$	$\frac{0,70-0,80}{0,77}$	0,24–0,36	
Природные IaQIII (2-я группа)	Изотропная	$\frac{1,99-1,93}{1,96}$	$\frac{1,69-1,56}{1,61}$	$\frac{27,1-17,4}{21,8}$	$\frac{43-38}{41}$	$\frac{0,75-0,60}{0,69}$	-0,50–0,26	Глины легкие пылеватые, суглинки тяжелые пылеватые
	Анизотропная							
Природные alQIV (3-я группа)	Изотропная	$\frac{2,11-2,00}{2,03}$	$\frac{1,77-1,59}{1,65}$	$\frac{25,7-19,1}{23,5}$	$\frac{42-35}{40}$	$\frac{0,72-0,54}{0,66}$	0,10–0,10	Суглинки тяжелые песчаные
	Анизотропная							

Над чертой — диапазон между минимальным и максимальными значениями показателя; *под чертой* — среднее значение показателя.

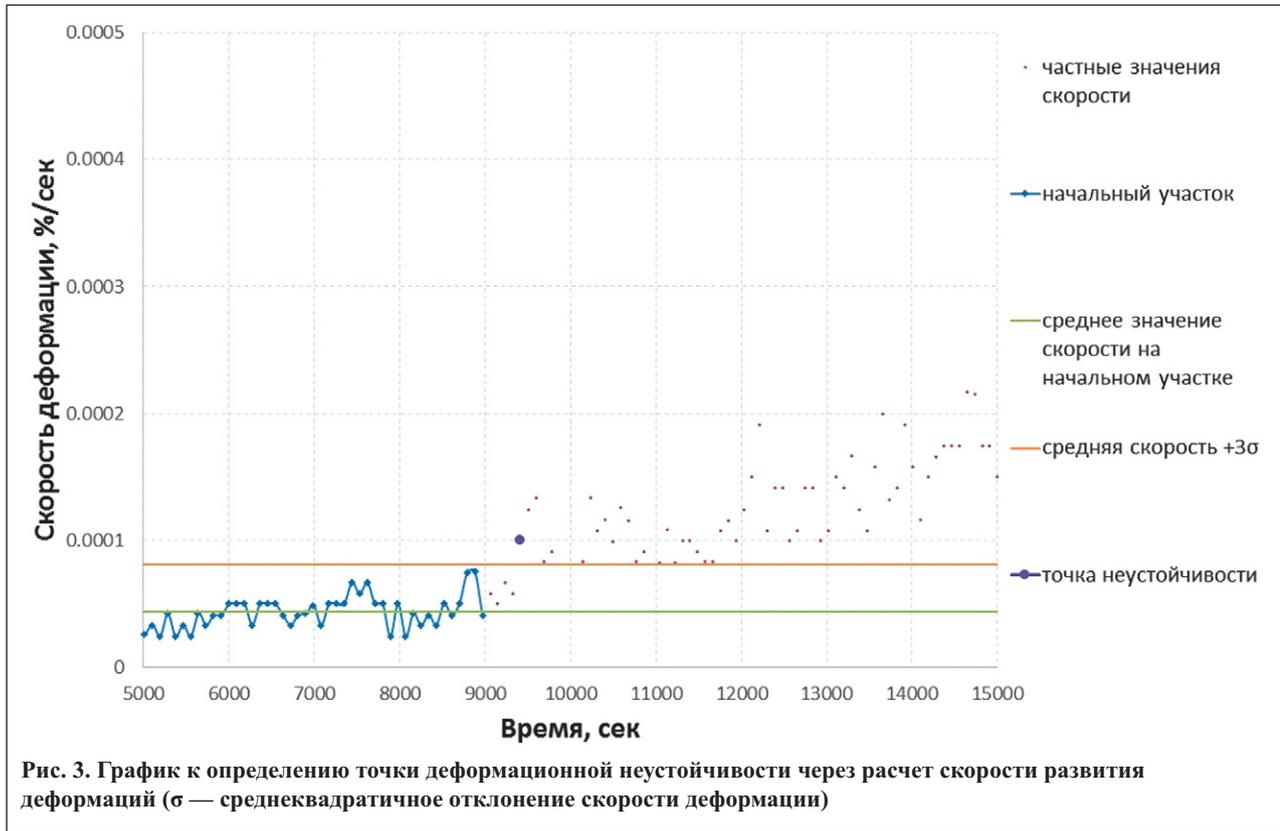


Рис. 3. График к определению точки деформационной неустойчивости через расчет скорости развития деформаций (σ — среднеквадратичное отклонение скорости деформации)

$$A_i = 1/2(D_i + D_{i+1}) \cdot (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i),$$

где A_i — работа, совершаемая в интервале времени от момента i до $i + 1$, кДж/м³; D_i — девиатор напряжений в момент i , кПа; ε_i — относительная осевая деформация в момент i , %. Представив ее в виде функции натурального логарифма времени $\ln t$, получим диаграмму с отчетливым перегибом (рис. 4). Момент, отвечающий началу возрастания совершаемой над грунтом работы, и является точкой неустойчивости.

При сопоставлении осевых деформаций в точке неустойчивости для серии испытаний при изотропной консолидации на искусственно сформированных глинистых грунтах было получено (табл. 2), что их значения при разных способах обработки различаются не более чем на 0,1%. Этот результат подтверждает достаточную надежность определения точки неустойчивости на основании анализа суммарной работы, который является менее трудоемким, хотя и не опирается напрямую на расчет скорости деформации, как прямой критерий выявления момента достижения неустойчивости. В дальнейшем мы будем использовать этот метод выявления точки неустойчивости.

Таблица 2

Величины осевой деформации в точке неустойчивости, полученной разными методами		
Средние эффективные сжимающие напряжения, кПа	Деформация неустойчивости, ε %	
	По скорости развития деформаций	По работе деформаций
400	0,867	0,812
550	0,748	0,790
700	0,425	0,508
800	0,696	0,682

Для дальнейшего анализа точки неустойчивости наносятся на траектории эффективных напряжений, соответствующие развитию напряжений в образце на стадии сдвига (рис. 5), которые характеризуются в этом поле коэффициентом напряжения (SR), определяемого как соотношение величин нормальных и касательных напряжений в заданной точке траектории нагружения:

$$SR = q/p',$$

где q — максимальные касательные напряжения, равные $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$; p' — средние эффективные напряжения, равные $p' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2 = (\sigma_1 + \sigma_3 - 2u)/2$; σ_1 и σ_3 — главные напряжения, u — поровое давление.

Пример обобщенных траекторий эффективных напряжений по серии испытаний модельных грунтов после изотропной консолидации приведен на рис. 6.

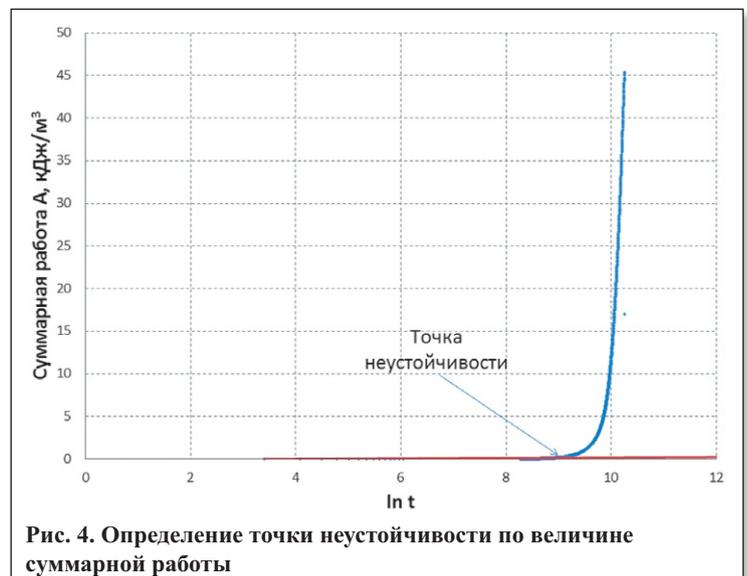


Рис. 4. Определение точки неустойчивости по величине суммарной работы

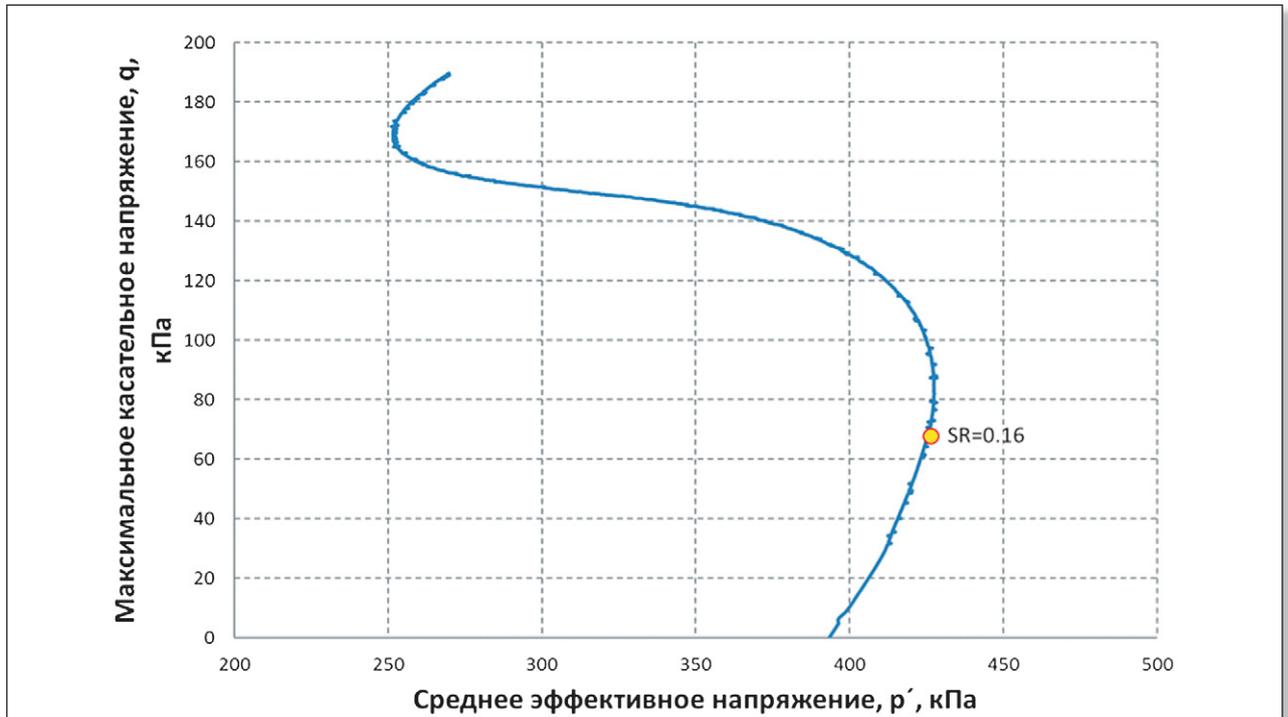


Рис. 5. Траектории эффективных напряжений с нанесенной точкой неустойчивости и коэффициентом напряжения SR

Величины максимальных касательных и средних эффективных напряжений зависят от главных напряжений σ_1 и σ_3 , а также от величины порового давления u . Однако по условиям экспериментов всестороннее давление в камере σ_3 остается постоянным в процессе всего эксперимента, а это означает, что характер изменения траекторий, приведенных на рис. 5 и 6, зависит

от изменения величины осевых напряжений σ_1 и от изменения порового давления u . Для визуализации этого приведем зависимость изменения девиаторной составляющей осевых напряжений и порового давления от осевых деформаций в ходе одного из экспериментов (рис. 7), которые объясняют характер траекторий эффективных напряжений, показанных на рис. 5 и 6.

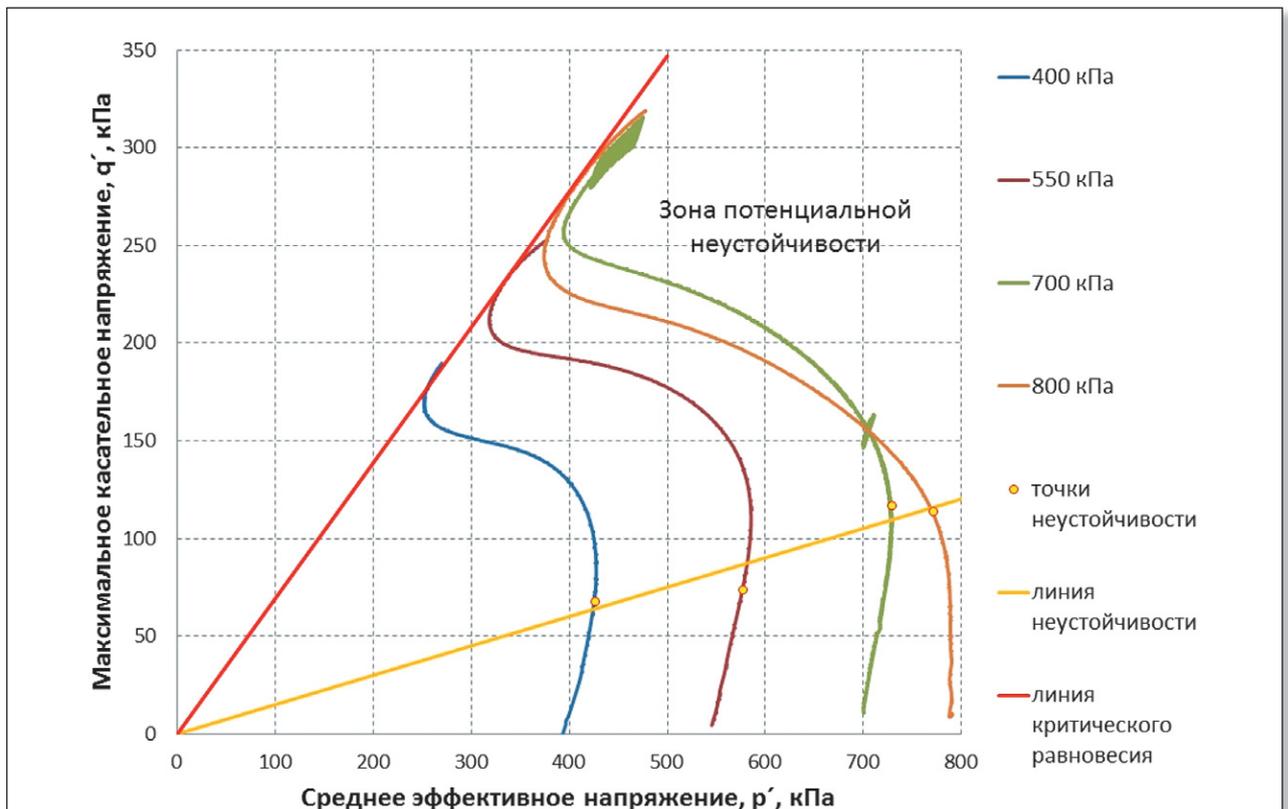
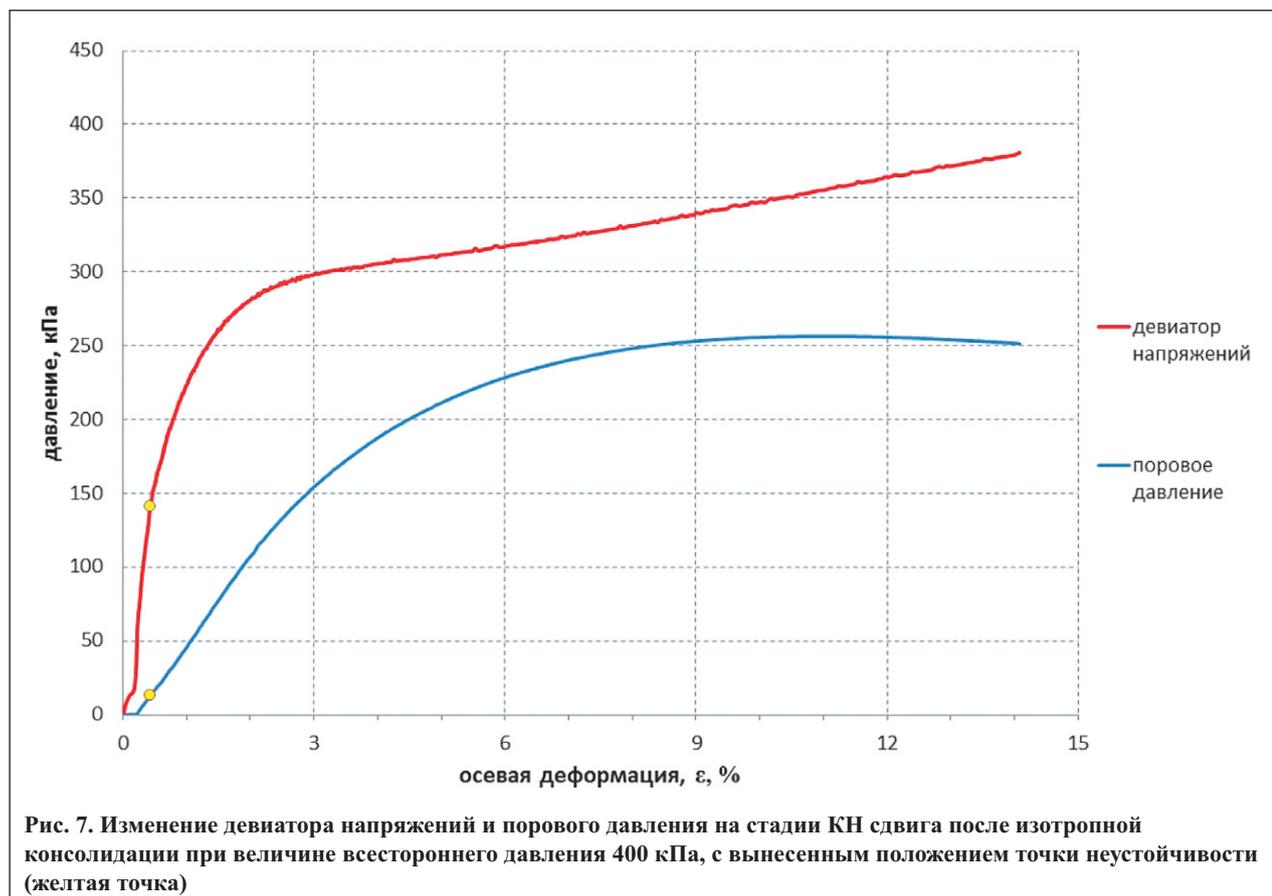
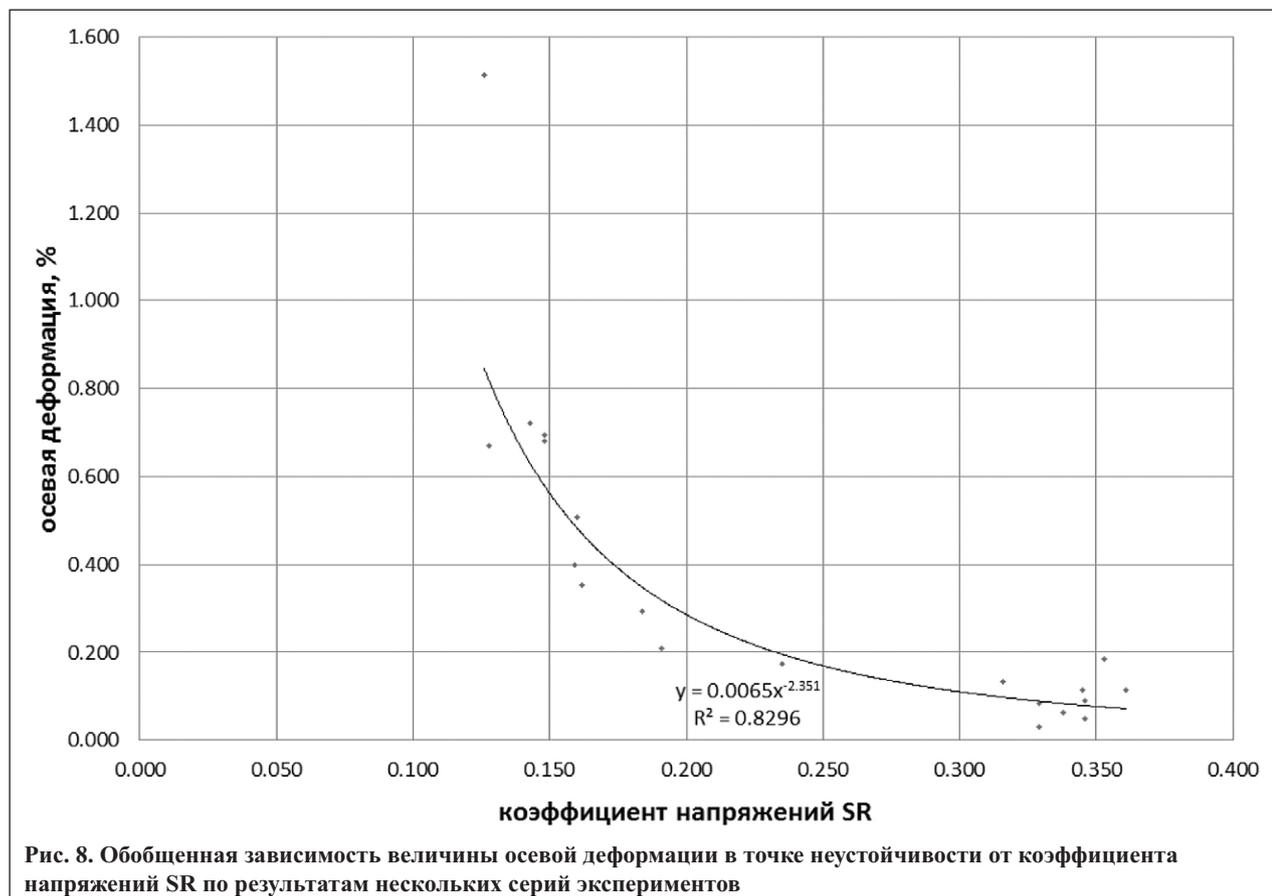


Рис. 6. Траектории эффективных напряжений для КН сдвига модельных образцов глины после изотропной консолидации с выделенной зоной неустойчивости



Из анализа рис. 7 и положения точки неустойчивости на нем становится ясно, что неустойчивость достигается при незначительном вкладе порового давления, которое развилось до величины всего в 15 кПа

при его максимальном значении более 250 кПа при данном всестороннем давлении. При этом девиаторная составляющая осевого напряжения в точке неустойчивости составляет порядка 150 кПа — суще-



ственная величина при том, что максимальное давление в ходе опыта — около 370 кПа. Из этого можно сделать вывод, что поровое давление не успевает существенно развиться к моменту возникновения неустойчивости и основную долю внешней нагрузки воспринимает скелет грунта.

Полученные результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что состояние неустойчивости характеризуется определенным соотношением нормальных и касательных напряжений, а положение линии неустойчивости в пространстве эффективных напряжений описывается уравнением вида

$$q = kp',$$

где k — тангенс угла наклона линии неустойчивости. Так, в поле эффективных напряжений выделяется зона потенциальной неустойчивости (см. рис. 6), аналогичная области, выделенной П.Ладе в своих работах.

Проведенный анализ показал, что напряженно-деформированное состояние каждого грунта в момент возникновения деформационной неустойчивости не уникально и зависит от условий нагружения, прежде всего от абсолютной величины и начального соотношения эффективных значений главных напряжений, а также от скорости деформирования, что отражает возможность реализации различных траекторий деформирования грунта в зоне неустойчивости вплоть до достижения критического состояния. При этом деформация в точке неустойчивости закономерно снижается с ростом коэффициента напряжений (рис. 8). На этом рисунке представлены обобщенные данные по нескольким сериям экспериментов на разных грунтах, с разной скоростью приложения нагрузки и с разными условиями подготовки образцов перед испытанием (изотропная и анизотропная консолидации).

На приведенном графике видно, что с увеличением коэффициента напряжений SR осевая деформация в точке неустойчивости уменьшается. Увеличение коэффициента напряжений в грунте происходит по двум причинам: главная из них — увеличение максимальных касательных напряжений q , но, кроме этого, небольшой вклад вносит также поровое давление, которое уменьшает средние эффективные напряжения p' . Но, как показывает анализ расчетных параметров коэффициента напряжений, осевое напряжение σ_1 вносит большой вклад в величину коэффициента напряжений SR по сравнению с поровым давлением. Поэтому именно рост касательных напряжений с увеличением SR вызывает снижение устойчивости грунта, что влечет за собой уменьшение деформации, при которой возникает состояние неустойчивости. Чем большие касательные напряжения развиваются в образце, тем раньше образец перейдет в неустойчивое состояние — преодолет точку неустойчивости.

Полученные сведения с точки зрения их прикладного назначения могут помочь расширить наше понимание поведения грунтов при приложении нагрузки и получить еще одно уравнение состояния грунтов. Эти знания дают нам информацию о возможности безопасной эксплуатации грунтовых оснований при приложении

дополнительных нагрузок. Одним из возможных применений феномена неустойчивости является оценка устойчивости склонов, с помощью которого можно выявить потенциально опасные зоны, опасное деформирование в пределах которых начнется в первую очередь.

Так, при детальном изучении инженерно-геологических условий склона и при качественном проведении лабораторных трехосных экспериментов становится возможным выделить зоны потенциальной неустойчивости массива. Для этого необходимо изучить напряженно-деформированное состояние массива и построить изолинии распределения нормальных и касательных напряжений в массиве. После этого появляется возможность построить и проанализировать распределение коэффициента напряжений SR в массиве. А имея в своем распоряжении результаты качественных исследований грунтов, проведенных в условиях трехосного сжатия, можно проанализировать коэффициенты напряжений в точках неустойчивости, полученные в лабораторных условиях. Сравнив полученные значения SR в точках неустойчивости с распределением SR в массиве, возможно с помощью изолиний разделить массив на две части: зону потенциальной неустойчивости и зону устойчивости.

Выводы

1. Разрушению грунтов предшествует состояние деформационной неустойчивости, связанное с разрывом значимого количества межчастичных контактов и сопутствующей перестройкой порового пространства, которое проявляется в увеличении скорости деформирования грунтов. Этот феномен имеет важное значение для понимания природы деформируемости глинистых грунтов.
2. Разработанная авторами методика экспериментального выявления состояния деформационной неустойчивости глинистых грунтов в условиях недренированного трехосного сжатия основывается на определении момента существенного изменения энергоемкости деформирования грунта, что соответствует достижению состояния неустойчивости.
3. Напряженно-деформированное состояние грунта в момент возникновения деформационной неустойчивости не уникально и зависит от условий нагружения, прежде всего от абсолютной величины и соотношения эффективных значений главных напряжений, что отражает возможность реализации различных траекторий деформирования грунта в зоне неустойчивости вплоть до достижения критического состояния. При этом деформация в точке неустойчивости закономерно снижается с ростом коэффициента напряжений, что отражает наличие в грунтах зон концентраций касательных напряжений. Чем большие касательные напряжения развиваются в образце, тем раньше образец перейдет в неустойчивое состояние, то есть преодолет точку неустойчивости. 

Исследования поддержаны грантом РФФИ №13-05-01048-а «Закономерности деформирования дисперсных грунтов в диапазоне малых деформаций».

Работа выполнена на оборудовании, приобретенном в рамках реализации Программы развития Московского университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Becker D.E., Crooks J.H.A., Been K., Jefferies M.G.* Work as a Criterion for Determining In-Situ and Yield Stresses in Clays // Canadian Geotechnical Journal. 1987. Vol. 24, No. 4. P. 549–564.
2. *Bjerrum L., Simons N.E.* Comparison of shear strength characteristics of normally consolidated clays // ASCE Conference Proceedings. New York: ASCE, 1960. P. 711–726.
3. *Chu J., Leong W.K., Luke W.L., Wanatowski D.* Instability of loose sand under drained conditions // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE, 2012. V. 138. P. 207–216.
4. *Lade P.V.* Static instability and liquefaction of loose fine sandy slopes // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1992. V. 118. № 1. P. 51–72.
5. *Lade P.V., Nelson R.B., Ito Y.M.* Instability of granular materials with nonassociated flow // Journal of Engineering Mechanics. ASCE, 1988. V. 114. № 12. P. 2173–2191.
6. *Lade P.V., Nelson R.B., Ito Y.M.* Nonassociated flow and stability of granular materials // Journal of Engineering Mechanics. ASCE, 1987. V. 113. № 9. P. 1302–1318.
7. *Lade P.V., Pradel D.* Instability and plastic plow of soils. 1. Experimental observations // Journal of Engineering Mechanics. ASCE, 1990. V. 116. № 11. P. 2532–2550.
8. *Lipiński M.J.* Undrained response of cohesionless soils to monotonic loadings: PhD thesis. Gdańsk: Faculty of Hydro and Environmental Engineering, Gdańsk Technical University, 2000.
9. *Seed H.B., Mitchell J.K., Chan C.K.* The strength of compacted cohesive soils // ASCE Conference Proceedings. New York: ASCE, 1960. P. 877–964.
10. *Świdziński W., Mierczyński J.* Instability line as a basic characteristic of non-cohesive soils // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 2005. V. 52. № 1. P. 59–85.
11. *Wanatowski D.* Undrained instability of loose sand under plane-strain conditions and its engineering application // Foundations of Civil and Environmental Engineering. 2007. V. 10. P. 131–141.
12. *Whitman R.V.* Some considerations and data regarding the shear strength of clays // ASCE Conference Proceedings. New York: ASCE, 1960. P. 581–614.
13. *Yamamoto J.A., Lade P.V.* Static liquefaction of very loose sands // Canadian Geotechnical Journal. 1997. V. 34. № 6. P. 905–917.
14. *Zhao H.F., Zhang L.M.* Instability of saturated and unsaturated coarse granular soils // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE, 2014. V. 140. P. 25–35.

Журнал «Инженерная геология»

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи и подписываясь на «Инженерную геологию».

E-mail: info@geomark.ru