

Теория ненасыщенных грунтов

Новгородова М.А. (Российский Государственный Геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, marga_97@mail.ru), Горобцов Д.Н. (Российский Государственный Геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, dngorobtsov@mail.ru), Фоменко И.К. (Российский Государственный Геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, ifolga@gmail.com)

Аннотация

В работе рассмотрены основные понятия теории ненасыщенных грунтов, предпосылки и история возникновения. Особое внимание уделено главному отличию ненасыщенного грунта от насыщенного – появлению четвертой фазы. Рассматривается интерпретационная модель «характеристическая кривая грунт-вода (soil-water characteristic curve SWCC)» как инструмент для оценки функций свойств ненасыщенных грунтов для инженерно-геологических задач.

Ключевые слова

Механика ненасыщенных грунтов, грунт, инженерная геология, грунтоведение

Теория

- Теория ненасыщенных грунтов возникла позже классической концепции грунтоведения о насыщенном грунте. Исследования проходили в течение нескольких десятилетий, и к концу 1970-х годов стало ясно, что механика ненасыщенных грунтов принимает форму естественного продолжения механики грунтов. Начиная с 1990 года наступил период, когда был сделан упор на внедрение и реализацию механики ненасыщенных грунтов в обычную инженерно-геологическую практику. Серия международных конференций была посвящена обмену информацией о поведении ненасыщенных грунтов, и стало очевидным, что настало время для более широкого применения механики ненасыщенных грунтов в инженерной практике. Реализация была определена как «уникальный и важный шаг, который приносит теории и аналитические решения в инженерную практику» [5].

- Существует ряд серьезных проблем, которые необходимо решить до того, как механика ненасыщенных грунтов сможет стать частью обычной инженерно-геологической практики. В ряде случаев возникает необходимость принятия новых подходов к решению проблем, связанных с ненасыщенными грунтами. уже апробированы различные методики, что подготовило почву для более широкого применения механики ненасыщенных грунтов в нашей стране.

- Насыщенный грунт – грунт, в котором все пустоты между частицами грунта заполнены водой. Ненасыщенный грунт содержит и воздух, и воду между своими частицами. Присутствие сил поверхностного натяжения на границах раздела между воздухом и водой в ненасыщенном грунте позволяет существовать разным давлениям в воздухе и воде. В ненасыщенном грунте в природных условиях поровое давление воздуха обычно равно атмосферному, а поровое давление воды меньше, чем давление воздуха. Так как атмосферное давление обычно считается нулевым, то поровое давление воды оказывается отрицательным (так как оно будет меньше атмосферного). Такое

отрицательное давление называется «абсорбцией», так как грунт при контакте с водой при атмосферном давлении будет абсорбировать воду.

• В полевых условиях грунты имеют тенденцию становиться ненасыщенными вглубь от поверхности Земли. Грунты вблизи поверхности Земли часто называют сложными, но именно подход к решению сильно отрицательных поровых давлений воды, как правило, представляет наиболее серьезную проблему для инженеров-геологов. Общеизвестные проблемные грунты - это набухающие грунты, просадочные грунты и рыхлые грунты. Любой из вышеперечисленных типов может быть уплотнен, что в очередной раз приводит к образованию материала с отрицательным поровым давлением воды.

- Ненасыщенный грунт - это многофазная система, включающая в себя:
- твердые частицы,
- воду,
- воздух
- сократительную оболочку.

Ненасыщенный грунт может рассматриваться как четырехфазная система (Рис.1) из-за существования уникальной фазы границы раздела воздух-вода или, по-другому, сократительной оболочки. Сократительная оболочка действует подобно тонкой мембране, переплетенной по всей пустоте грунта, образуя неподвижную перегородку между воздушной и водной фазами. Изменения напряженного состояния в сократительной оболочке могут привести к тому, что ненасыщенный грунт изменит содержание воды, объем и силу сдвига. Именно сократительная оболочка образует барьер между воздухом и водой, определяя отношение объема воздуха к объему воды в пустотах (т. е. степень насыщения).

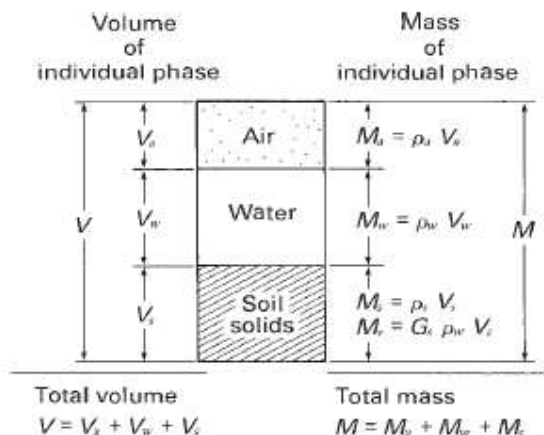


Рисунок 1. Фазовая диаграмма для ненасыщенных грунтов.

Особенно важно рассматривать ненасыщенный грунт как четырехфазную смесь при рассмотрении напряженного состояния. Уравнения равновесных напряжений могут быть записаны для каждой фазы в контексте многофазной механики сплошных сред.

Анализ равновесия позволяет выявить переменные напряженного состояния, связанные с поддержанием равновесных условий в ненасыщенном грунте.

Основные отличия между трехосным испытанием образца грунта в насыщенном состоянии по сравнению с ненасыщенным можно обобщить следующим образом:

Поведение насыщенного грунта целиком управляется полным напряжением и поровым давлением воды (через эффективное напряжение). Положительные давления поровой воды расталкивают частицы и, следовательно, уменьшают прочность грунта.

В ненасыщенном грунте пустоты заполняются и воздухом, и водой, и силами поверхностного натяжения создается отрицательное поровое давление воды (или абсорбция). Такая абсорбция сдвигает частицы грунта вместе и повышает прочность грунта.

Характеристическая кривая грунт-вода (soil-water characteristic curve SWCC) обеспечивает концептуальное понимание между массой (и/или объемом) воды в грунте и энергетическим состоянием водной фазы (Рис.2). SWCC оказалась интерпретирующей моделью, которая использует элементарную капиллярную модель для обеспечения понимания распределения воды в пустотах. Влияние текстуры грунта, градиции и соотношения пустот также стало частью интерпретации измеренных лабораторных данных SWCC.

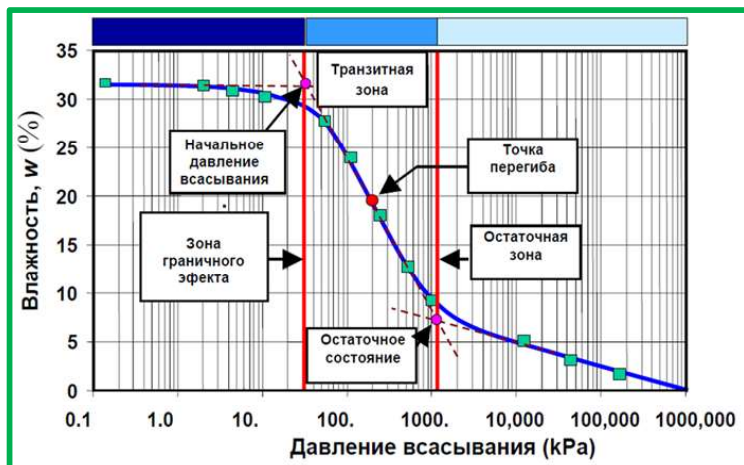


Рисунок 2. Типичная десорбция SWCC показывает отчетливые зоны десатурации.

SWCC сыграла важную роль в реализации механики ненасыщенных грунтов [5]. Первоначально SWCC рассматривался как средство оценки всасывания грунта в полевых условиях путем измерения содержания естественной воды и использования SWCC в качестве фиксированной зависимости между всасыванием и содержанием воды. Лабораторные данные показали, что осушение и смачивание SWCC были значительно различны, что приводило к широкому диапазону возможных значений всасывания грунта.

Измерение функций свойств ненасыщенных грунтов становится неприемлемо дорогостоящим для обычных инженерно-геологических целей [2]. Следовательно, возникает необходимость в практических решениях для определения функций свойств ненасыщенных грунтов. SWCC появились в качестве практического и достаточно точного инструмента для оценки функций свойств ненасыщенных грунтов для большинства инженерно-геологических задач.

SWCC стал рассматриваться как «ключ» к внедрению механики ненасыщенных грунтов в инженерную практику [4].

Ключевыми точками перехода на SWCC являются значение входа воздуха и остаточное значение для всасывания и содержания воды. Эти переходные точки определяются по степени насыщения по отношению к участку всасывания грунта и подразделяют SWCC на зону «граничного эффекта», зону «перехода» и зону «остаточного эффекта». Одни и те же три зоны десатурации могут быть определены для ветви осушения (или десорбции) и ветви смачивания (или адсорбции).

Общим для всех ситуаций с ненасыщенными грунтами является отрицательное давление в поровой воде. Основная существующая проблема, связанная с ненасыщенными грунтами и отрицательным давлением поровой воды в них, которая получила наибольшее внимание, - это проблема набухания или осадки глин. Но существует гораздо больший круг проблем, связанный с ненасыщенными грунтами и влиянием на них климата.

Отталкиваясь от имеющегося опыта зарубежных коллег, необходимо разработать необходимые рекомендации к внедрению механики ненасыщенных грунтов в российскую практику инженерно-геологических изысканий.

Естественная и логическая прогрессия, ведущая к разработке подходящих рекомендаций к применению, должна включать в себя:

- Развитие фундаментальной науки с подходящими нормативными законами для описания модели поведения вещества, вызывающее беспокойство.
- Проверку подходящих процедур лабораторных испытаний для измерения соответствующих свойств грунта.
- Назначение процедур проектирования (т. е. протоколов), которые должны соблюдаться в инженерной практике.

Библиография

1. Горобцов Д.Н. Научно-методические основы исследования теплофизических свойств дисперсных грунтов. [Текст]: дис.....канд. г.-мин.. наук: 25.00.08: защищена 16.07.2011: / Горобцов Денис Николаевич. – Москва, 2011. – 129 с.
2. Фоменко И. К., Горобцов Д. Н., Пендин В. В., Никулина М. Е.. Численное моделирование процессов оттаивания многолетнемёрзлых грунтов под искусственным водоемом // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: Материалы научно-практической конференции. — Геомаркетинг М, 2017. — С. 175–177.
3. Цытович Н.А. Механика мёрзлых грунтов. М.: Высш. школа, 1973.448 с
4. D. G. Fredlund, H. Rahardjo, M. D. Fredlund. Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, 1994. 544 с.
5. Delwyn G. Fredlund, Hendry Rahardjo, Murray D. Fredlund. Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice John Wiley & Sons, 2012. 944 с.